

# Capitolo 28

## La coscienza

### ► INTRODUZIONE

Tra tutte le capacità cognitive del cervello umano, quella che ha più profondamente interessato (e reso perplessi) i pensatori è il fenomeno della coscienza. La maggior parte delle persone, si tratti di neuroscienziati, filosofi o semplici persone che si pongono degli interrogativi, si sarà posta domande del tipo: «Come e perché siamo coscienti?» oppure «Gli altri animali sono coscienti?» o ancora «Una macchina può essere cosciente?». Anche se per nessuna di queste domande esiste una risposta definitiva, nondimeno vi è molto da dire a riguardo. I ricercatori di alcune discipline (neurobiologia, psicologia, etologia, antropologia, informatica, filosofia ed etica) in linea di massima hanno abbandonato il livello di semplice speculazione per fondamenti empirici progressivamente più consistenti della soluzione di questi e altri quesiti sulla coscienza. Negli ultimi decenni diversi ricercatori hanno utilizzato le tecniche moderne per identificare in modo esplicito i substrati neurali della coscienza. Scopo di questo capitolo è passare in rassegna i diversi approcci di studio alla questione della coscienza, considerare le prove che sono state evidenziate e dare un'indicazione generale sul pensiero moderno nei confronti di questo argomento molto pregnante. Inoltre, in questo capitolo portiamo a termine il nostro resoconto sui principi delle neuroscienze cognitive, mediante una considerazione sulla possibilità che la coscienza distingua le operazioni compiute dal cervello umano dalle capacità cognitive degli altri animali, o addirittura dai sistemi non biologici di elaborazione delle informazioni che stanno conoscendo uno sviluppo considerevole.

### ► COSA SIGNIFICA ESSERE COSCIENTI

Il primo requisito per qualunque discussione sensata sulla coscienza è stabilire definizioni chiare dei termini implicati. Non si tratta di un compito semplice, perché le parole e le espressioni rilevanti hanno rappresentato concetti diversi nelle varie discipline che hanno tradizioni intellettuali significativamente diverse. Comunque sia, la maggior parte delle definizioni della **coscienza** si riferisce a tre diversi aspetti di questo fenomeno: essere svegli, essere consapevoli del mondo ed essere consapevoli di se stessi come agenti nel mondo. Ciascuno di questi aspetti del concetto di coscienza è pertinente alle neuroscienze cognitive:

1. Un significato fisiologico che descrive la coscienza in termini di stato cerebrale a cui pensiamo in termini di **veglia**; questa definizione comporta la comprensione della natura dell'attività cerebrale che distingue la veglia dal sonno o da altri stati di incoscienza.



- Cosa significa essere coscienti
- La coscienza intesa come stato fisiologico
- La coscienza intesa come la consapevolezza del mondo e di sé
- I correlati neurali della coscienza
- La coscienza è basata su un meccanismo neurale nuovo?
- Gli altri animali sono consapevoli del mondo e di se stessi?
- Le macchine possono essere coscienti?
- Come potrebbe essersi evoluta la coscienza?
- Alcuni problemi generali sollevati dagli studi sulla coscienza
- Cosa significa essere umani

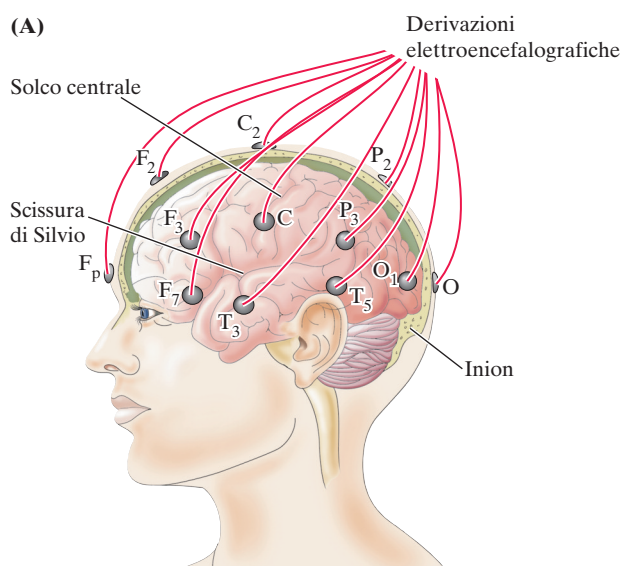
2. Un significato più astratto che si riferisce alla **consapevolezza** soggettiva del mondo, uno stato cerebrale che deve possedere una caratterizzazione più sottile del semplice fatto di essere svegli, dato che si può essere svegli ed essere al contempo inconsapevoli di alcuni se non della maggior parte degli aspetti dell'ambiente esterno o interno.
3. Un significato che si riferisce all'**autoconsapevolezza**, un'espressione che definisce la coscienza nel senso di essere consapevoli di se stessi come distinti dagli altri nel mondo.

Nei paragrafi seguenti prenderemo in considerazione separatamente ciascuno di questi significati e i loro correlati neurali (quelli attualmente noti), se non altro perché ciascuno di loro comporta un insieme di questioni, strategie di ricerca e, spesso, metodologie diverse.

### ► LA COSCIENZA INTESA COME STATO FISIOLOGICO

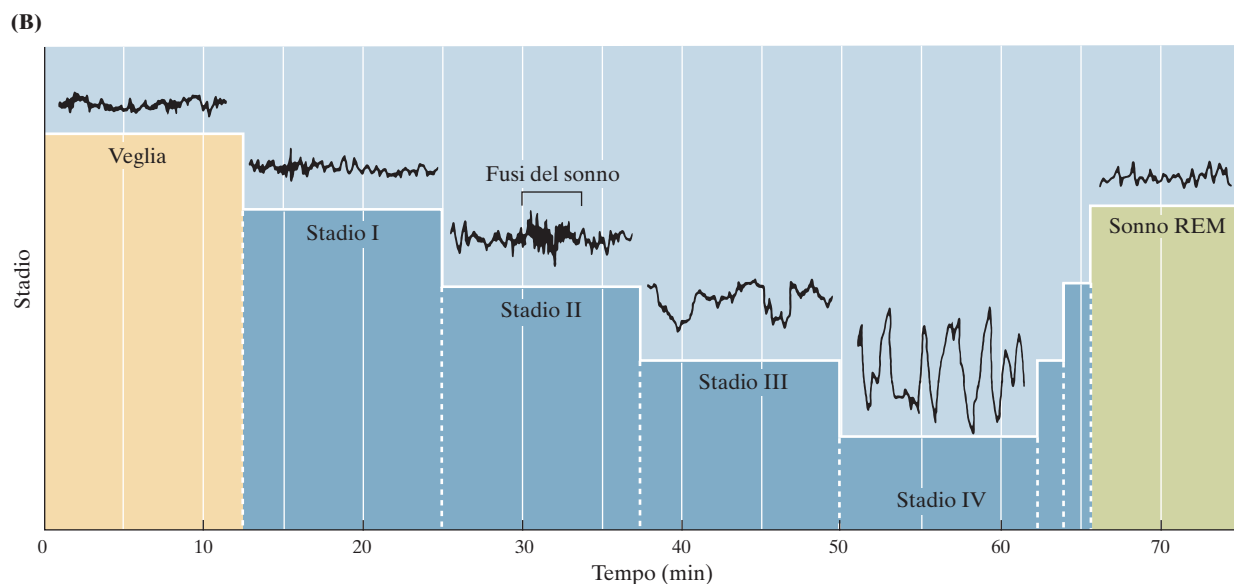
#### La veglia e il sonno

Gli esseri umani occupano ciascun ciclo solare di 24 ore che definisce il giorno sul nostro pianeta con diversi stati cerebrali, non tutti coscienti in uno qualunque dei sensi di questo termine. Circa un terzo della nostra vita viene speso in vari stadi di sonno,



**Figura 28.1** Gli stadi del sonno

(A) Di solito i livelli di veglia e sonno vengono monitorati mediante l'attività elettroencefalografica (EEG). (B) Le variazioni di stato dalla veglia vigile, alla noia, fino alla sonnolenza, sono rappresentati da cambiamenti indicati dall'abbassamento delle frequenze e dalla maggiore ampiezza del segnale registrato. Questo andamento delle onde di minore frequenza e maggiore ampiezza continua attraverso la perdita progressiva della coscienza causata dal cadere addormentati. L'intera sequenza di sonno dalla sonnolenza al sonno profondo (stadio IV) generalmente dura circa un'ora. Gli stadi che discendono verso il sonno profondo sono detti sonno senza movimenti oculari rapidi (non REM, *non-rapid eye movement*). Questi stadi si contrappongono a periodi di sonno caratterizzato da movimenti oculari rapidi (REM, *rapid eye movement*), uno stadio in cui il cervello diventa nuovamente attivo e in cui hanno luogo la maggior parte dei sogni.





uno stato che (a parte i periodi caratterizzati dai sogni) è chiaramente non cosciente. Anche quando siamo pienamente svegli, la nostra consapevolezza del mondo che ci circonda, e del nostro stato interno in termini di pensieri, sentimenti, speranze e desideri, varia considerevolmente. Questi diversi stati cerebrali variano da un'attenzione pienamente vigile, alla mancanza di attenzione (per esempio, noia), alla sonnolenza, fino al sonno; ciascuno di questi stati riflette diversi livelli di coscienza nel senso dell'essere svegli (definizione 1 vista sopra), che a sua volta è un prerequisito per la coscienza intesa negli altri significati (definizioni 2 e 3). È quindi utile analizzare come il cervello regola questi cambiamenti dalla veglia vigile fino al sonno profondo e discutere quale rilevanza, eventualmente, questa regolazione fisiologica abbia sulla coscienza nelle sue accezioni di consapevolezza del mondo e di sé nel mondo.

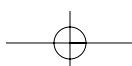
Come abbiamo visto brevemente nel capitolo 10, il sonno non è semplicemente il risultato di una ridotta attività cerebrale o di uno «spegnimento» degli input sensoriali, ma rappresenta una serie di stati cerebrali accuratamente controllati. Gli esseri umani discendono nel sonno in diversi *stadi* (definiti da criteri elettroencefalografici) che si susseguono l'un l'altro più o meno nella prima ora dopo che ci si è coricati (**figura 28.1**). In seguito a molti anni di studi elettrofisiologici, anatomici e farmacologici, il controllo di questi differenti stati di coscienza oggi giorno è ben conosciuto. Le osservazioni effettuate negli anni 1940 mostrano come la stimolazione elettrica di un gruppo di neuroni colinergici posizionati vicino alla giunzione tra il ponte e il mesencefalo causi risveglio e attivazione. Queste prime osservazioni dimostrarono come lo stato di veglia (o di coscienza in questo senso) si basa su un meccanismo neurale specifico e attivo.

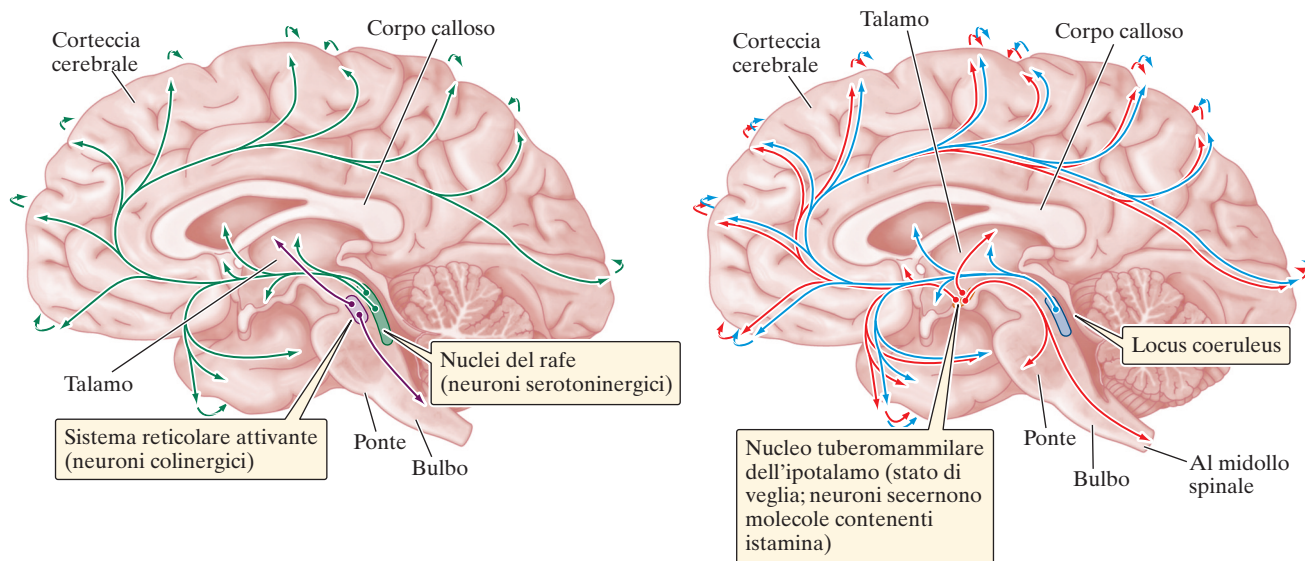
I ricercatori sono ora d'accordo che la sequenza di stati del cervello umano illustrati nella figura 28.1 sia generata da un complesso di nuclei nella regione centrale troncoencefalica coinvolti nell'arousal e nella motivazione, una regione detta **sistema reticolare** (ascendente) **attivante**. Il più importante tra questi elementi di controllo è rappresentato dalle cellule dei nuclei colinergici della **giunzione ponto-mesencefalica**, le cellule noradrenergiche del **locus coeruleus** e i neuroni serotoninergici del **nucleo del rafe** (**tabella 28.1**). Così, l'attività di questi nuclei troncoencefalici modula il grado di coscienza durante il giorno in un continuum che va dalla veglia attenta al sonno profondo (**figura 28.2**). Questi nuclei a loro volta sono controllati dagli orologi circadiani posti nel nucleo soprachiasmatico dell'ipotalamo; questi orologi interni sono regolati dai cicli di luce e buio che definiscono il giorno e la notte (vedi cap. 22).

Anche se essere svegli è chiaramente un prerequisito dell'essere coscienti, nel senso

**Tabella 28.1** Nuclei troncoencefalici che regolano il sonno e la veglia

Nuclei troncoencefalici responsabili	Neurotrasmettitore coinvolto	Stato di attività dei neuroni troncoencefalici rilevanti
<b>Veglia</b>		
Nuclei colinergici della giunzione ponto-mesencefalica	Acetilcolina	Attivi
Locus coeruleus	Noradrenalina	Attivi
Nuclei del rafe	Serotonina	Attivi
Nuclei tuberomammillari	Oressina (istamina)	Attivi
<b>Sonno non REM</b>		
Nuclei colinergici della giunzione ponto-mesencefalica	Acetilcolina	Decremento
Locus coeruleus	Noradrenalina	Decremento
Nuclei del rafe	Serotonina	Decremento
<b>Sonno REM attivo</b>		
Nuclei colinergici della giunzione ponto-mesencefalica	Acetilcolina	Attivi
Nuclei del rafe	Serotonina	Inattivi
<b>Sonno REM non attivo</b>		
Locus coeruleus	Noradrenalina	Attivi





**Figura 28.2** Attività cerebrale nel sonno e nella veglia

La prima causa dello stato di veglia è rappresentata da un incremento dei livelli di attività dei neuroni colinergici nel sistema reticolare attivante e la loro relativa inattività è la causa dell'incoscienza fisiologica. Altri nuclei troncoencefalici coinvolti in questo complesso schema regolatorio sono i neuroni noradrenergici del locus coeruleus e i neuroni serotoninergici dei nuclei del rafe. Sia i sistemi monoaminergici sia quelli colinergici sono attivi durante lo stato di veglia (vedi tabella 28.1). I neuroni del nucleo tuberomammillare producono molecole di oressina contenenti istamina e sono attivi durante lo stato di veglia (il che spiega perché gli antistaminici inducono sonnolenza).

di essere consapevoli del mondo e di sé, queste funzioni non sono equivalenti, come spiegheremo nei paragrafi successivi.

### La coscienza intesa come un presente neurofisiologico

Un altro aspetto della coscienza definita in termini fisiologici riguarda il suo carattere temporale. La coscienza occupa il tempo tra il passato e il futuro e definisce così il nostro senso del *presente*. Generalmente, consideriamo ciò che è avvenuto alcuni secondi fa come accaduto nel *passato* e ciò che accadrà tra un paio di secondi come appartenente al *futuro*. Visto più criticamente, tuttavia, l'esatto carattere temporale del presente risulta problematico. Dal momento che non c'è limite alla brevità di un momento nel corso del tempo, gli specifici intervalli temporali che definiscono le ovvie, nonché utili, categorie del passato, presente e futuro, rappresentano un vero e proprio rompicapo.

Una posizione ragionevole è che, mentre il presente definito dal punto di vista della fisica è difatti infinitamente breve, il nostro senso cosciente del momento presente, o del «proprio ora», è definito dall'elaborazione neurale che opera in modo relativamente lento (dai millisecondi ai secondi). Per quanto possa essere indefinito, il presente soggettivo ha una durata finita a causa dei suoi limiti. La durata del momento cosciente che corrisponde al nostro senso soggettivo di presente naturalmente è impossibile da misurare con precisione, ma sulla base delle nostre conoscenze sulle varie forme di elaborazione neurale descritte nei capitoli precedenti alcune centinaia di millisecondi o forse un secondo rappresentano una stima ragionevole.

Una tale stima del presente cosciente è pertinente al modo in cui prestiamo attenzione agli oggetti e alle condizioni del mondo. Almeno soggettivamente, ci sembra che si possa prestare attenzione in modo cosciente a una sola cosa per volta (o a un insieme di cose raggruppate), anche se il cervello in ciascun dato momento sta elaborando in modo non cosciente una lunga lista di cose in parallelo. In termini approssimativi, dunque, l'oggetto dell'attenzione consapevole rappresenta un altro modo di definire il momento presente. Naturalmente, i «momenti» che costituiscono il flusso di eventi in corso nel momento presente non si susseguono in modo casuale, ma, di regola, sono concatenati in sequenze finalizzate, come è evidente nella memoria di lavoro e nei processi di pensiero in genere (vedi cap. 16 e unità VIII).

Questa linea di ricerca solleva la questione riguardante il modo in cui la coscienza, nel senso di un momento presente in continuo cambiamento, si differenzia dal focus attentivo in continuo movimento (vedi unità IV). La risposta più semplice è che il momento cosciente e il focus attentivo siano semplicemente modi di esaminare la stessa questione generale da prospettive leggermente diverse (vedi oltre). In ogni caso, essere fisiologicamente svegli e potenzialmente reattivi all'informazione nel presente definito in termini neurali sono condizioni necessarie alla coscienza intesa nelle sue ulteriori accezioni: essere consapevoli del mondo e di se stessi nel mondo.



## ► LA COSCIENZA INTESA COME CONSAPEVOLEZZA DEL MONDO E DI SÉ

Queste altre due accezioni della coscienza non si riferiscono alle basi neuroanatomiche e fisiologiche dello stato di veglia, o al senso del presente, ma all'abilità assolutamente incredibile che abbiamo di essere soggettivamente consapevoli del mondo e di noi stessi come attori in questo mondo. Se la coscienza intesa come stato di veglia e le sue basi fisiologiche rientrano perfettamente nel contesto convenzionale degli studi neurobiologici, la coscienza intesa come consapevolezza o autoconsapevolezza solleva alcune difficili e controverse questioni filosofiche e, di conseguenza, è stata molto più difficile da perseguire con le tecniche delle neuroscienze cognitive.

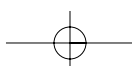
Affrontare la coscienza da questo punto di vista è ulteriormente complicato dal fatto che essere *consapevoli* non è la stessa cosa che essere *autoconsapevoli*: si può immaginare un animale che sia cosciente dei dati sensoriali pur senza possedere il senso integrato di un sé separato che invece possiedono gli esseri umani. Infatti, come abbiamo visto nel capitolo 27, questo senso del sé impiega diverso tempo per emergere durante lo sviluppo dell'essere umano. Mentre animali come i ratti o i piccioni sembrano chiaramente consapevoli del mondo, che siano autoconsapevoli è abbastanza discutibile. D'altro canto, sulla base dei dati descritti nel capitolo 26, alcuni primati non umani sono sia consapevoli del mondo sia (almeno a un qualche livello) di se stessi come agenti nel mondo, insieme agli altri sé (vedi la discussione più avanti nel capitolo). Progredendo ulteriormente verso il basso nella scala di complessità del cervello (o del sistema nervoso), presumibilmente gli animali molto semplici mancano del tutto di consapevolezza, almeno in senso convenzionale. Discendendo lungo il continuum della complessità del sistema nervoso, la maggior parte degli animali semplici dal punto di vista neurale sembrano operare come automi, sebbene non sia chiaro a quale livello tassonomico questo si verifichi. E, per non dimenticare un punto affrontato nei capitoli precedenti, rammentate che anche nel sistema nervoso umano la maggior parte dell'elaborazione nervosa è ampiamente automatica e giace al di sotto della soglia di consapevolezza. Infatti, nel cervello umano una quantità enorme di meccanismi cellulari si trova completamente al di fuori della portata della cognizione.

Anche nel dominio dell'elaborazione neurale di cui siamo o possiamo essere consapevoli, è ovvio che il contenuto della coscienza è limitato ai quei pezzetti e brandelli di informazioni che entrano brevemente nella nostra coscienza a partire dall'enorme riserva di informazioni inconscie che sono solo potenzialmente accessibili (per esempio, tutte le informazioni conservate come ricordi; vedi cap. 13). Il termine *mente* si riferisce piuttosto vagamente, ma utilmente, alla somma di tutti i dati sensoriali, sentimenti, pensieri e memorie dichiarative di cui *possiamo* essere consapevoli, in opposizione all'insieme molto più grande di informazioni neurali presenti e archiviate che non penetrano mai la coscienza, come si presume che sia (pensate ancora a tutti i meccanismi omeostatici che assicurano il vostro benessere in un migliaio di modi, anche mentre voi ponderate sul significato della frase che avete appena letto).

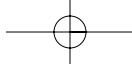
## ► I CORRELATI NEURALI DELLA COSCIENZA

Nonostante queste difficoltà scoraggianti, un certo numero di neuroscienziati cognitivi ha cercato di affrontare il problema delle basi della consapevolezza andando alla ricerca di qualche marcatore dell'elaborazione neurale che occorre quando siamo consapevoli di qualcosa (per esempio, uno stimolo visivo) rispetto a quando non lo siamo (cioè, la presentazione dello stesso stimolo in circostanze che non producono alcun resoconto di percezione).

Gli studi su soggetti normali e su pazienti con varie condizioni patologiche hanno fatto luce su questo problema (vedi anche unità IV). La maggior parte di questo lavoro, per ragioni pratiche, è stato condotto nel contesto della percezione visiva, ma si presume che i risultati siano applicabili alle altre modalità sensoriali. Non è stata ancora esaminata la questione se possano essere ulteriormente estesi alla consapevolezza dei sentimenti, dei pensieri e dei desideri che non sono percepiti da nessuna modalità sensoriale.







### I correlati neurali della consapevolezza esaminati nei soggetti normali

L'approccio comunemente utilizzato per affrontare questo problema nei soggetti normali è quello di stabilire la natura e la localizzazione dell'attività neurale quando viene percepito uno stimolo sensoriale che entra ed esce dalla consapevolezza. Chiedendo al soggetto (o all'animale sperimentale) di segnalare queste transizioni percettive (di regola premendo un tasto o qualcosa di analogo quando percepiscono lo stimolo visivo), il ricercatore può confrontare gli eventi neurali che si verificano durante la consapevolezza con lo stato cerebrale che si osserva quando il soggetto non è consapevole dello stimolo in questione.

I paradigmi usati più ampiamente per questo tipo di studi, tutti descritti in altri capitoli, includono la rivalità binoculare, il sovraccarico sensoriale, la cecità da disattenzione, il deficit attentivo transitorio, gli effetti percettivi postumi, la cecità indotta dal movimento e il mascheramento visivo (vedi capp. 5, 10 e 11). In molti di questi paradigmi lo stimolo fisico rimane invariato e quindi serve come controllo di se stesso. Un buon esempio è rappresentato dalla visione di **figure bistabili** come il ben noto stimolo faccia/vaso (**figura 28.3A**). Le transizioni da un percepito (faccia) all'altro (vaso) sono viste universalmente, sono stabili per alcuni secondi e sono facilmente riferibili dai soggetti. (Questi tipi di figure indicano anche che possiamo essere consapevoli di una scena visiva per volta.)

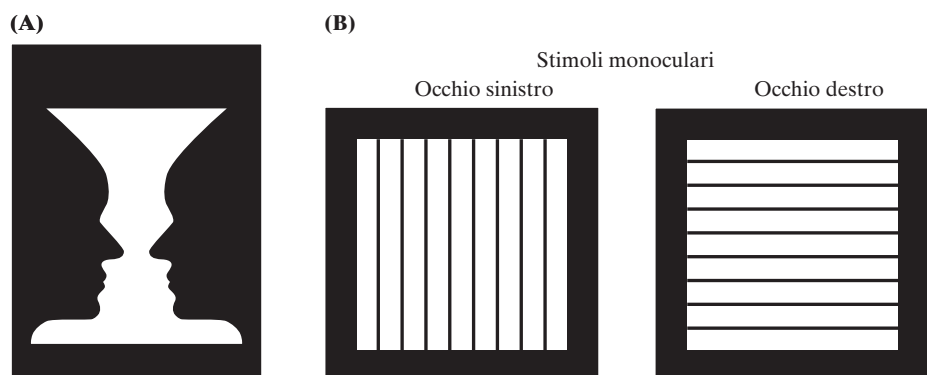
Un altro paradigma ampiamente usato è la **rivalità binoculare** (**figura 28.3B**). Come abbiamo visto nel capitolo 5, la rivalità binoculare si riferisce al fatto che quando viene presentata a un occhio una particolare configurazione stimolo (per esempio, righe verticali) mentre all'altro occhio ne viene presentata una discordante (per esempio, righe orizzontali), la stessa regione dello spazio visivo viene percepita come alternativamente occupata da righe verticali o orizzontali, ma non da entrambe. Usando soggetti umani, oppure scimmie addestrate a segnalare ciò che stanno percependo in ogni dato momento, si possono usare metodi elettrofisiologici o fMRI per stabilire se, quando si verifica un cambiamento nel contenuto della coscienza, si verifica un determinato cambiamento nell'attività del cervello.

Le registrazioni effettuate da singoli neuroni in diverse regioni della corteccia visiva tendono a mostrare un incremento dell'attività quando l'animale sta percependo gli stimoli visivi provenienti da un occhio, ma non dall'altro (vedi figura 4.14). In accordo con questa osservazione, quando si percepisce una faccia si verifica un aumento dell'attività fMRI nell'area fusiforme dei volti del lobo temporale (vedi oltre), anche se stimoli come quelli illustrati nella figura 28.3A hanno evidenziato cambiamenti relativamente piccoli nell'attività di singoli neuroni in risposta a mutamenti della consapevolezza da un percepito a un altro.

Un diverso paradigma fMRI con la stessa finalità di sondare cambiamenti nell'attività della corteccia visiva durante la percezione o meno di uno stimolo utilizza gli effetti visivi postumi (vedi cap. 5). Per esempio, si possono indurre effetti postumi di orientamento esponendo intensivamente dei soggetti a una serie di linee (denominate *reticoli*) disposte in un particolare orientamento (poniamo 45°) per un minuto o due: successivamente all'esposizione, stimoli lineari «neutrali» (linee verticali) sono percepiti per un breve periodo come se fossero leggermente inclinate nella direzione opposta all'angolo di inclinazione dell'esposizione inducente. Lo stesso stimolo induttore può

**Figura 28.3** Stimoli visivi bistabili e in rivalità

Esempi del tipo di stimoli utilizzati per studiare i correlati neurali della consapevolezza. (A) Questo classico esempio di immagine bistabile viene percepito alternativamente come una faccia o un vaso, ma non può essere percepito come entrambe nello stesso momento. (B) Quando vengono presentati separatamente all'occhio sinistro e all'occhio destro, questi due stimoli lineari suscitano rivalità binoculare.





essere presentato senza consapevolezza mediante il mascheramento, oppure utilizzando un sovraccarico sensoriale durante la presentazione. Ci si potrebbe chiedere se la mancata consapevolezza dello stimolo induttore abolisca l'effetto postumo. La risposta è negativa, il che implica che i neuroni della corteccia visiva sensibili all'orientamento sono attivi sia quando i soggetti sono consapevoli dello stimolo induttore, sia quando non lo sono.

La mancanza di effetto della consapevolezza è stata ulteriormente confermata in primati non umani esaminando l'attività dei neuroni di V1 sensibili alla profondità (sulla base della disparità binoculare) che si attivano in risposta a stimoli stereoscopici. Anche in questo caso emerge poca o nessuna differenza nell'attività neuronale quando le scimmie indicano con il comportamento che esperiscono la percezione di profondità rispetto a quando non lo fanno. In breve, almeno negli stadi precoci dell'elaborazione corticale visiva, gli studi di attivazione non hanno condotto ad alcun chiaro marcatore della consapevolezza visiva (vedi anche capp. 10 e 11).

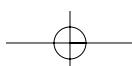
Per razionalizzare questi risultati un po' confusi potrebbe risultare utile distinguere tra elaborazione visiva di basso livello ed elaborazione visiva di alto livello svolta nella corteccia visiva associativa. Ricorderete dal capitolo 5 che le aree visive di alto livello sono suddivisibili in una via ventrale, diretta al lobo temporale, che è sostanzialmente interessata al riconoscimento dello stimolo visivo (la cosiddetta via del «cosa») e una via dorsale che è maggiormente coinvolta nella localizzazione dello stimolo (la cosiddetta via del «dove»). Nikos Logothetis e i suoi colleghi nel Max Plank Institut di Tubinga hanno sostenuto che le correlazioni dell'attività neurale con la consapevolezza dello stimolo, nella scimmia, tendono ad aumentare mano a mano che i siti di registrazione si spostano lungo la via ventrale da V1 verso il lobo temporale. Questa interpretazione concorda con la maggior parte degli studi sopramenzionati e con ulteriori studi fMRI su esseri umani che hanno testato questa ipotesi e che sono stati condotti da Frank Tong a Princeton e da altri.

Un ultimo punto è che l'attività di alcune altre regioni corticali generalmente non concepite come aree visive è invece correlata con la consapevolezza visiva. Così, studi di visualizzazione neurofunzionale sugli esseri umani, effettuati da Geraint Rees, Semir Zeki e i loro collaboratori nell'University College di Londra, hanno mostrato come i cambiamenti percettivi sia nel paradigma faccia/vaso sia in quello di rivalità binoculare sono associati con un'attivazione delle regioni corticali frontali e parietali (ossia, è stata mostrata un'alterazione dell'attività sincronizzata con i resoconti del soggetto di cambiamenti percettivi in queste regioni corticali). Come abbiamo visto nell'unità IV, si ritiene che queste regioni siano coinvolte nel controllo attentivo. Coerentemente con questo dato, altri effetti percettivi di «pop-out» di uno stimolo visivo (vedi cap. 18), o la consapevolezza di una dimensione dello stimolo ignorata in precedenza, sono anch'essi correlati con variazioni nell'attivazione delle aree frontali e parietali. Nei soggetti normali anche l'interruzione funzionale transitoria dell'elaborazione da parte di queste aree ottenuta mediante TMS interferisce con la percezione. L'esistenza di disturbi percettivi in seguito a danni a queste regioni conferma ulteriormente come esse siano in qualche modo coinvolte nella consapevolezza, sebbene rimanga ancora da chiarire in che modo.

Complessivamente, questi dati sono compatibili con la nozione generalmente condivisa che qualunque percepito si basa sull'alterazione dell'attività di popolazioni di neuroni corticali nelle regioni associative della corteccia che elaborano lo stimolo rilevante e lo integrano con informazioni provenienti da altre modalità e influenze contestuali. Per ciò che riguarda la visione, le correlazioni osservate, qui descritte, suggeriscono che, probabilmente, l'attività delle cortecce associative visive è *necessaria* per la consapevolezza visiva. Tuttavia l'attività extrastriata non è evidentemente *sufficiente* a garantire la consapevolezza dello stimolo e non è stato ancora identificato alcun marcatore della consapevolezza.

### I correlati neurali della consapevolezza in condizioni patologiche

Anche l'evidenza patologica clinica, molto discussa nei capitoli precedenti in contesti diversi, è rilevante per la comprensione delle basi neurali della consapevolezza. Consideriamo brevemente alcuni esempi chiave che hanno fornito utili indicazioni per la ricerca di un marcatore neurale della consapevolezza cosciente.



A questo proposito, un fenomeno patologico che ha rivestito particolare interesse è la **visione cieca**, descritta e studiata approfonditamente negli ultimi quarant'anni dallo psicologo Larry Weiskrantz e dai suoi colleghi nella Oxford University. Come descritto nell'unità II, i pazienti con un danno alla corteccia visiva primaria sono ciechi nell'area compromessa del campo visivo controlaterale (ricorderete che, a causa della neuroanatomia del sistema visivo, l'area V1 del lobo occipitale destro elabora informazioni che provengono dal campo visivo sinistro, mentre l'area V1 del lobo occipitale sinistro elabora input che provengono dal campo visivo destro). L'area di cecità appartenente al campo compromesso è detta *scotoma* e gli oggetti presentati all'interno di questa regione, per quello che riguarda il paziente, semplicemente non sono visti. Tuttavia, quando i pazienti con visione cieca sono costretti dallo sperimentatore a produrre una risposta a stimoli semplici presentati all'interno dello scotoma, spesso le risposte risultano superiori alla prestazione casuale. Per esempio, se viene chiesto al paziente di indovinare se uno stimolo lineare, presentato entro lo scotoma, è verticale oppure orizzontale, questi risponderà correttamente la maggior parte delle volte, anche se sostiene di non vedere nulla. Anche se questo paradigma non è applicabile a stimoli che cadono nella regione di cecità fisiologica\* (dato che in questo caso non vi è alcuna informazione inviata ad alcun livello del sistema visivo), Tony Ro e colleghi nella Rice University hanno dimostrato come si possa simulare la visione cieca in individui normali mediante l'inattivazione transitoria di V1. La TMS applicata ai lobi occipitali crea uno scotoma temporaneo, ma le caratteristiche di semplici stimoli presentati nella regione del campo visivo non percepita vengono indovinate correttamente a livelli superiori al caso.

Gli studi di visualizzazione neurofunzionale su pazienti con visione cieca dimostrano che gli stimoli non visti producono una certa attività nelle regioni extrastriate, il che implica che queste aree corticali sono necessarie per un comportamento corretto (cioè indovinare lo stimolo presentato) in assenza di consapevolezza. Questo dato sottolinea la conclusione che abbiamo tratto nel paragrafo precedente, secondo cui l'attività extrastriata può essere necessaria per la consapevolezza, ma di per sé non è sufficiente a spiegarla. La spiegazione probabile della visione cieca è che l'elaborazione visiva sottocorticale dell'informazione relativa allo stimolo (forse favorita dall'elaborazione subliminale nella corteccia extrastriata) influenza le supposizioni del paziente. Questa interpretazione è coerente con molte altre prove secondo le quali l'elaborazione subliminale (inconscia) delle informazioni influenza molti tipi di comportamenti.

Un altro esempio di patologia neurale che si presta alla comprensione della consapevolezza è l'esperienza dei pazienti con cervello diviso (*split-brain*), descritta nel contesto del linguaggio (vedi cap. 21). Quando viene reciso il corpo calloso come trattamento per convulsioni epilettiche altrimenti non trattabili, non è più possibile una comunicazione diretta tra l'emisfero destro e quello sinistro. La conseguenza percettiva di questo intervento chirurgico venne studiata per la prima volta da Roger Sperry e dal suo studente Michael Gazzaniga che lavoravano nel Cal Tech negli anni 1960. Le osservazioni effettuate nei decenni successivi su pazienti con cervello diviso hanno ampiamente confermato che gli emisferi isolati lavorano in modo relativamente indipendente, e che la consapevolezza generata dall'elaborazione neurale in un emisfero è per la maggior parte inaccessibile all'altro. Quando si presentano visivamente semplici istruzioni scritte come «ridi» o «cammina» nel campo visivo sinistro – e quindi all'emisfero destro – di un paziente con il cervello diviso, molti soggetti mostrano nell'emisfero destro una comprensione verbale abbastanza rudimentale che consente di eseguire l'azione richiesta. Tuttavia, se si chiede di riferire *perché* abbiano riso o camminato, essi di regola confabulano una risposta utilizzando le abilità linguistiche superiori dell'emisfero sinistro, dicendo, per esempio, che qualcosa detta dallo sperimentatore li ha colpiti in quanto divertente, o che erano stanchi di stare seduti e avevano bisogno di camminare un pochino. In queste circostanze, quindi, lo stesso individuo può ospitare due domini di consapevolezza relativamente indipendenti. Questa evidenza solleva un interrogativo provocatorio inerente al fatto se la consapevolezza sia veramente quella funzione unitaria che pensiamo che sia.

\* La *macchia cieca fisiologica* è una normale caratteristica della visione che deriva dall'assenza di fotorecettori nella regione della retina dalla quale emerge il nervo ottico (vedi figura 4.5). La macchia cieca consente a chiunque di esperire uno scotoma e l'invisibilità degli oggetti all'interno di essa.

Se la visione cieca e la sconnessione dei due emisferi porta a circostanze in cui i pazienti non sono consapevoli dell'elaborazione dello stimolo, che tuttavia è in grado di influenzare il loro comportamento, è anche possibile essere pienamente consapevoli di qualcosa che non esiste realmente. L'illustrazione più lampante di questa sorta di feno-





meno è l'esperienza di un *arto fantasma* negli amputati, descritta nel capitolo 7. Si rammenti che un'esperienza comune in seguito ad amputazione è la consapevolezza soggettiva del paziente di un braccio o una gamba mancanti, a dispetto del fatto che l'arto sia fisicamente mancante, insieme ai suoi input sensoriali periferici. Nonostante sia in corso un dibattito sull'interpretazione di questa bizzarra condizione, la consapevolezza di un arto mancante e le sensazioni da esso provenienti (il dolore è particolarmente problematico per alcuni amputati) sono molto reali, il che enfatizza che l'elaborazione delle informazioni periferiche è un processo attivo con cui la corteccia costruisce il percepto che esperiamo. Le allucinazioni e le illusioni visive mostrano lo stesso fenomeno. Continuando a esaminare i dati discussi nell'unità II, la consapevolezza del mondo non deriva semplicemente dalle rappresentazioni centrali generate dagli organi di senso periferico. Il riconoscimento di questo fatto aggiunge un'ulteriore difficoltà al problema di capire le basi della consapevolezza.

Un'altra condizione clinica pertinente al problema della coscienza è il *coma*. **Coma** (la parola greca che indica «sonno profondo») è il termine applicato allo stato cerebrale di individui che hanno subito un danno cerebrale che li lascia in uno stato di profonda incoscienza definita come apparente non rispondenza a stimoli sensoriali. Di regola la condizione coinvolge una compromissione della funzionalità del tronco encefalico e di altre strutture profonde cerebrali, così che viene interrotta la normale interazione tra queste strutture e la corteccia cerebrale.

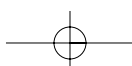
Il coma può insorgere da vari livelli di danno cerebrale e la prognosi è spesso incerta. La maggior parte degli individui comatosi recupera la coscienza entro pochi giorni o settimane man mano che i neuroni compromessi e i circuiti a cui essi contribuiscono riguadagnano gradualmente le loro funzioni. Tuttavia, se il danno neurale è molto profondo, il coma può persistere molto più a lungo. Alcuni pazienti recuperano la coscienza dopo mesi, anche se normalmente con effetti residui, mentre sono stati riportati anche casi estremamente rari di recupero della coscienza dopo alcuni anni. Questa variabilità ha portato a controversie di tipo sociale, religioso e politico sul momento in cui un paziente comatoso possa essere considerato in *stato vegetativo permanente*, una diagnosi che indurrebbe all'interruzione o alla negazione di misure a supporto della vita. Una questione così delicata implica che c'è stato e continuerà a esserci grande interesse per le tecniche che possono contribuire a una migliore comprensione del coma e di una determinata prognosi di un paziente.

L'elettroencefalografia è da tempo fondamentale per la diagnosi di *morte cerebrale irreversibile*, che avviene quando il trauma cerebrale è così grave che non è possibile registrare alcuna attività EEG. Più recentemente per valutare il coma sono state utilizzate anche le neuroimmagini funzionali, qualche volta con risultati sorprendenti. Per esempio, Adrian Owen e colleghi nella Cambridge University hanno ottenuto immagini cerebrali di una donna di 23 anni che era stata in stato di coma per 5 mesi in seguito a un incidente automobilistico. Nonostante le sue condizioni, le scansioni fMRI hanno mostrato che era in una certa misura in grado di comprendere dei comandi verbali e di rispondere loro generando un'appropriata attività nelle aree linguistiche.

Detto tutto ciò, questi studi sulle condizioni cliniche pertinenti per la consapevolezza sono in taluni casi estremamente interessanti e informativi (come gli studi sui pazienti con cervello diviso), o importanti dal punto di vista clinico (come gli studi sul coma), ma non hanno generato alcun consenso sulla natura della coscienza. A giudicare dagli studi su soggetti normali, la consapevolezza di stimoli sensoriali comporta una modulazione modesta dell'attività delle cortecce sensoriali (specialmente di quelle associative di alto livello), come pure delle cortecce frontali e parietali che sostengono l'attenzione e molte altre funzioni cognitive. Tuttavia gli sforzi tesi a identificare le basi neurali della consapevolezza non hanno ancora fornito quel tipo di risposta fondamentale a cui molti ricercatori di queste tematiche avevano aspirato.

## ► LA COSCIENZA È BASATA SU UN MECCANISMO NEURALE NUOVO?

Data la natura relativamente inconcludente degli studi alla ricerca di qualche marcatore delle basi neurali della coscienza, alcuni scienziati sono stati attratti dall'idea molto più radicale che la coscienza umana possa comportare un meccanismo le cui basi van-



no al di là del pensiero convenzionale. Questa possibilità ha avuto un lungo trascorso in ambito filosofico, laddove il **problema mente-corpo** è stato l'ingrediente base di discorsi e dibattiti per millenni.

Nel diciassettesimo secolo la preoccupazione dominante dei filosofi naturalisti era come un'«anima» o una «mente» immateriale potessero interagire causalmente con un corpo materiale. Questo problema, evidente anche in precedenza nella filosofia di Aristotele (che nel *De Motu Animalum* riteneva che la mente fosse localizzata nel cuore), venne affrontato nei più famosi scritti di René Descartes.\* Descartes stabilì che la mente e il corpo fossero fundamentalmente diversi, essendo il corpo, ma non la mente, soggetto alle leggi della fisica. Egli quindi si erse a paladino di quell'approccio da allora noto come **dualismo** cartesiano. A cominciare dagli empiristi inglesi del diciottesimo secolo (le principali figure di questa scuola filosofica furono George Berkeley, John Locke e David Hume), i filosofi hanno gradualmente abbracciato il punto di vista secondo cui quello che si ritiene essere «la mente» è una proprietà emergente dell'attività e delle operazioni del cervello. I moderni filosofi del problema mente-cervello possiedono interessi e conoscenze di base largamente sovrapponibili a quelle dei neuroscienziati cognitivi e i due campi di indagine si sono progressivamente allineati.

È paradossale che siano stati coloro che praticano le scienze esatte a diffondere idee tra le più estremiste sui meccanismi della coscienza. Il matematico e fisico di grande successo Roger Penrose, per esempio, ha descritto profusamente la teoria che i processi quantistici possano costituire la base fondante della coscienza e, in particolare, ha suggerito che alla base della consapevolezza possano esserci effetti quantistici sulla struttura dei microtuboli assonici. Alcuni bravi biologi, inoltre, sono stati attratti dall'idea che probabilmente alla base della coscienza ci sarebbe uno speciale meccanismo. Come Penrose, anche John Eccles, che negli anni 1950 ha portato avanti studi pionieristici sull'elettrofisiologia della trasmissione sinaptica, ha suggerito che eventi di livello quantistico (in particolare l'indeterminatezza del quanto) potrebbero essere alla base della sensazione umana del libero arbitrio.

Altri scienziati si sono rivelati meno fiduciosi sul possibile ruolo della fisica quantistica, ma purtuttavia entusiasti dell'idea che la coscienza richieda un qualche speciale meccanismo. Dopo i suoi enormi contributi alla genetica molecolare, Francis Crick ha trascorso gli ultimi 25 anni della sua vita lavorando e scrivendo sulle basi della coscienza, con l'idea che rimanesse da scoprire qualcosa di fundamentalmente nuovo. L'enorme prestigio scientifico di Crick ha sostanzialmente incoraggiato l'idea descritta in precedenza in questo capitolo, ossia, che qualunque correlato neurale della consapevolezza debba poter distinguere l'attivazione corticale riferita a quando i soggetti sono consapevoli di uno stimolo, rispetto a quando non lo sono. Gerald Edelman, un altro premio Nobel che si è distinto per il suo lavoro sul sistema immunitario e sulle molecole di adesione cellulare, ha dedicato gli ultimi decenni della sua carriera a questo problema, enfatizzando i modelli computazionali basati sui circuiti neurali ricorrenti.

Mentre la teoria quantistica della coscienza è stata da più parti considerata non plausibile (soprattutto perché i processi subatomici a tutt'oggi sono estranei ai meccanismi di trasmissione dei segnali neurali, che, peraltro, sono stati compresi in dettaglio), certamente deve essere considerata la possibilità di un meccanismo o di un punto di vista del tutto nuovo per comprendere il fenomeno della coscienza. Il meccanismo discusso con maggiore enfasi, come punto di vista nuovo per comprendere la coscienza, ha a che fare con le *oscillazioni cerebrali ad alta frequenza*. Come abbiamo visto nel capitolo 3, le oscillazioni cerebrali furono scoperte nel 1924 dal neurologo e psicologo tedesco Hans Berger, che effettuò per la prima volta delle registrazioni EEG che, tra le altre cose, hanno fornito così tante e utili conoscenze sulla fisiologia del ciclo sonno-veglia (vedi sopra). I principi di base delle oscillazioni cerebrali sono stati ben compresi, tuttavia non è ancora stata scoperta la ragione di una tale varietà di comportamenti in circostanze diverse. Ne consegue che un certo numero di ricercatori stiano inseguendo l'idea che particolari componenti dell'attività oscillatoria cerebrale, che rappresenta l'attività coerente di grosse popolazioni di neuroni ampiamente distribuite, possano essere la chiave per comprendere la coscienza secondo un nuovo principio. In generale, l'interesse si è focalizzato sulle oscillazioni ad alta frequenza, nella gamma dei 40 Hz o maggiore.

Alcuni filoni di dati suggeriscono che, di fatto, l'attività neurale sincronizzata possa avere a che fare con la percezione degli stimoli sensoriali. Per esempio, come abbia-

\* Noto in Italia anche come Cartesio, derivante dalla forma latinizzata del suo nome, ossia Cartesius. [N.d.C.]



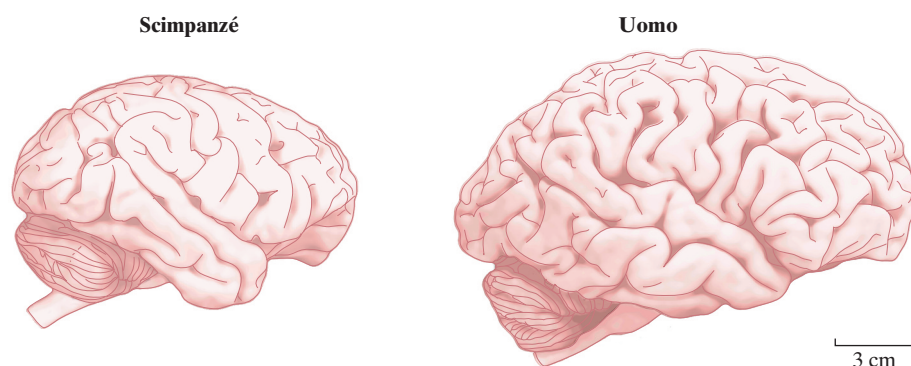
mo visto nel capitolo 11, l'attenzione verso gli stimoli tende a sincronizzare l'attività neurale nelle cortecce sensoriali e le transizioni percettive, durante la visione di stimoli bistabili, sono caratterizzate da un certo grado di sincronizzazione a lunga distanza tra aree cerebrali rilevanti. Come abbiamo visto nel capitolo 4, l'idea sottostante è che la sincronia neurale possa essere rilevante nel generare una coesione tra qualità diverse di un oggetto (spesso chiamata anche *binding*, «congiungimento»; vedi scheda 4B), che consente quindi una consapevolezza unitaria dell'oggetto in quanto tale. Non è chiaro se queste osservazioni siano semplicemente ciò che ci si aspetterebbe dalle popolazioni di cellule che elaborano informazioni sensoriali ed estendono la loro influenza alle popolazioni cellulari collegate, oppure se costituisca il marcatore di un meccanismo senza precedenti alla base della consapevolezza. Molti neuroscienziati sono scettici sulla rilevanza delle oscillazioni corticali al problema della riunificazione dell'oggetto, per non parlare della consapevolezza.

In sintesi, non c'è ancora alcuna prova convincente che la consapevolezza comporti un meccanismo senza precedenti, a livello di fisica quantistica o semplicemente di neurofisiologia basilare.

### ► GLI ALTRI ANIMALI SONO CONSAPEVOLI DEL MONDO E DI SE STESSI?

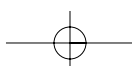
Se gli animali non umani siano consapevoli è una questione che è già stata sollevata in precedenza, con il suggerimento che, a un certo livello tassonomico di semplicità del sistema nervoso, gli animali sono semplicemente degli automi, che rispondono alla stessa stregua di un termostato, o di meccanismi simili, che reagisce a un input senza consapevolezza o flessibilità comportamentale. Ma anche se noi esseri umani tendiamo a porre le nostre funzioni cognitive a un livello molto superiore rispetto al resto del regno animale, sarebbe irragionevole assumere che solo noi siamo i possessori di questa capacità biologicamente utile di essere consapevoli del mondo. La consapevolezza delle circostanze del presente e la conseguente abilità di reagire in modo flessibile alla luce di scopi, desideri e piani specifici rappresenta un enorme vantaggio che l'evoluzione del sistema nervoso avrebbe certamente generato, entro i limiti imposti da alcuni vincoli, come la dimensione del cervello e le altre richieste imposte dai sistemi di circuiti neurali per ciascuna data specie (vedi cap. 26). I mammiferi dotati di cervelli piccoli e semplici hanno probabilmente una consapevolezza rudimentale, invece gli animali dotati di un cervello di sostanziale grandezza, con un'estesa organizzazione della neocorteccia come la nostra (figura 28.4), si presume abbiano un livello di consapevolezza del mondo abbastanza simile.

Da un punto di vista strettamente logico, naturalmente, è impossibile sapere se un *qualunque altro* essere diverso dal nostro è soggettivamente consapevole. Questa impasse è nota come «problema delle altre menti». Come hanno sottolineato filosofi come Alfred J. Ayer e scienziati informatici come Alan Turing, dobbiamo inevitabilmente credere nella coscienza degli altri sulla fiducia, o almeno sulla base di osservazioni empiriche (così, il famoso «test di Turing» per distinguere l'intelligenza umana da quella artificiale; vedi il paragrafo seguente). Per lo stesso motivo, è possibile condividere la posizione filosofica secondo cui anche il più sofisticato comportamento umano potrebbe,



**Figura 28.4** Consapevolezza e dimensioni cerebrali

La consapevolezza del mondo sembra altamente probabile in animali come gli scimpanzé, i cui cervelli sono organizzati in maniera molto simile ai nostri. Negli animali con cervelli più piccoli e meno complessi (per esempio, i roditori), la consapevolezza del mondo è presumibilmente limitata e del tutto assente in specie con un minor numero di neuroni o privi del tutto di cervello (per esempio, gli invertebrati come i vermi di terra, il cui sistema nervoso è costituito semplicemente da catene di gangli).



in linea di principio, prodursi senza consapevolezza soggettiva (dopo tutto, molti, se non la maggior parte, dei comportamenti umani complessi avvengono inconsciamente) e che la coscienza sia un epifenomeno senza significato di causalità (per la discussione sul libero arbitrio vedi più avanti).

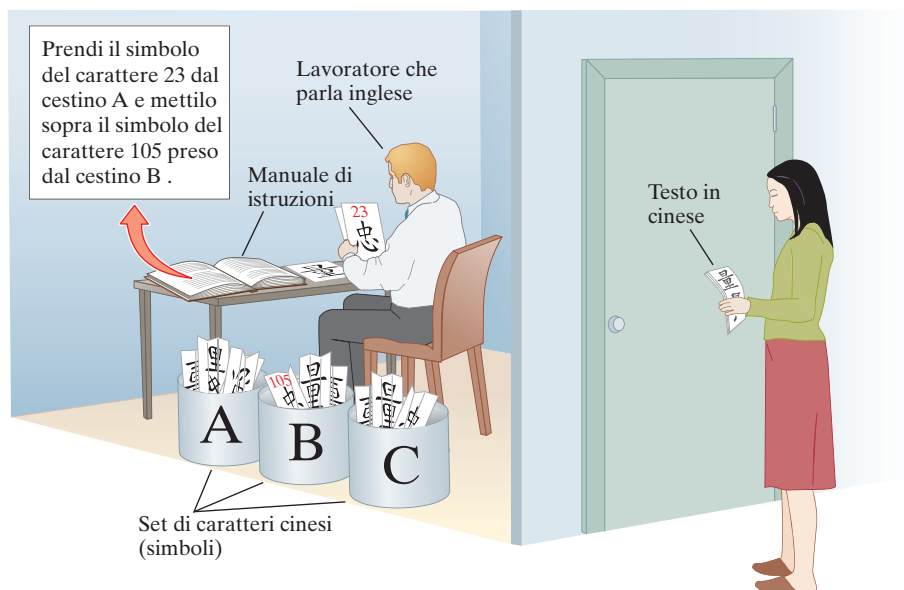
Una questione collegata riguarda non solo l'ipotesi che altre specie siano consapevoli del mondo più o meno nello stesso modo in cui noi lo siamo, ma anche se esse siano consapevoli di essere un sé nel mondo, un aspetto della consapevolezza che è del tutto naturale per gli esseri umani. Come abbiamo visto nella discussione sulla teoria della mente nel capitolo 19, il significato dell'autoconsapevolezza è l'abilità di reagire alle motivazioni degli altri, in base a una consapevolezza delle proprie motivazioni e dei propri scopi. Prove più datate dell'autoconsapevolezza in altre specie si basavano prevalentemente su un **test dello specchio** messo a punto nel 1970 dallo psicologo Gordon Gallup, ora nell'Università di Albany. In questo paradigma si consentiva ad alcuni scimpanzé di vedere se stessi in uno specchio di grandi dimensioni. Dapprima gli scimpanzé sembravano considerare le loro immagini speculari come se fossero altri scimpanzé, come si evinceva dalla loro prestazione, che evidenziava caratteristici comportamenti sociali (si dice che cani e gatti mostrino lo stesso tipo di reazione). Tuttavia Gallup riferì che dopo alcuni giorni il comportamento degli scimpanzé era cambiato: il comportamento sociale si era interrotto ed essi tendevano a spulciarsi sulle regioni corporee presenti nell'immagine. A uno stadio successivo Gallup pose un segno colorato sulla fronte degli scimpanzé in un punto che poteva essere visto solamente allo specchio. Mentre gli animali si toccavano raramente in quel punto in altre circostanze, quando videro il marchio nello specchio cominciarono a toccarsi ripetutamente. Tuttavia, lavori più recenti di Marc Hauser e colleghi hanno mostrato che alcuni primati che si diceva avessero fallito nel test dello specchio in realtà l'avevano superato; inoltre sono stati sollevati dubbi sulla validità di questo approccio generale per valutare l'autoconsapevolezza. Altri ricercatori hanno affermato che il livello di frustrazione mostrato dalle scimmie rhesus nei compiti di memoria suggerisce una consapevolezza del fatto di sapere o non sapere qualcosa. Questo fenomeno, detto **metacognizione**, è stato considerato anche un indicatore di autoconsapevolezza in alcuni primati non umani.

Nonostante la difficoltà di dimostrare l'autoconsapevolezza sia sostanziale e perciò la prova che questa proprietà cognitiva esista in altri primati sia debole, sembra probabile che la coscienza, nel senso della consapevolezza dell'essere, sia effettivamente presente negli animali non umani i cui cervelli sono organizzati in modo simile ai nostri e il cui comportamento sociale beneficerebbe di una consapevolezza di essere un sé tra gli altri.

## ► LE MACCHINE POSSONO ESSERE COSCIENTI?

Una questione che da tempo ha intrigato i pensatori moderni è se la consapevolezza e l'autoconsapevolezza siano proprietà intrinsecamente biologiche o se invece un giorno queste funzioni potranno essere incorporate in macchine non biologiche. Sebbene una *macchina* possa essere definita come una qualunque struttura progettata per uno scopo, per gli attuali scopi una macchina significa un computer o un altro dispositivo di elaborazione dell'informazione. Si pone quindi la questione se tali macchine possano in futuro possedere quella proprietà che definiamo coscienza.

Almeno in linea di principio, la risposta a questa domanda è sì. Se si è d'accordo, come lo è virtualmente qualunque neuroscienziato contemporaneo, che i sistemi nervosi biologici e i loro elementi operino sulla base di leggi della chimica e della fisica, allora il cervello umano rientra chiaramente nella categoria delle macchine, quantunque si tratti di una macchina composta di parti veramente speciali (vedi cap. 1 e l'appendice in fondo al volume). Se si rigetta il dualismo – la posizione cartesiana che la coscienza non si basi su fenomeni fisici ed è quindi al di là della conoscenza delle regole che governano il comportamento – ne consegue che, in teoria, potrebbe infine essere costruita una struttura in grado di imitare la nostra consapevolezza essendo funzionalmente isomorfa al cervello umano, o anche utilizzando elementi diversi dal punto di vista fisico (per esempio, elementi di computer digitali) in modi sufficientemente simili da consentire consapevolezza del mondo e di sé (qualunque cosa possa significare l'ultima parola in questo scenario). Quindi, la questione che realmente bolle in pentola è se i



**Figura 28.5** L'analogia della stanza cinese di Searle

In una stanza chiusa, un lavoratore che parla inglese manipola dei simboli in base a un sistema di regole descritte in un manuale, producendo, quindi, una narrazione in cinese che è intelligibile (anche molto notevole) per un osservatore esterno. Il lavoratore non ha idea del significato dei simboli ed è all'oscuro dello scopo della stanza, ma l'osservatore fa un'inferenza non corretta e presuppone cognizione del significato e dello scopo da parte del lavoratore.

computer e gli scienziati informatici riusciranno mai a portare a termine il compito di una tale replicazione funzionale.

A dispetto dell'inesorabile progresso della scienza informatica, questa prospettiva tende a trasformare la questione della consapevolezza delle macchine in un dibattito filosofico, a cui un certo numero di filosofi si sono avvicinati con particolare interesse. Patricia e Paul Churchland nell'Università della California a San Diego, Daniel Dennett nella Tufts University e John Searle a Berkeley sono esempi di filosofi le cui idee su questa materia sono state molto influenti. Una posizione estrema in questo dibattito è stata assunta con grande scalpore dallo scienziato informatico John McCarthy, che ha affermato che, poiché le operazioni computazionali che conosciamo allo stato attuale assomigliano in qualche modo ai processi mentali, allora si potrebbe pensare che possiedano dei rudimenti di consapevolezza. Un argomento egualmente famoso che potrebbe essere usato per argomentare l'altra faccia della medaglia è l'analogia della «stanza cinese» di Searle, che enfatizza come l'output di una macchina non indichi necessariamente le sue modalità funzionali o proprietà interne (cioè, la sua possibile coscienza). Searle descrive un cubicolo in cui a un lavoratore che parla inglese vengono mostrati dei simboli cinesi in ordine sparso, che egli quindi esamina sulla base di un libro di istruzioni scritto in inglese. La persona che lavora nella stanza non ha alcuna conoscenza del cinese e manipola semplicemente i simboli sulla base di un sistema di regole (figura 28.5). Anche se ciò che esce dalla stanza sono frasi sensate in cinese, che fanno puntualmente colpo sugli osservatori esterni, il lavoratore non è consapevole del significato dell'informazione che sta trattando e dello scopo generale della stanza. Anche se si deve tenere in conto il fatto che questa analogia inizialmente è stata progettata per far fronte ad altri problemi filosofici, tuttavia appare chiaro che gli output significativi non forniscono un'evidenza inconfutabile della coscienza o di qualunque altra funzione cognitiva.

Allora che cosa sarebbe necessario per rendere un computer consapevole e/o auto-consapevole? O, in altri termini, quali sono le caratteristiche essenziali del cervello animale che caratterizzano le proprietà cognitive di cui i computer sono privi? Una delle caratteristiche è la straordinaria interconnettività delle componenti del cervello umano che favorisce l'attività ricorrente quando regioni diverse del cervello comunicano, in avanti e a ritroso; ricorderete dai capitoli precedenti che il cervello è continuamente in attività e che il livello complessivo di attività cambia poco e solo in regioni specifiche, se rispondiamo a un dato stimolo o eseguiamo un determinato compito). Un tale sistema di trasmissione di segnali nervosi da e verso i circuiti cerebrali è nota come **elaborazione ricorsiva** (*elaborazione rientrante* o *reciproca* sono termini affini). L'elaborazione ricorsiva include quel tipo di interazioni ricorsive che presumibilmente consentirebbero a un cervello o a un altro sistema di elaborazione delle informazioni di valutare e riflettere sul suo contenuto.



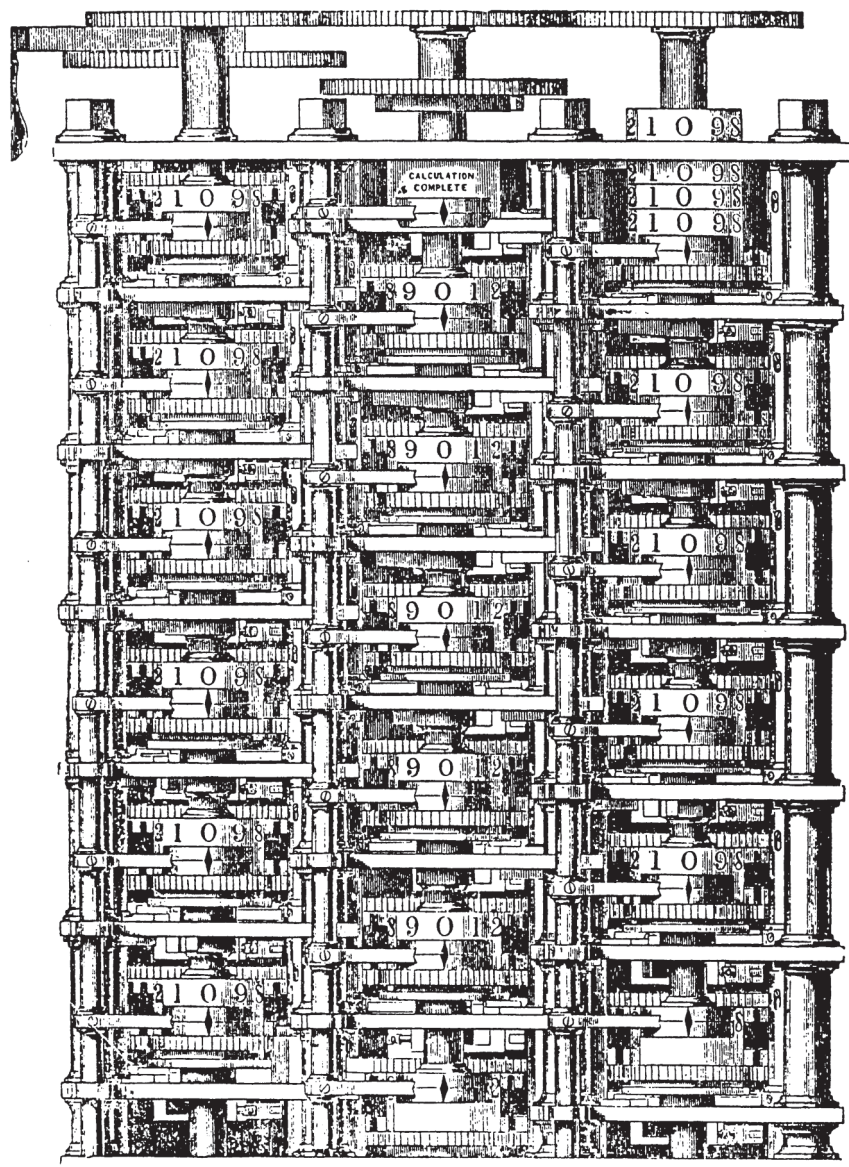
Nella loro forma attuale i cervelli umani differiscono dai computer per le seguenti caratteristiche: i circuiti di un computer privati di input sono quiescenti e, di regola, elaborare dati con un dato programma non influisce su un altro programma. Per esempio, il programma di elaborazione dei testi del vostro portatile non interagisce con il software grafico e viceversa. Sembra ragionevole supporre che l'attività cerebrale e l'interconnettività dei circuiti cerebrali ci consentano di considerare le circostanze, i contesti e le contingenze in termini di presente (percezione), passato (memoria) e futuro (pianificazione e processi decisionali). L'evoluzione di un tale sistema di circuiti e l'attività ricorrente che essa favorisce sono probabilmente essenziali alla consapevolezza. Animali relativamente semplici (e i computer nella maggior parte delle applicazioni attuali) hanno poche o nessuna capacità riflessiva che abiliti tale processo ricorsivo. Tuttavia, man mano che i sistemi nervosi animali e il comportamento da essi sostenuto diventano più complessi, l'abilità di riflettere complessivamente sul passato, sul presente e sul futuro produce benefici via via più consistenti. In qualche punto della loro evoluzione, in particolare nell'interfacciarsi con dispositivi robotici, anche i computer beneficeranno probabilmente di un tale meccanismo di riflessione, e per le stesse ragioni generali. Se questo avvenisse, le macchine sarebbero un passo più vicino a fare quello che fa il cervello e, almeno in linea di principio, nulla sembra frapporti a questa possibile direzione di sviluppo.

Se, alla fine, i computer contenessero un sistema di circuiti che consentisse loro di riflettere sull'esperienza presente e passata e di fare inferenze sul futuro, come faremmo (in caso) a sapere che la macchina è diventata consapevole? Questo interrogativo solleva il dilemma già menzionato: non c'è modo di essere certi che un altro essere umano o noi stessi siamo consapevoli, figuriamoci una macchina. Più di cinquant'anni fa lo scienziato informatico Alan Turing descrisse quello che è noto come **test di Turing**, un approccio a questo problema basato su un'intervista dettagliata. Turing affermò che se dei giudici umani, sulla base delle risposte a domande molto difficili da loro stessi poste, non fossero in grado di capire di stare interagendo con un altro essere umano oppure con un computer, allora non c'era alcuna ragione per rifiutare l'attribuzione della coscienza alla macchina che rispondeva alle domande. Alcuni programmi già operativi consentono ai computer di funzionare relativamente bene secondo questo criterio. Ma, come nel caso di esseri umani che giudicano altri esseri umani, solo la macchina stessa potrebbe sapere con certezza di essere cosciente. Forse, in futuro, la raffinatezza dei dispositivi computazionali ci costringerà a presumere che le macchine non biologiche sono realmente consapevoli, proprio come ora lo assumiamo quando interagiamo con altre persone e per le stesse ragioni di tipo pragmatico.

### ► COME POTREBBE ESSERSI EVOLUTA LA COSCIENZA?

Se la consapevolezza e l'autoconsapevolezza dipendono dai cervelli (o dalle macchine) la cui elevata interconnettività sostiene l'attività ricorrente in corso, come potrebbero essersi evolute queste proprietà? In aggiunta alle tematiche discusse nel capitolo 26, la questione di come questo sistema di circuiti ricorsivi possa essersi evoluto è alimentata da un dibattito di lunga data nell'ambito della scienza informatica. La computazione moderna ha avuto inizio da operazioni sequenziali, specificate in modo formale nel codice di programmazione, ed è ancora largamente basata su di esse. Questo approccio è stato attuato per la prima volta nei dispositivi meccanici del diciannovesimo secolo, come la straordinaria «macchina analitica» di Charles Babbage (**figura 28.6**) e, ultimamente, nell'hardware e nel software che consentono ai computer odierni di risolvere problemi basati su regole via via più complessi. Nella maggior parte delle applicazioni, i programmi dei computer istruiscono l'hardware della macchina a portare avanti una sequenza di passi definita in modo logico per risolvere problemi che in teoria sono stati già risolti dal programmatore. Ne consegue che le possibili soluzioni della grande maggioranza di compiti affrontati dai computer, dall'elaborazione di testi alla grafica e alla contabilità, possono essere (e in realtà, sono) preparati in dettaglio a priori. L'enorme successo di questo approccio generale non ha bisogno di essere ulteriormente enfatizzato, anche se tutti gli utenti di computer sono ben consapevoli dell'esperante letteralità di questo stile operativo.

Quali che siano i meriti delle analogie tra l'elaborazione dell'informazione effettua-



B. H. Babbage, del.

### Figura 28.6 La macchina analitica di Babbage

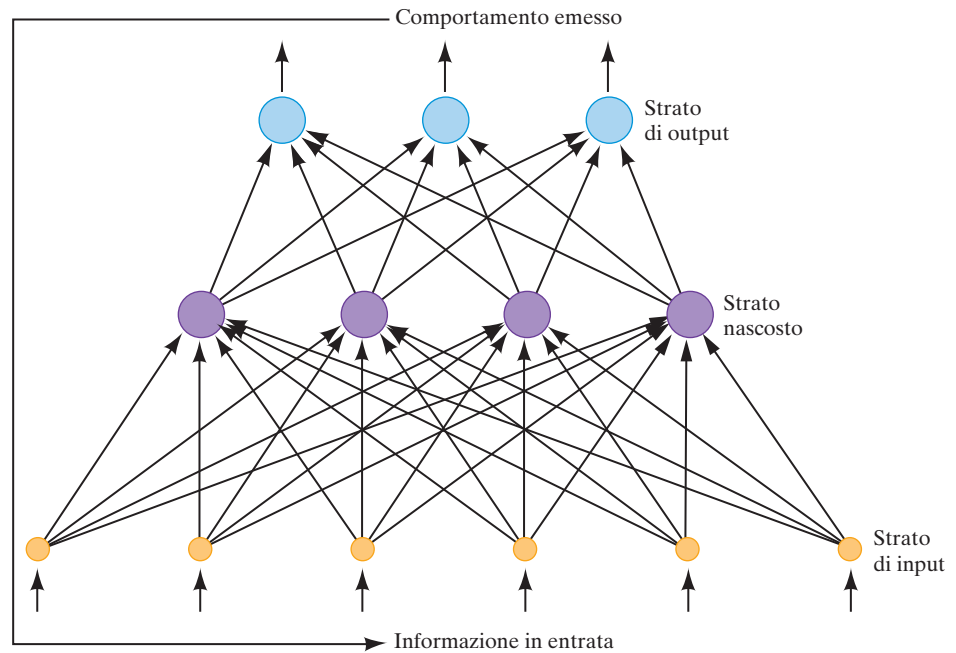
Babbage progettò per la prima volta questa macchina nel 1837 e continuò a migliorarla fino alla sua morte, avvenuta nel 1871. Egli viene generalmente considerato il pioniere dei dispositivi computazionali. Questo predecessore meccanico dei computer elettronici, che fu progettato per operare in una versione di quello che oggi chiameremmo linguaggio di programmazione assemblato, è istruttivo in quanto le sue parti visibili comunicano la natura sequenziale e rigida della computazione tradizionale.

ta nel cervello e dai computer digitali, è ovvio che le operazioni del cervello biologico non sono architettate nello stile rigido, basato su regole, del dispositivo di Babbage o dalla maggior parte dei computer moderni e dei programmi che eseguono. Tuttavia vi è un altro modo in cui i computer possono risolvere problemi complessi che possono essere importanti per comprendere il tipo di attività ricorsiva e di connettività necessaria alla consapevolezza e, forse, come e perché queste caratteristiche si siano evolute nei cervelli animali. Lo psicologo Warren McCulloch e il logico Walter Pitts, due pensatori molto creativi che lavoravano nel MIT nei primi anni 1940, furono i primi a individuare questo approccio alternativo alla computazione. Piuttosto che dipendere da una serie di passi predeterminati che dettano ciascuna operazione, McCulloch e Pitts suggerirono che i problemi potevano essere risolti anche per mezzo di dispositivi computazionali composti da unità («neuroni» nella loro terminologia ispirata alla biologia) le cui interconnessioni in una rete potevano progressivamente cambiare sulla base di un feedback relativo al successo (o fallimento) della rete nel trattare con un determinato problema (figura 28.7).

L'attributo chiave di sistemi del genere (denominati **reti neurali artificiali**, o solo **reti neurali**) è la loro abilità di risolvere un problema in assenza di una conoscenza a priori della risposta, dei passi necessari al suo raggiungimento, o anche di una chiara concezione da parte del programmatore di come il problema *possa* essere risolto in qualche modo razionale. In effetti, le reti neurali generano soluzioni per prove ed errori, ge-

### Figura 28.7 Una rete neurale semplice

Una tipica rete neurale artificiale comprende uno strato di input, uno strato di output e uno strato «nascosto». Il denominatore comune di questa architettura di rete e di altre molto più complesse è un sistema di nodi o di «neuroni» riccamente interconnessi; il sistema è programmato in modo tale che la forza delle connessioni tra i nodi vengono progressivamente modificate sulla base dei risultati della prova e delle risposte d'errore dell'output. Il risultato è che l'iniziale connettività casuale del sistema cambia gradatamente per via del feedback man mano che la rete cerca di risolvere il compito che le è stato posto in modo via via più efficace. La connettività della rete che emerge da questo processo non è facilmente prevedibile, né lo è il modo in cui la rete risolve un problema facilmente segmentabile. Se il problema è semplice, l'operatività della rete può essere ricondotta a un algoritmo di tipo logico. Ma se il problema è molto complesso, i passi causali coinvolti nella soluzione possono essere indecifrabili e, dal punto di vista pratico, sarebbero comunque non informativi se essi potessero essere decifrati.



nerando risposte progressivamente più utili sulla base del successo operativo. Ne consegue che l'architettura di una rete addestrata (probabilmente analoga a un circuito neurale evoluto o addestrato) è effettivamente il risultato di una storia della rete stessa, ossia della sua esperienza.

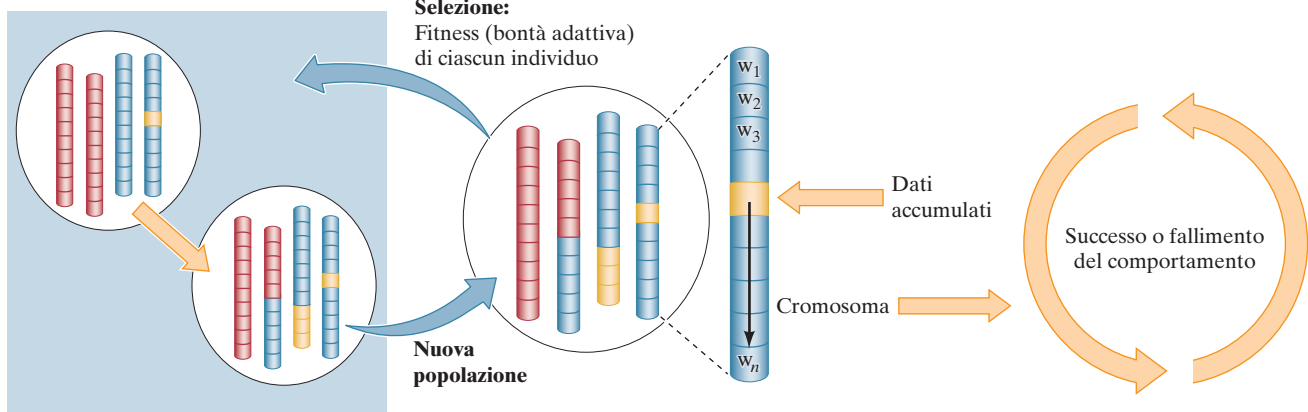
Comprendere l'elaborazione pertinente al problema analizzando la connettività della macchina dopo l'addestramento in termini logici è alquanto difficile, il che rende le reti neurali non appetibili per molti scienziati informatici. Poiché l'operazione di sistemi del genere non è facilmente riconducibile a una serie di passi logici che abbiano senso in termini umani e poiché l'addestramento è di tipo empirico, talvolta si dice che utilizzare una rete neurale per trattare un determinato problema è sempre «seconda alla migliore soluzione». Tuttavia, per alcune tipologie di problemi la soluzione empirica può rappresentare l'unica via percorribile (considerate, per esempio, il dilemma posto dal problema inverso nella visione, che sembra aver portato alle strategie percettive empiriche descritte nell'unità II).

Un'ulteriore estensione di questo approccio empirico alla computazione è stata l'«evoluzione» delle reti neurali in ambienti virtuali. Questo tipo di approccio si avvale di **algoritmi genetici** che imitano la biologia della replicazione, della mutazione e della ricombinazione genetica (figura 28.8). In questo schema una popolazione di reti neurali artificiali rappresenta degli organismi virtuali che mutano gradualmente in virtù della selezione e della riproduzione di quelle reti che hanno una prestazione migliore, assumendo come criterio il successo comportamentale in un ambiente simulato al computer. Cambiamenti casuali nella struttura e nella funzione della connettività delle «forme ancestrali» persistono o meno nei discendenti, sulla base del loro successo operativo. Questo schema aggiorna continuamente il sistema di circuiti della rete sulla base del successo empirico o del fallimento del comportamento prodotto. Come risultato, le configurazioni del sistema di circuiti neurali che esemplificano meglio il successo comportamentale nelle reti in evoluzione crescono, mentre tendono a diminuire le configurazioni che sono meno utili.

Questo approccio è particolarmente rilevante per l'evoluzione delle reti neurali che potrebbe riflettersi nel loro contenuto in base all'evoluzione di operazioni ricorsive. La selezione naturale è la forza principale alla base dell'implementazione dell'impianto delle connessioni cerebrali ricorsive che, presumibilmente, è alla base della consapevolezza umana. Se l'abilità di un organismo a riflettere sul contenuto dell'informazione che sta elaborando rappresenta effettivamente il vantaggio che sembra esistere nel mondo naturale, allora ci si potrebbe aspettare che questa proprietà emerga gradualmente qualora si consentisse a reti neurali sufficientemente complesse di «evolvere» in ambienti così realistici da rendere la consapevolezza un bene prezioso.

**Riproduzione**

Ricombinazione e mutazione



A dispetto della natura altamente speculativa di queste considerazioni, è possibile almeno immaginare i modi in cui la consapevolezza potrebbe essersi evoluta; l'articolazione della modalità con cui la coscienza umana potrebbe verosimilmente essersi evoluta potrebbe rivelarsi utile nella creazione di proprietà simili in sistemi non biologici di elaborazione delle informazioni.

**Figura 28.8** Uso di un algoritmo genetico per l'evoluzione delle reti neurali

I pesi delle connessioni di una rete neurale (vedi figura 28.7) possono essere modellizzati come geni che mutano. Questi cambiamenti casuali portano a corrispondenti cambiamenti comportamentali della rete, che possono essere selezionati sulla base del successo comportamentale in un ambiente virtuale.

► **ALCUNI PROBLEMI GENERALI SOLLEVATI DAGLI STUDI SULLA COSCIENZA**

Nel momento in cui i neuroscienziati cognitivi hanno cominciato a riflettere sempre di più sulla basi neurali della consapevolezza, alcuni punti di vista a lungo condivisi sulle funzioni cognitive umane hanno cominciato a cambiare. Un'arena di grandi cambiamenti riguarda l'idea che le funzioni cognitive operino sulla base di una gerarchia nell'elaborazione. Come abbiamo visto nell'unità II, il punto di vista tradizionale era che gli stimoli ambientali generano «dati sensoriali» a livello di recettori sensoriali (il «basso» della concezione dell'elaborazione sensoriale «dal basso verso l'alto», o *bottom-up*), poi questa informazione procede nella sua ascesa (l'«alto» della concezione dell'elaborazione sensoriale *bottom-up*) attraverso i successivi stadi di elaborazione verso regioni di ordine superiore della corteccia cerebrale (l'«alto» nella concezione «dall'alto verso il basso», o *top-down*, delle influenze corticali). Secondo questa ottica i percetti, insieme a qualunque altra attività corticale da essi suscitata (per esempio, ricordi, emozioni, desideri), influenzano a loro volta le stazioni inferiori nel sistema nervoso (il «basso» nella nozione *top-down*). Questo modo tradizionale di concepire l'elaborazione nervosa è attraente perché gli eventi rilevanti dal punto di vista del segnale ovviamente hanno luogo nella periferia, viaggiano centralmente, sono in qualche misura sequenziali, e hanno influenze che si distribuiscono in tutto il cervello. D'altra parte, questo schema può anche essere fuorviante. Come già notato sia in questa sede sia in precedenti descrizioni della percezione e dell'attenzione (vedi capp. 4, 5 e 10) non ci sono evidenze che la consapevolezza sia di competenza di un particolare luogo o meccanismo corticale, oppure che una qualunque stazione della via sensoriale sia meno importante per la generazione della consapevolezza di qualunque altra. La consapevolezza del mondo e di sé evidentemente dipende dall'operazione integrata di molteplici elementi nelle reti neurali, sia sensoriali sia di altro tipo, e non andrebbe concepita come l'apice di un processo elaborativo gerarchico.

Una seconda preoccupazione riguarda il fatto che la maggior parte degli studi sulla consapevolezza dipende da dati relativi alla percezione sensoriale, di regola alla percezione visiva. Gli stessi argomenti sarebbero validi per la consapevolezza generata da sistemi neurali che elaborano informazioni legate a pensieri, sentimenti, ricordi e desideri? Nonostante anche il più astratto dei pensieri si basi probabilmente su un input sensoriale a qualche livello, i legami possono essere talmente remoti da rendere l'influenza degli stimoli sensoriali difficile o impossibile da riconoscere. Poiché siamo chiaramente consapevoli di queste altre categorie di contenuti mentali non sensoriali, non



possiamo evitare la questione di come si possa assumere che abbiano le stesse basi della nostra consapevolezza di percetti sensoriali. La consapevolezza di queste ulteriori categorie di contenuti mentali non prettamente sensoriali («mente») può probabilmente condurre alle stesse conclusioni derivanti da paradigmi basati sulla consapevolezza degli stimoli sensoriali, ma questo rimane da dimostrare. I correlati neurali della consapevolezza del contenuto mentale non prettamente sensoriale sono stati scarsamente studiati. Rimediare a questa lacuna nelle nostre conoscenze potrebbe esercitare una sempre maggiore influenza sulla direzione della ricerca sulle basi neurali della consapevolezza.

Una terza preoccupazione riguarda la classificazione delle eventuali differenze tra consapevolezza e attenzione. Nell'unità IV abbiamo considerato l'attenzione come una funzione cognitiva distinta governata da reti di controllo definite principalmente sulla base di paradigmi sensoriali. Eppure, in che senso *prestare attenzione* a uno stimolo sensoriale differisce da *esserne consapevoli*? Una risposta potrebbe essere espressa in termini di un processo attivo rispetto a uno passivo: concepiamo la consapevolezza come una specie di condizione automatica della veglia, mentre pensiamo che l'attenzione richieda un focus attivo o di ricerca. Rammenterete, tuttavia, che, al di fuori del laboratorio, l'attenzione è più spesso guidata da eventi che accadono, piuttosto che da qualche processo volontario in risposta a un'istruzione esplicita, sia esterna sia interna (vedi cap. 10). Si potrebbe affermare che l'attenzione rappresenta semplicemente un altro termine per indicare la consapevolezza, o perlomeno che le due parole sono strettamente legate. Se così fosse, una tale concezione dell'attenzione dovrebbe rendere conto delle stesse problematiche affrontate nella consapevolezza e i suoi correlati neurali, discusse in questo capitolo.

Infine, l'apparente assenza di luoghi o processi neurali specifici per la consapevolezza solleva la questione di come le cose di cui siamo consapevoli (i percetti sensoriali, i sentimenti, i pensieri astratti, i ricordi, ecc.) siano effettivamente *rappresentati* nel cervello. Sebbene tale questione sia emersa nei capitoli precedenti in contesti più limitati, vale la pena di considerarla in questa sede in termini più generali. È nozione da lungo tempo condivisa che alla base di qualunque contenuto mentale vi sia l'attività di alcuni sottogruppi di circuiti neurali. Quindi, tutte le rappresentazioni neurali sono definibili in termini di relativa attività di popolazioni di cellule nervose. Storicamente, i neuroscienziati hanno mostrato la tendenza a immaginare che la rappresentazione cerebrale si basi sull'attività di piccole popolazioni neuronali. In effetti, persino nel corso degli ultimi decenni è stato preso in seria considerazione il concetto di «cellula della nonna», la nozione che la rappresentazione di uno specifico oggetto come la nonna di una persona possa risiedere in uno o più neuroni corticali altamente specializzati.

Attualmente il concetto di cellula della nonna è in disuso per la sua ingenuità e in quanto non compatibile con i dati attualmente disponibili, tuttavia i neuroscienziati condividono tuttora l'idea che i percetti, i sentimenti, i pensieri e i ricordi siano rappresentati dall'attività di popolazioni di cellule nervose relativamente piccole ma specializzate. Peraltro, dalle evidenze discusse qui e in altri capitoli, sembra più probabile che la rappresentazione di oggetti specifici o di qualunque altro contenuto mentale di cui siamo consapevoli in un dato momento preveda l'attivazione neurale di molteplici regioni cerebrali e che questa attività sia influenzata, direttamente o indirettamente, dall'attività simultanea della maggior parte del resto del sistema nervoso. Questa conclusione deriva dall'ampia gamma di qualità diverse che attribuiamo o associamo anche al più piccolo oggetto o pensiero, e all'enorme interconnettività di ciascuna regione cerebrale. Gli oggetti, o altri contenuti mentali, sono quindi inevitabilmente rappresentati da vari livelli di attività in grosse popolazioni neuronali distribuite nell'intero cervello. Un corollario è che, lungi dall'essere cellule della nonna, ciascuno dei neuroni corticali e sottocorticali coinvolti nelle funzioni cognitive contribuisce enormemente alle diverse forme di rappresentazione delle varie tipologie di cose di cui siamo consapevoli.

### ► COSA SIGNIFICA ESSERE UMANI

Alla luce degli argomenti discussi in questa unità, l'interrogativo finale è: «Cosa significa essere umani?». In un passato non troppo remoto la risposta sarebbe stata espressa sulla base della nozione che molte delle proprietà cognitive degli esseri umani manca-



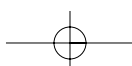


no negli altri animali. Questi attributi mancanti, a seconda della disciplina o delle inclinazioni dello studioso che fa tale affermazione, avrebbero potuto includere la coscienza, nel senso della consapevolezza, un senso di autoconsapevolezza e una varietà di funzioni più specifiche come il linguaggio, la capacità di ragionamento e il senso del bene e del male (cioè, la moralità). Man mano che le neuroscienze (e la biologia in generale) sono divenute più sofisticate, queste e altre abilità cognitive, considerate unicamente umane, sono diventate sempre di meno. In questo senso, in altre specie sono stati accertati gli antecedenti del linguaggio e i rudimenti della cultura (vedi unità VII), le scimmie più evolute e alcuni altri animali sono capaci di un certo ragionamento e di risoluzione di problemi (vedi unità VIII) e ci sono prove di consapevolezza e autoconsapevolezza in numerose specie. Di fatto, non c'è alcuna ragione di concludere che altri animali con cervelli molto simili ai nostri manchino di qualcuno degli attributi che secoli o anche solo decenni fa si pensava distinguessero l'*Homo sapiens* dalle altre specie. Le differenze tra noi e i nostri amici animali sembrano sempre più una questione di livello (anche se in alcuni casi molto grandi) che una questione qualitativa.

Comunque sia, una proprietà cognitiva che molti sosterebbero essere prerogativa unica dell'uomo è la sensazione che le nostre decisioni cosce e le successive azioni siano autodeterminate, cioè determinate dal *libero arbitrio*. Dal momento che i codici legislativi e i sistemi penali sono basati sull'idea che le azioni di una persona sana di mente sono compiute volontariamente, la questione è di fondamentale importanza nelle società umane e nei contratti sociali. Non potrebbe, quindi, essere il libero arbitrio quel tocco d'umanità di cui parliamo?

Anche se un senso soggettivo di libertà potrebbe essere prerogativa solo della nostra specie, lo psicologo di Harvard Daniel Wegner e altri hanno affermato che il libero arbitrio è semplicemente una chimera. Il problema derivante dalla convinzione di prendere liberamente delle decisioni consiste nell'implicazione che almeno alcuni aspetti della funzione cerebrale siano governati da un'entità (a cui talvolta ci si riferisce in modo derisorio come *homunculus*, «omino») che sarebbe indipendente dalle catene causali di eventi che determinano qualunque comportamento fisico. Gli scettici come Wegner si chiedono giustamente cosa significhi veramente postulare un «sé» che prende le decisioni e in che modo le scelte concepite come «prese liberamente» differiscano in qualche misura dalle «scelte» prese in ogni momento dal sistema nervoso riguardo alle funzioni neurali omeostatiche o alle altre funzioni di tipo inconscio, che pensiamo derivino da un'elaborazione neurale primitiva «riflessa». Quando il sistema nervoso risponde a un input sensoriale e «decide» di adattare la pressione sanguigna o il battito cardiaco a un determinato nuovo livello in base a circostanze molto complesse, non pensiamo che il risultante comportamento fisiologico sia la conseguenza di una decisione, come s'intende usualmente, per non parlare di una decisione che possa coinvolgere il libero arbitrio; è semplicemente il risultato di una catena causale complessa che coinvolge i recettori sensoriali, i quali forniscono informazioni sul sistema cardiovascolare che deve adattarsi a condizioni alterate. È difficile sfuggire alla conclusione che, se accettiamo il concetto di libero arbitrio, dobbiamo farlo in base a una credenza, o a un senso pragmatico della sua utilità nei contratti sociali, piuttosto che in base alle prove esistenti in un qualunque aspetto della funzionalità cerebrale.

Una questione strettamente associata è come definire la differenza tra comportamento *volontario* e comportamento *involontario*. Come contesto per riflettere su tale questione consideriamo la base neurale dell'azione volontaria (voluta) che abbiamo in qualche modo «deciso» di compiere e che può anche verificarsi come riflesso involontario: per esempio, l'estensione volontaria della gamba rispetto al «riflesso rotuleo» involontario, descritto nel capitolo 1. L'input ai neuroni spinali motori che causa l'estensione nel riflesso rotuleo è stato compreso abbastanza bene, anche se, come sottolineato nell'unità III, in questa o altri tipi di risposta motoria è coinvolto un consistente controllo di ordine superiore da parte del sistema dei circuiti motori. L'input ai neuroni motori spinali rilevanti nell'estensione volontaria della gamba è anch'esso un prodotto del legame causale tra stimolo e risposta, anche se lo stimolo in questo caso è meno immediato e può essere più difficile da riconoscere. Per esempio, lo stimolo derivante dal vedere una palla potrebbe innescare l'attività neurale che rappresenta la consapevolezza della ricompensa (piacere) che deriverebbe dal calciarla e, a sua volta, questa attività potrebbe stimolare una decisione di estendere la gamba per ottenere la ricompensa de-





rivante dal calciare effettivamente la palla. Il fatto che una parte del processo, se non tutto, sia spesso inconscia contribuisce a oscurare ulteriormente la catena causale alla base di questo tipo di azioni volontarie: una persona potrebbe calciare la palla pur non essendo consapevole delle motivazioni sottostanti, perché intenta a pensare a qualcos'altro.

Sebbene le lunghe, complesse e spesso inconscie catene causali tra stimolo e risposta possano condurre all'estensione volontaria della gamba, o a qualche altra azione, non si può evitare il fatto che alla base di un comportamento volontario vi sia sempre una catena causale di connessioni neurali. Da questo punto di vista le azioni da noi ritenute volontarie sono determinate alla stessa stregua del riflesso rotuleo prodotto dall'azione del martelletto del medico. La differenza sembra essere ancora una volta basata più sul livello che sulla qualità, livello che in questo caso si riferisce all'immediatezza e all'ovvietà della catena causale rilevante. Forse il nostro senso profondamente radicato di un sé di ordine superiore che determina liberamente la maggior parte delle nostre azioni importanti è derivato dall'indiscutibile vantaggio evolutivo che ne deriva in specie come la nostra, in cui i singoli membri hanno un forte senso di responsabilità individuale.

Per sintetizzare le questioni difficili e controverse prese in considerazione in questo capitolo, potrebbe darsi che la domanda «Cos'è la coscienza?» perda il carattere di priorità che ha avuto per tanto tempo, proprio come la domanda «Cos'è la vita?» – un problema che gli scienziati naturalistici consideravano essenziale fino a pochi anni fa – non viene più posta dai biologi. All'aumentare esponenziale delle nostre conoscenze sulle basi molecolari e cellulari degli organismi viventi nel corso del ventesimo secolo, i biologi sono giunti a riconoscere che la domanda su cos'è la vita sia mal posta e non ammetta risposte definitive. Col progredire del secolo corrente e man mano che i neuroscienziati cognitivi apprendono sempre di più sulle specifiche modalità con cui il cervello umano lavora, la domanda su cos'è la coscienza potrebbe seguire lo stesso destino. In ogni caso, l'aver riconosciuto che il cervello umano e le sue proprietà cognitive sono passibili di spiegazione scientifica né più né meno di altri aspetti della biologia ci porterà alla fine a comprendere in modo più chiaro e soddisfacente quale sia il nostro posto nell'universo, come pure a comprendere meglio le neuroscienze cognitive.

## RIASSUNTO

1. In questo capitolo abbiamo preso in considerazione una serie di questioni controverse, il cui comune denominatore è la coscienza, e che cosa questo fenomeno ci dice sulla natura del cervello umano.
2. Tali questioni saranno oggetto di discussione per molti anni a venire, tuttavia i dati attualmente disponibili fanno propendere per l'ipotesi che la coscienza, nel senso della consapevolezza del mondo e di sé come attore nel mondo, non sia una speciale prerogativa dell'*Homo sapiens*, o anche solo una proprietà che sarà sempre limitata ai cervelli biologici.
3. Non vi sono prove soddisfacenti che dimostrino l'esistenza di un marcatore specifico o di un luogo della consapevolezza, né è stato suggerito alcun nuovo principio o meccanismo neurale per la coscienza.
4. L'output di un sistema di elaborazione dell'informazione in grado di riflettere sul suo contenuto, nello stesso modo in cui noi riflettiamo sul passato, sul presente e sul futuro, sarebbe difficile (o impossibile) da distinguere dall'output comportamentale di un essere umano.
5. Dato che, da un punto di vista proposizionale logico, possiamo essere certi solamente della nostra consapevolezza, in linea di principio non vi è ragione di negare l'assunzione della consapevolezza a un sistema non biologico di elaborazione delle informazioni che infine operi come il cervello umano.

## ULTERIORI LETTURE

### Rassegne

- CHURCHLAND, P. M., CHURCHLAND, P. S. (1990). Could a machine think? *Sci. Am.* 262(Jan.): 32-37.
- CRICK, F., KOCH, C. (1998). Consciousness and neuroscience. *Cerebral Cortex* 8: 97-107.
- HAMPTON, R. R., HEMPSTEAD, B. M. (2006).

Spontaneous behavior of a rhesus monkey (*Macaca mulatta*) during memory tests suggests memory awareness. *Behav. Proc.* 72: 184-189.

HANNULA, D. E., SIMONS, D. J., COHEN, N. J. (2005). Imaging implicit perception: Promise and pitfalls. *Nat. Rev. Neurosci.* 6: 247-255.

KIM, C. H., BLAKE, R. (2005). Psychophysical magic: Rendering the visible «invisible». *Trends Cogn. Sci.* 9: 381-388.

LLINÁS, R., RIBARY, U., CONTRERAS, D., PEDROARENA, C. (1998). The neuronal basis for consciousness. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B* 353: 1841-1849.



- MCCARLEY, R. W. (1995). Sleep, dreams and states of consciousness. In *Neuroscience in Medicine*, a cura di P. M. Conn. Philadelphia: J. B. Lippincott, pp. 535-554.
- REES, G., KREIMAN, G., KOCH, C. (2002). Neural correlates of consciousness in humans. *Nat. Rev. Neurosci.* 3: 261-270.
- SAPER, C. B., PLUM, F. (1985). Disorders of consciousness. In *Handbook of Clinical Neurology*, vol. 1(45): *Clinical Neuropsychology*, a cura di J. A. M. Frederiks. Amsterdam: Elsevier Science, pp. 107-128.
- SEARLE, J. R. (2000). Consciousness. *Annu. Rev. Neurosci.* 23: 557-578.
- SMITH, J. D., WASHBURN, D. A. (2005). Uncertainty monitoring and metacognition by animals. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 14: 19-24.
- STERIADE, M. (1992). Basic mechanisms of sleep generation. *Neurology* 42: 9-18.
- STOERIG, P., COWEY, A. (1997). Blindsight in man and monkey. *Brain* 120: 535-559.
- TONG, F. (2004). Primary visual cortex and visual awareness. *Nat. Rev. Neurosci.* 4: 219-228.
- TONONI, G., EDELMAN, G. (1998). Consciousness and complexity. *Science* 282: 1846-1851.

#### Articoli originali importanti

- ASCHOFF, J. (1965). Circadian rhythms in man. *Science* 148: 1427-1432.
- ASERINSKY, E., KLEITMAN, N. (1953). Regularly occurring periods of eye motility, and concomitant phenomena during sleep. *Science* 118: 273-274.
- BOYER, J. L., HARRISON, S., RO, T. (2005). Unconscious processing of orientation and color without primary visual cortex. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 102: 16875-16879.
- GALLUP, G. G. (1970). Chimpanzees: Self-recognition. *Science* 167: 86-87.
- HAUSER, M. D. (1995). Self-recognition in primates: Phylogeny and the salience of species-typical features. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 92: 10811-10814.
- HAUSER, M. D., KRALIK, J. (1997). Life beyond the mirror: A reply to Anderson and Gallup. *Anim. Behav.* 54: 1568-1571.
- LEE, S.-H., BLAKE, R., HEEGER, D. J. (2005). Traveling waves of activity in early visual cortex during binocular rivalry. *Nat. Neurosci.* 8: 22-23.
- MCCULLOCH, W. S., PITTS, W. (1943). A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys.* 5: 115-133.
- MORUZZI, G., MAGOUN, H. W. (1949). Brain stem reticular formation and activation of the EEG. *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.* 1: 455-473.
- OWEN, A. M., COLEMAN, M. R., BOLY, M., DAVIS, M. H., LAUREYS, S., PICKARD, J. D. (2006). Detecting awareness in the vegetative state. *Science* 313: 1402.
- TURING, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind* 59: 433-460.
- WEIR, A. A. S., KENWOOD, B., CHAPPELL, B., KACELNIK, A. (2002). Shaping of hooks in New Caledonian crows. *Science* 297: 981.

#### Libri

- CRICK, F. (1995). *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*. New York: Touchstone. [Trad. it. *La scienza e l'anima*. Milano: Rizzoli, 1994.]
- DENNETT, D. C. (1991). *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown & Co. [Trad. it. *Coscienza*. Milano: Rizzoli, 1993.]
- PENROSE, R. (1996). *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*. Oxford: Oxford University Press. [Trad. it. *Ombre della mente*. Milano: Rizzoli, 1996.]
- SEARLE, J. R. (1992). *The Rediscovery of the Mind*. Cambridge, MA: MIT Press. [Trad. it. *La riscoperta della mente*. Torino: Bollati Boringhieri, 1994.]
- SCHRÖDINGER, E. (1967). *What Is Life? and Mind and Matter*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WEGNER, D. M. (2002). *The Illusion of Conscious Will*. Cambridge, MA: MIT Press.
- WEISKRANTZ, L. (1986). *Blindsight: A Case Study and Its Implications*. Oxford: Oxford University Press.
- WEISKRANTZ, L. (1997). *Consciousness Lost and Found: A Neuropsychological Explanation*. Oxford: Oxford University Press. [Trad. it. *Coscienza perduta e trovata: un approccio neuropsicologico*. Milan: McGraw-Hill, 2001.]