

---

# Il cervello a scuola

---

Neuroscienze e educazione  
tra verità e falsi miti

---

Edizione italiana a cura di Giorgio Vallortigara

---

John G. Geake

**GUIDE**  
PSICOLOGIA



Erickson

## IL LIBRO

---

### IL CERVELLO A SCUOLA

Nel campo dell'istruzione vi è un crescente interesse per le neuroscienze e per quello che possono insegnare a chiunque lavori nell'educazione, in particolare riguardo a questioni chiave come l'apprendimento, la memoria, le abilità cognitive, la creatività e la motivazione.

*In che modo il cervello ci permette di imparare? Perché alcuni studenti manifestano difficoltà di apprendimento? Come applicare la ricerca neuroscientifica al curriculum e alla didattica?*

A queste e altre domande John Geake, forte di una lunga esperienza sia come insegnante che come neuroscienziato, risponde con chiarezza e rigore. Sfatando falsi miti e pregiudizi, l'autore dimostra a insegnanti, dirigenti scolastici e educatori come le neuroscienze possono aiutarli nel loro lavoro, fornendo in ogni capitolo esempi pratici da applicare in classe e studi di caso tratti da esperienze reali di insegnamento.

Un volume interessante, che saprà certamente stimolare i docenti e gli educatori a fare ulteriori approfondimenti nell'ambito delle neuroscienze.

«Un libro di agevole lettura che colma una grande lacuna nel panorama editoriale italiano. Si tratta infatti di una guida introduttiva specificamente rivolta ai docenti, che non richiede particolari conoscenze pregresse...»

## L'AUTORE

---

### JOHN G. GEAKE

Professore di Educazione e Scienze dell'apprendimento presso la School of Education, Università del New England, Australia.

È stato cofondatore dell'Oxford Cognitive Neuroscience Education Forum e ricercatore per il Centre for Functional Magnetic Resonance Imaging of the Brain, Oxford, UK. Ha pubblicato numerosi articoli, contributi e volumi sull'educazione e le neuroscienze.

€ 19,50



www.erickson.it

# Indice

7	Presentazione all'edizione italiana ( <i>Giorgio Vallortigara</i> )
11	Prefazione
15	Ringraziamenti
17	Introduzione
29	CAP.1 Perché le neuroscienze educative?
49	CAP.2 Le tecnologie di neuroimmagine
69	CAP.3 Apprendimento e memoria
97	CAP.4 Memoria di lavoro e intelligenza
131	CAP.5 Creatività e immaginazione
147	CAP.6 Socializzazione, emozione e motivazione
169	CAP.7 Linguaggio e alfabetismo
189	CAP.8 La competenza numerica e la matematica
213	CAP.9 L'educazione artistica e musicale
231	CAP.10 Il futuro delle neuroscienze educative
247	Bibliografia

## Presentazione all'edizione italiana

Le ricerche sul cervello e il comportamento hanno da sempre avuto un grande impatto sulle scienze e pratiche educative. Nel corso degli anni, questa influenza si è esercitata ad esempio attraverso il comportamentismo prima e la psicologia cognitiva, piagetiana e non, successivamente. Oggi che le grandi scuole psicologiche sono ormai tramontate e lo studio delle scienze della mente e del cervello è maturato a sufficienza da instradarsi saldamente nella direzione propria delle scienze naturali, sono le neuroscienze cognitive ad avere il ruolo più rilevante.

Questo libro di agevole lettura, ben informato e preciso, copre una lacuna nel panorama editoriale italiano. Infatti, a parte la ben nota ed encomiabile capacità di molti insegnanti a provvedere all'aggiornamento con il «fai da te», vi sono poche occasioni formali e strutturate per l'avvicinamento alle neuroscienze. Dunque, la presenza di un libro di testo a carattere introduttivo, specificamente indirizzato agli insegnanti, che non richiede particolari conoscenze pregresse poiché introduce direttamente il lettore ai temi affrontati — l'apprendimento e la memoria, l'intelligenza, la creatività, il linguaggio, la matematica — non può che essere salutata con grande favore.

Vorrei sottolineare alcuni tra i molti pregi di quest'opera. In primo luogo, in un'epoca di atteggiamenti spesso estremi — tra neurofilia e neurofobia — nei riguardi delle neuroscienze, l'autore ha saputo mantenere un apprezzabile equilibrio di giudizio. Questo si manifesta ad esempio nel sottolineare i limiti attuali delle tecniche di imaging del cervello umano: il fatto che i dati che si

ottengono da questi metodi riflettano l'attività di grandi popolazioni di neuroni (il millimetro cubo del voxel della risonanza magnetica funzionale cattura grossolanamente l'attività di due milioni e mezzo di neuroni, neuroni dei quali tra l'altro non è possibile discernere la natura dell'attività, se eccitatoria o inibitoria) e che abbiano una natura essenzialmente statistica (i bei colori nelle neuroimmagini sono solo una visualizzazione delle sofisticate tecniche di calcolo che sono necessarie alla interpretazioni dei dati raccolti). Forse anche per questa ragione, l'autore accompagna la descrizione delle ricerche che fanno uso delle tecniche di neuroimmagine nella nostra specie con le più fondamentali ricerche condotte sui modelli animali; queste ultime sono caratterizzate da un livello di precisione enormemente superiore in termini di risoluzione spaziale e temporale, sono in grado di differenziare e descrivere compiutamente la natura dell'attività dei vari neuroni, ma, a ragione della loro invasività, non possono trovare impiego negli esseri umani.

L'autore mostra anche una grande competenza nell'interpretazione di alcuni dati neurobiologici che sono spesso travisati nei resoconti offerti ai non specialisti. Un esempio è quello relativo alle ricerche sugli animali allevati in ambienti «arricchiti», che mostrano, rispetto agli animali di controllo, importanti differenze nella struttura del cervello e nella presenza relativa di alcune sostanze associate alle funzioni neuromodulatorie. L'equivoco in ambito educativo è stato quello di immaginare che la sovrastimolazione e l'arricchimento (un po' di latino o di matematica a colazione, prima di andare a scuola...) possano accrescere i cervelli e le dotazioni cognitive dei ragazzi. Non è questo quello che i risultati di ricercatori come Mark Rosenzweig e William Greenough suggeriscono.

Il problema sta nelle caratteristiche del gruppo di controllo: gli animali mantenuti nelle condizioni standard di laboratorio rappresentano in questi esperimenti situazioni di deprivazione rispetto alla vita quotidiana, ricca e complessa, dei ratti nel loro ambiente naturale. E le condizioni di laboratorio cosiddette «arricchite» rappresentano, di fatto, un'approssimazione, ancorché imperfetta, dei livelli naturali di stimolazione nella vita quotidiana degli animali in natura.

Così i risultati mostrano, non sorprendentemente, che la deprivazione di stimoli influenza negativamente lo sviluppo del cervello e della cognizione, ma non dimostrano che l'arricchimento e la sovrastimolazione rispetto alle condizioni di stimolazione naturali producano un qualche vantaggio neurobiologico e comportamentale. L'educazione, è ovvio, cambia letteralmente il cervello degli studenti (e degli insegnanti), ma non può essere ridotta a un «sovrappiù» di stimolazione.

Egualemente sapienti ed equilibrati sono i capitoli dedicati a due temi che suscitano una grandissima curiosità tra gli insegnanti. Uno è quello dei determinanti dell'intelligenza, con il giusto riconoscimento dei fattori genetici, ma anche con la sottolineatura del modesto contributo di ciascuno dei geni fin qui evidenziati alla varianza complessiva associata alla misura dell'intelligenza. L'altro è quello delle differenze tra i sessi nelle capacità cognitive. L'autore pone giustamente l'accento sulla possibilità che le differenze anatomiche e funzionali (ad esempio nel numero di fibre del corpo calloso, da cui dipende il grado di comunicazione tra i due emisferi, o nelle dimensioni dei lobi parietali, da cui dipendono capacità come quelle matematiche e visuo-spaziali) determinino non già delle differenze di quantità (ovvero che le femmine sarebbero più sofisticate nel tradurre in espressioni verbali i contenuti emozionali poiché dotate di un maggior numero di fibre nel corpo calloso e i maschi sarebbero più dotati nei compiti visuo-spaziali perché meglio equipaggiati nella estensione relativa dei lobi parietali), bensì differenti modi di pensare nel medesimo dominio. Le implicazioni pratiche sul piano didattico dovrebbero essere discusse senza pregiudizi: ad esempio, se ragazzi e ragazze egualmente talentuosi in matematica manifestano le loro capacità in modi diversi, forse potremmo non escludere la possibilità di favorirne lo sviluppo impartendo gli insegnamenti in classi separate, che tengano conto cioè dei loro diversi modi di pensare. L'autore riporta un'osservazione interessante a questo riguardo: in Australia ragazzi e ragazze hanno manifestato una chiara preferenza per le classi mono-genere per ciò che riguarda l'insegnamento della matematica e delle scienze. Non stiamo affermando che si tratti della scelta migliore dal punto di vista educativo: chiaramente ne vanno valutati empiricamente vantaggi e svantaggi.

La lettura di questo libro saprà certamente stimolare gli insegnanti e gli educatori a ulteriori approfondimenti nell'ambito delle neuroscienze. Appare chiaro che alcuni settori di ricerca sono già oggi in grado di fornire strumenti e idee alle pratiche educative. Un esempio tra i molti è quello relativo all'apprendimento dell'aritmetica. Le ricerche neuroscientifiche e comparative hanno rivelato l'esistenza di un ancestrale «senso del numero», che condividiamo con molte altre specie e che è presente ben prima che i bambini sviluppino abilità linguistiche. Benché si tratti di un sistema che consente di condurre solamente una matematica di tipo approssimato e non preciso (è vincolato, infatti, alla legge di Weber, che aumenta il grado d'imprecisione delle stime con l'aumentare delle quantità numeriche), esso sembra costituire l'architettura fondamentale per lo sviluppo degli aspetti simbolici e formali dell'aritmetica. Ciò è dimostrato sia dall'esistenza di una correlazione tra acuità nel senso del

numero e capacità matematiche formali che si apprendono a scuola, sia dalla possibilità di migliorare le prestazioni nella matematica formale addestrando quelle, approssimate, del senso del numero. Il lavoro congiunto di educatori e neuroscienziati per sviluppare materiali didattici che possano favorire queste vie naturali di apprendimento e di sviluppo delle capacità del cervello costituirà la maggiore sfida per gli anni a venire.

*Rovereto, ottobre 2016  
Giorgio Vallortigara  
Università degli Studi di Trento*

## Prefazione

I cervelli giovani vanno a scuola per imparare; i cervelli più anziani vanno a scuola per impartire loro degli insegnamenti. Perlomeno questa sarebbe la situazione ideale. Questo libro nasce da una domanda: le neuroscienze cognitive possono dirci qualcosa a proposito del modo in cui un cervello giovane apprende da un cervello più anziano, e quindi del modo in cui quest'ultimo dovrebbe insegnare al primo per ottenere risultati ottimali?

Le neuroscienze cognitive sono il risultato di un secolo di ricerche sul funzionamento del cervello umano. Il ritmo di questi studi è cresciuto notevolmente negli ultimi decenni con la diffusione delle tecnologie di neuroimmagine funzionale. Grazie anche al concomitante aumento dell'interesse pubblico per le possibili applicazioni di queste ricerche al di fuori del laboratorio e dell'ospedale, neuroscienziati e insegnanti si sono chiesti: che cosa possono offrire di utile le neuroscienze cognitive all'insegnamento? E quindi: che cosa può offrire di utile l'insegnamento alle neuroscienze cognitive?

Il cervello impegnato nell'apprendimento è stato al centro di molti studi scientifici, che si sono serviti dell'intero repertorio delle tecnologie di neuroimmagine. Invece, fino a oggi, il cervello impegnato nell'insegnamento è stato quasi completamente ignorato dall'indagine neuroscientifica diretta ed esplicita. Le neuroscienze educative, che da qualche tempo si vanno definendo in quanto sottodisciplina delle neuroscienze cognitive, hanno un forte orientamento per l'idea di un apprendimento inteso come funzione del cervello, accompagnata dall'implicito presupposto che se si

riesce a conoscere bene l'apprendimento ne conseguirà necessariamente un buon insegnamento. In questo lavoro ho cercato di andare oltre questo presupposto, analizzando alcune implicazioni pedagogiche della ricerca neuroscientifica sull'insegnamento.

Questo libro si rivolge innanzitutto agli insegnanti di tutti gli ambiti: a quelli che si occupano della prima educazione, a quelli che lavorano nell'ambito dell'istruzione primaria, secondaria e superiore, e a quelli che stanno ancora studiando per prepararsi a una carriera nell'insegnamento. Inoltre, questo volume è destinato ai genitori degli studenti, ai dirigenti scolastici, ai componenti degli organismi di governo della scuola, ai decisori e agli amministratori nel mondo dell'istruzione, ai ricercatori e docenti universitari che si occupano di pedagogia, agli psicologi dell'educazione, ai politici e ai commentatori che operano in questo ambito; di fatto, insomma, a chiunque abbia a che fare o sia coinvolto in qualche modo con l'istruzione.

Avendo avuto io stesso il privilegio di insegnare nei settori dell'istruzione primaria e secondaria, dell'istruzione post scolastica e dell'università, a volte rifletto e mi chiedo che cosa abbiano in comune tutte queste esperienze di insegnamento. Esistono aspetti generali dell'insegnamento, indipendenti dall'età o dal grado di raffinatezza degli studenti? Io penso che ne esistano, e sicuramente anche voi avrete il vostro elenco. Il mio comprende la conoscenza dell'argomento, la chiarezza espositiva, il buon senso, la compassione e, cosa più importante di tutte, una capacità quasi istintiva di dare un senso (pubblicamente condivisibile) a ciò che inizialmente appare ostico. E su questi aspetti le neuroscienze hanno molto da dire. Tuttavia bisogna riconoscere che esistono molti altri aspetti dell'istruzione di cui le neuroscienze tacciono. O non sono (ancora) state fatte le ricerche opportune, oppure i fenomeni educativi sfuggono al paradigma scientifico. Un esempio di questo secondo caso potrebbero essere gli effetti sull'apprendimento dovuti alle diverse disposizioni degli alunni all'interno dell'aula. Comunque sia, ciò che le neuroscienze possono dire, e di fatto dicono, a proposito dell'istruzione cresce di anno in anno.

Cosa ancora più importante dal punto di vista educativo, oggi i programmi universitari per l'accesso alla formazione iniziale degli insegnanti<sup>1</sup> prevedono sempre più spesso qualche contenuto di neuroscienze educative. Le neuroscienze educative sono sempre più presenti anche nei corsi di sviluppo professionale degli insegnanti in tutto il mondo, di cui alcuni a livello di corsi

---

<sup>1</sup> Nel Regno Unito, la formazione dei docenti per insegnare nelle scuole pubbliche prevede l'accesso a una formazione iniziale (*initial teacher training - ITT*), e il conseguimento di una qualifica (*qualified teacher status - QTS*), ndr.

master. Il testo è particolarmente indicato per chiunque voglia intraprendere un percorso di questo tipo.

L'idea di scriverlo mi è venuta una decina d'anni fa. Da allora ho cominciato a dedicare una parte delle mie giornate lavorative alle neuroscienze cognitive. Grazie a questo ho imparato molte cose. Questo libro è il risultato dell'aver portato il mio cervello a scuola (di neuroscienze).

## Apprendimento e memoria

Il quesito che questo capitolo tenta di affrontare è il seguente: come fa il nostro cervello a renderci capaci di apprendere e ricordare? Per descrivere in termini neuroscientifici la memoria e l'apprendimento, è necessario indagare il funzionamento cerebrale a livello cellulare e considerare il funzionamento dei neuroni, quei miliardi di cellule interconnesse deputate all'elaborazione delle informazioni. Quindi la domanda precedente può essere riscritta così: quali processi dinamici, nell'enorme rete del funzionamento neuronale, consentono l'apprendimento? Il punto chiave, nel cercare una risposta, è nella plasticità adattiva, ovvero la capacità del cervello di modificarsi a livello neurofisiologico in risposta ai cambiamenti nell'ambiente cognitivo. Oppure, per riformulare la domanda in termini più prosaici, potremmo chiederci: cos'è che si modifica all'interno del cervello facendo sì che noi siamo in grado di apprendere (qualcosa di nuovo)?

Si stima che il cervello contenga circa dieci miliardi di neuroni, le principali cellule deputate all'elaborazione delle informazioni, oltre a un numero perfino superiore di cellule gliali di supporto, fra cui ricordiamo in particolare gli astrociti, che forniscono nutrimento ai neuroni. Una caratteristica dei neuroni è che hanno molte diramazioni che si estendono dal corpo cellulare. La maggior parte sono dendriti, che ricevono le informazioni in entrata dagli altri neuroni. Un'importante diramazione è l'assone, che invia informazioni ad altri neuroni. Le connessioni fra neuroni si basano sulle sinapsi, piccoli spazi fra un assone e un dendrite di un altro neurone. La comunicazione

parte dall'assone, che scarica un potenziale d'azione (elettrochimico), il quale stimola il rilascio di neurotrasmettitori. Questi agenti neurochimici si diffondono per tutto lo spazio sinaptico e vengono captati dai recettori che stimolano il dendrite, ed eventualmente stimolano un altro potenziale d'azione. Se più dendriti ricevono più o meno simultaneamente una quantità sufficiente di stimolazioni, il neurone da cui si dipartono produrrà un potenziale di azione del suo assone. In questo modo, le informazioni si trasmettono lungo un circuito o un gruppo neuronale. Poiché in genere i neuroni hanno decine di migliaia di dendriti, si stima che il numero totale di sinapsi nel cervello di un adulto sia di circa 100.000 miliardi. Quindi, il «fatto» spesso citato secondo cui il cervello umano sarebbe la struttura più complessa dell'universo potrebbe avere qualche fondamento; non che qualcuno sia in grado di farsi un giro per tutto l'universo a controllare.

Tuttavia, come osservato nel precedente capitolo sulle tecnologie di neuroimmagine, la principale acquisizione della ricerca nel campo delle scienze cognitive è stata la definizione e l'analisi dei modelli funzionali nel cervello. In che termini questo livello di descrizione neuronale è adeguato ai costrutti dei moduli cerebrali e dei sistemi neurali?

In realtà appare ben adeguato. I dati neurofisiologici suggeriscono che le unità funzionali del cervello sono i gruppi neuronali, in cui a livello locale i neuroni sono connessi più fortemente che a livello distale. Tuttavia, come ben riconoscono i neuroscienziati, la modularità solleva la questione della sincronizzazione o del collegamento (*binding*) intermodulare. Ad esempio, benché per la lettura e la parola possano avere un ruolo cruciale delle aree distinte dell'emisfero dominante, per il funzionamento cerebrale dev'essere fondamentale anche la comunicazione sincronizzata fra queste aree, altrimenti non si spiegherebbe come sia possibile leggere un testo ad alta voce. I mezzi che consentono di realizzare questo collegamento (*binding*) intermodulare sono ancora sconosciuti alle neuroscienze, e per questo sono oggetto di ricerca. Si presume che vengano selezionate delle connessioni funzionali temporali per mezzo di processi sia inibitori che eccitatori. Ma, comunque esso avvenga, il collegamento (*binding*) intermodulare non è che un esempio dell'onnipresente caratteristica neurofisiologica dell'interconnessione neuronale.

## **I singoli cervelli**

Una predizione che possiamo fare a partire da questa grande complessità è che, sebbene i cervelli sani seguano un corso di sviluppo ben descritto, esistono

molte fonti di differenza fra i singoli cervelli. Il premio Nobel Gerald Edelman ha elencato otto aree generali di differenza neurale evolutiva:

1. Processi evolutivi primari, ad esempio, divisione, adesione, differenziazione e morte cellulare.
2. Morfologia cellulare, ad esempio, forma e dimensioni, arborizzazioni dendritiche e assoniche.
3. Modelli di connessione neuronale, ad esempio, numero di input e di output, ordine di connessione con altri neuroni.
4. Citoarchitettura, ad esempio, densità cellulare, spessore degli strati corticali, disposizione delle colonne.
5. Neurotrasmettitori, variabilità spaziale (alcune cellule e non altre) e temporale (alcune volte e non altre).
6. Risposte dinamiche, ad esempio, elettrochimica sinaptica, rinforzamento sinaptico, metabolismo neuronale.
7. Trasporto neuronale, ad esempio, efficacia del canale ionico.
8. Interazioni con la neuroglia.

Non occorre perdere tempo sul significato preciso di tutti questi termini neurobiologici: il punto importante è che l'elenco delle fonti di differenza individuale è lungo. Inoltre, il fatto che questi processi morfogenetici molecolari e cellulari siano perlopiù non lineari, caotici nel senso matematico del termine, comporta che i loro esiti non possano essere predetti con precisione. Per ribadire il concetto, possiamo affermare senza tema di smentita che non esistono, non sono mai esistiti e non esisteranno mai due cervelli identici. Questo vale anche per i gemelli identici, che non sono persone identiche, e se è per questo anche per qualunque possibile clone umano. Quei politici che condannano senza esitazione gli esperimenti sulla clonazione dovrebbero osservare che è impossibile riprodurre esattamente il cervello di Hitler, Einstein o di altre persone vissute in passato. Per l'insegnante, ciò non fa che evidenziare l'unicità di ogni bambino sotto la sua responsabilità. Per illustrare questo punto, si notino le differenze individuali nel profilo dei sei cervelli adulti le cui scansioni MRI sono riprodotte nella figura 3.1.

Mentre tutti i cervelli hanno la stessa configurazione di base — come i volti di solito hanno due occhi sopra a un naso e a una bocca — i dettagli della struttura cerebrale, pur essendo simili nella forma complessiva, sono evidentemente unici.

Queste differenze individuali nella struttura cerebrale influiscono sul funzionamento cognitivo? Ebbene, sì, anche se in assenza di una patologia conclamata, allo stato attuale delle nostre conoscenze, di solito non è possibile

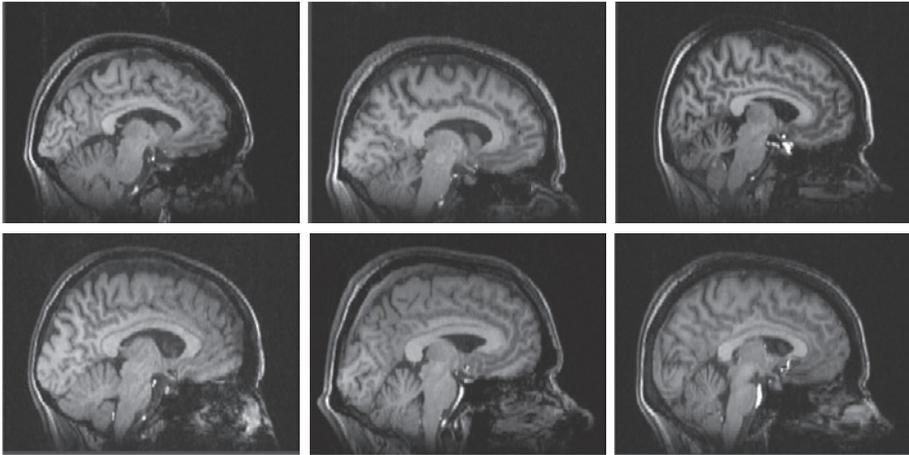


Fig. 3.1 Scansioni di sei cervelli con MRI, orientamento sagittale, emisfero sinistro ~ 2-3 mm dalla linea mediana (per gentile concessione di Peter Hansen).

predire esattamente in che cosa consistano tali differenze cognitive al di fuori di uno specifico esperimento. Nello studio che ha prodotto le immagini della figura 3.1, le persone di cui vengono qui riprodotti i cervelli erano tutte sane e dotate di un quoziente intellettivo superiore alla media. Una era di lingua tedesca. Riuscite a indovinare qual è? Ovviamente no. A dispetto di quanto possano far pensare certi *crime drama* trasmessi alla televisione, il giorno in cui la diagnosi e la valutazione educativa si baseranno solo sulle neuroimmagini sembra ancora molto lontano. Il che non significa che i dati della fMRI non possano integrare altre diagnosi comportamentali e cognitive di disabilità educativa.

Le immagini della figura 3.1 illustrano questo concetto. Mentre uno dei nostri partecipanti anonimi crescendo ha imparato a parlare tedesco, gli altri cinque hanno imparato a parlare inglese. Ritornando alla nostra domanda principale: cos'è che si è modificato all'interno del loro cervello e ha reso possibile questo tipo di apprendimento? Quando impariamo qualcosa, cos'è che cambia all'interno del nostro cervello e che fa sì che in seguito possiamo rievocare un elemento di conoscenza o compiere un'azione che abbiamo provato? Il modello più accettato dei metodi utilizzati dal cervello per apprendere e ricordare è stato proposto negli anni Quaranta da Donald Hebb, un insegnante di inglese delle scuole superiori canadesi convertitosi in neuroscienziato. Possiamo immaginarcelo in piedi davanti alla classe mentre espone le virtù di Geoffrey Chaucer o William Shakespeare, chiedendosi che cosa stia succedendo nello

spazio compreso tra le orecchie dei suoi studenti. Non ce lo siamo chiesti anche noi almeno una volta durante una lezione? «La lezione sta andando bene, mi pare di avere la loro attenzione, ma sto arrivando al loro cervello?».

### **Il modello hebbiano dell'apprendimento attraverso la plasticità sinaptica**

Una caratteristica peculiare del tessuto cerebrale è che, a differenza di tutti gli altri tessuti corporei, ogni neurone è connesso a decine di migliaia di altri neuroni mediante giunzioni sinaptiche. Dal momento che gli altri organi del corpo non si comportano come il cervello, Hebb pensò che dovessero essere i processi sinaptici a rendere possibile l'apprendimento. La sua idea fu che il ripetersi di scariche concomitanti, nelle sinapsi specificamente coinvolte nella «elaborazione» della risposta a un particolare stimolo, poteva provocare un cambiamento fisiologico permanente. In termini di funzionamento neuronale, questo cambiamento poteva manifestarsi con un rafforzamento del segnale eccitatorio o del segnale inibitorio. In altre parole, un elemento di apprendimento può essere istanziato nel cervello per via dei processi chimici che trasmettono le informazioni attraverso le sinapsi, i quali diventano più efficienti con la ripetizione. Il concetto di plasticità adattiva del cervello viene oggi espresso con una frase a effetto: «I neuroni che scaricano insieme si cablano insieme».

La forza del modello di Hebb sta nel fatto che spiega la capacità di apprendimento dei moduli funzionali nel cervello. I gruppi neuronali, che spesso si trovano in forma di colonne cellulari nella corteccia, sono responsabili dell'elaborazione di particolari tipi di informazioni, ad esempio l'orientamento di un particolare margine, nella corteccia visiva, o la frequenza di un particolare suono, nella corteccia uditiva. I circuiti neuronali intermodulari contengono vie nervose a feed-forward e a feed-back fra i vari gruppi neuronali. Queste vie neurali sincronizzate possono a loro volta «apprendere» secondo regole hebbiane diventando più efficienti in risposta alla stimolazione concomitante e ripetuta delle sinapsi lungo il percorso.

Donald Hebb propose per la prima volta, oltre cinquant'anni fa, il suo modello d'apprendimento e memoria attraverso il rinforzamento del funzionamento sinaptico mediante ripetizione. A quell'epoca, Hebb non aveva mezzi che gli consentissero di mettere alla prova la sua ipotesi. Più di recente le sue intuizioni sono state confermate da vari neuroscienziati che per i loro successi si sono meritati un premio Nobel. Ma il modello di Hebb può spiegare i risultati di molti esperimenti neuroscientifici. Una delle prime conferme del modello proviene dai risultati di uno studio sulla dinamica non lineare delle

onde cerebrali condotto negli anni Settanta negli Stati Uniti dal neuroscienziato Walter Freedman. I ricercatori cercavano un cervello che possedesse un'ampia area deputata a un solo scopo; scelsero quindi il cervello di coniglio, dato che i conigli possono essere molto molto ostinati nel fare ciò che riesce loro meglio — fiutare e rilevare odori — e possiedono un ampio lobo olfattivo nella parte frontale del cervello deputata ad abilitare questo comportamento. Il disegno sperimentale era piuttosto semplice: dare da annusare al coniglio qualcosa di nuovo e registrare il segnale EEG del suo lobo olfattivo; poi, dargli da annusare qualcosa di familiare e ripetere la registrazione EEG. Le differenze nel segnale EEG avrebbero quindi dato indicazioni sull'apprendimento necessario affinché un odore diventi familiare. Ma confrontare fra loro dei segnali EEG risulta non essere un'operazione tanto semplice: un diagramma con il segnale di tutte le frequenze appare casuale o caotico, come un rumore bianco o il suono di un'interferenza. Ma i ricercatori riuscirono ad analizzare questi segnali EEG utilizzando le tecniche matematiche della dinamica non lineare (teoria del caos). Essi dimostrarono che i segnali EEG avevano una struttura non lineare che poteva essere quantificata come una dimensionalità della sua complessità (dimensione di Hausdorff [H]). La risposta EEG a un odore nuovo, registrata appena il coniglio lo annusava, produceva una complessità di grado elevato ( $H = 8$  circa), coerente con la mobilitazione di una cospicua quantità di risorse neurali nell'identificazione o nella classificazione del nuovo odore. Dopotutto, un odore nuovo potrebbe indicare qualcosa di buono da mangiare o un potenziale partner, quindi, non un minuto da perdere. Oppure potrebbe rivelare la presenza di un predatore letale, una volpe o un cane, e anche in questo caso non ci sarebbe un minuto da perdere. E che dire della complessità della risposta EEG all'odore familiare? Immediatamente dopo avere annusato quell'odore, la complessità scendeva a un livello inferiore ( $H = 2$  circa), il che stava a indicare che per identificare un odore ben appreso era sufficiente una quantità di risorse neurali inferiore, in accordo con l'idea hebbiana che l'apprendimento avvenga per via di un'elaborazione interneuronale più efficace. Tuttavia, dopo uno o due secondi, il valore della complessità ritornava al valore «a riposo» precedente all'annusata, il quale, è importante osservare, non era zero, bensì un valore piuttosto elevato ( $H = 6$  circa). Finché siamo vivi, il nostro cervello non riposa mai. I neuroni sani, anche se non stimolati per un'attività intensa, continuano a scaricare in modo casuale, in preparazione dell'azione. Il nostro cervello si è evoluto fino a diventare una sorta di sentinella, consentendoci in questo modo di fare i conti con l'incertezza riguardo al futuro; una strategia di sopravvivenza cruciale in un mondo governato dal caso e spesso imprevedibile.

## Creatività e immaginazione

Benché non si possa negare che quando un allievo ottiene buoni risultati a un esame il suo insegnante sia contento, le ricompense intrinseche dell'insegnamento sono le intuizioni degli studenti, il loro senso dell'umorismo, il fatto che a volte trovino soluzioni originali per problemi difficili e che altre volte facciano domande interessanti oppure osservazioni stimolanti. Come fa il cervello a generare tale creatività apparentemente spontanea? In questo capitolo ci occuperemo soprattutto di come il cervello renda possibile la creatività mediante l'interconnettività e di come utilizzi i sistemi neurali per l'immaginazione. Ne ricaveremo alcuni spunti per promuovere il pensiero creativo nella classe.

Nel capitolo precedente ci siamo concentrati sulla memoria di lavoro, intesa come descrizione a livello cognitivo di ciò che fa il cervello per consentirci di pensare ed essere intelligenti. L'idea chiave è che il funzionamento cerebrale possa essere descritto in termini di sistemi neurali compito-specifici, che il cervello utilizza per rispondere a richieste cognitive di vario tipo. I sistemi neurali sono un'utile concettualizzazione del flusso coordinato di informazioni che viaggia attraverso un'enorme quantità di moduli funzionali presenti nel cervello. L'elaborazione esecutiva media l'emergere di questi vari sistemi neurali e il funzionamento adattivo della memoria di lavoro seleziona il sistema più appropriato per il compito cognitivo da svolgere al momento. La ricerca attraverso le tecnologie di neuroimmagine ha dimostrato che gli stessi moduli cerebrali sono coinvolti in molte e diverse capacità cognitive: spaziali, verbali,

linguistiche, logiche, matematiche e mnestiche. Questa comunanza di funzioni cerebrali fornisce una spiegazione neurale dell'intelligenza generale migliore rispetto all'interpretazione delle intelligenze multiple.

Nel modello del funzionamento cerebrale basato sul concetto di spazio di lavoro dinamico formulato da Dehaene e colleghi, il funzionamento adattivo valuta continuamente l'importanza relativa di questi input, e così di tanto in tanto un pensiero diventa cosciente, letteralmente viene in mente. Quante volte siamo impegnati a fare una cosa e improvvisamente compare nella nostra coscienza un pensiero che riguarda questioni del tutto diverse! È come se questo pensiero stesse aspettando il suo turno, in una fila mentale nel nostro inconscio, e ora che le faccende più urgenti sono state sbrigate possa assumere la priorità. Una mattina siete corsi a scuola per arrivare in tempo a una riunione con i colleghi. Durante la relazione del dirigente improvvisamente vi viene un pensiero: «Ho chiuso il gas della cucina?». Adesso non vi è più possibile ascoltarlo con attenzione: dovete telefonare al vicino di casa e chiedergli di controllare. Il filtro della vostra memoria di lavoro ha cambiato i criteri di selezione e ora un insieme di sistemi neurali completamente nuovo, che comprende anche una certa dose di ansia, ha assunto la priorità. I nostri studenti in classe non sono diversi da noi: una volta rispettata la priorità immediata di arrivare a lezione nell'aula giusta e all'ora giusta, nella loro mente possono assumere rilievo altre questioni; da qui la difficoltà di avere l'attenzione di tutta la classe per tutta la durata della lezione.

In realtà, l'aneddoto del pensiero improvviso nel corso della riunione scolastica è un esempio tipico di come funziona normalmente il pensiero durante la veglia. Siamo di continuo sollecitati da situazioni nuove che richiedono una risposta adattiva: dobbiamo sostenere conversazioni inedite con familiari, colleghi ed estranei, dobbiamo dare risposte originali alle domande degli allievi, dobbiamo scrivere relazioni mai scritte prima, dobbiamo leggere libri che non avevamo mai letto in passato. Di continuo, per vivere, dobbiamo essere creativi. La nostra memoria di lavoro ci consente di farlo, collegando gli input sensoriali appropriati con una miriade di ricordi disparati eppure rilevanti, i quali sono necessari per sostenere quelle conversazioni, rispondere a quelle domande degli allievi e scrivere quelle relazioni. Pertanto, per la ricerca neuroscientifica, può essere interessante cercare di stabilire come faccia il cervello a rendere possibile tutto ciò.

## **Il ragionamento analogico fluido**

L'approccio che io insieme ai miei colleghi di Oxford abbiamo utilizzato per rispondere a questa domanda è consistito nel prendere un modello

cognitivo che catturi il processo creativo e quindi studiare attraverso la fMRI i correlati neurali associati. La speranza è che i risultati possano essere applicati alla progettazione di curricoli adatti alla promozione del pensiero creativo nella classe. Il modello cognitivo del pensiero creativo si basa sul ragionamento per analogie; non analogie in senso stretto come quelle usate nei test di intelligenza, del tipo «Il nero sta al bianco come la notte sta a ...», ma analogie fluide, dove possono esserci varie risposte ammissibili, anziché una sola corretta. Il concetto è stato sviluppato da Melanie Mitchell e Douglas Hofstadter, due studiosi che si occupano di intelligenza artificiale (AI). Mitchell e Hofstadter volevano creare dei programmi di intelligenza artificiale in grado di comprendere le analogie, in quanto caso rappresentativo dell'ambiguità tipica dei contesti reali. Consideriamo ad esempio il ragionamento analogico fluido applicato alla geografia, in particolare alle città. Qual è la Londra degli Stati Uniti? La maggior parte della gente risponde New York, per ovvie ragioni; ma non i politici britannici, per i quali la Londra d'oltreoceano è Washington, DC. Analogamente, un cineasta potrebbe rispondere Los Angeles, mentre un esperto di toponomastica potrebbe indicare London, nel Kentucky. Il punto è che nessuna di queste risposte è sbagliata. Dal mio punto di vista, questa caratteristica coglie perlomeno in parte il senso del pensiero creativo che vorremmo sviluppare nei nostri allievi. Mitchell e Hofstadter hanno sviluppato ulteriormente l'idea attraverso la ricorsività. Qual è la Londra di New York? (Soho?) Qual è la New York di Londra? (Soho?) Qual è la Londra di Londra? Quest'ultima domanda potrebbe suonare un po' sciocca, finché non arriverà a Londra un turista australiano che vuole vedere le principali attrazioni londinesi in pochi giorni. Da qualche anno, in tutte le grandi città i tour operator si occupano proprio di questo problema, organizzando visite su autobus scoperti, giri in barca e altre esperienze simili. In ambito letterario, Julian Barnes ha basato il romanzo *England, England* proprio su una risposta fantasiosa a questa domanda ricorsiva. Per risparmiare ai turisti la scomodità di viaggiare per strade affollate e dissestate d'Inghilterra, un imprenditore pieno di iniziativa costruisce sull'isola di Wight delle riproduzioni delle principali attrazioni turistiche: Stonehenge, il cottage di Anne Hathaway, Buckingham Palace con tutta la famiglia reale e tutto il resto. Mitchell e Hofstadter definiscono la creatività in termini di ricorsione (*recursion*), allontanandosi alquanto dalle concettualizzazioni che si trovano nella letteratura sulla didattica dell'arte: «La creatività pienamente sviluppata consiste nell'avere una percezione acuta di ciò che interessa, nel seguirlo ricorsivamente, nell'applicarlo al meta-livello e nel modificarlo in modo coerente» (Mitchell, 1993, p. 240).

## La competenza numerica e la matematica

Il cervello deve coordinare molteplici sistemi neurali non solo per saper leggere e scrivere ma anche per una buona conoscenza di base dell'aritmetica o della matematica. L'efficacia delle interconnessioni neurali è essenziale per la competenza matematica in generale. In questo capitolo vedremo quali sistemi cerebrali per l'elaborazione matematica siano stati identificati; come il calcolo e la creatività, in quanto elementi che danno un apporto diverso al pensiero matematico, siano supportati da reti cerebrali distinte ma sovrapposte; quali suggerimenti si possano dedurre dalla ricerca utili all'organizzazione di corsi introduttivi e di recupero in matematica.

Prima di entrare nel vivo di qualche ricerca in questo campo, dovremmo rivolgerci una domanda: che cosa comporta il pensiero matematico? Spesso noi insegnanti di matematica ci ritroviamo a chiedere ai nostri allievi se «ci sono arrivati». Ma arrivati dove, alla risposta corretta? Beh, sì, ma non solo: anche all'idea di come e perché la soluzione possa essere accettabile. Nell'aritmetica alla scuola primaria, si tratta per lo più del senso dei numeri decimali, ovvero di come funzionino i numeri in base 10. A questi concetti alcuni bambini «ci arrivano» molto più facilmente di altri. Una decina di anni fa, mi trovavo in Australia e osservavo un gruppo di insegnanti tirocinanti di scuola primaria, li ho conosciuto un bambino di nome William (che allora aveva 4 anni). Presso una Central School (con allievi di tutte le classi, dalla scuola dell'infanzia alla scuola primaria), era in corso una lezione per i bambini più piccoli sul riconoscimento

delle cifre, i bambini erano intenti a colorare grandi numeri da 1 a 9. William era evidentemente annoiato. Mi sedetti accanto a lui per terra e gli sussurrai all'orecchio: «Qual è il numero più grande che conosci?». «Oh» rispose lui «un mil... aspetta... centomila». «Bene» commentai io (pensando che forse per lui «più» grande significava «con il nome più lungo» anziché «che sta a indicare una quantità maggiore»)<sup>1</sup> «Conosci un milione?», «Certo» ribatté. «Bene» continuai (chiedendomi se stesse semplicemente ripetendo a pappagallo qualche conversazione recente con i genitori) «Allora scrivi un milione dietro al foglio». Senza esitazione il bambino scrisse «1.000.000». Dopodiché continuammo a parlare di miliardi, trilioni, fantastilioni e via dicendo, affrontando quella lezione di assoluta importanza in cui si ha per la prima volta conferma del sospetto che le potenze di 10 possano aumentare indefinitamente. La maggior parte delle persone, però, non è pronta per questa lezione se non molto più tardi dell'età di 4 anni.

In seguito, una volta compreso il senso dei numeri decimali, c'è la sua applicazione al calcolo. Un altro giorno, in un'altra scuola, stavo osservando un'altra insegnante tirocinante durante una lezione sui fattori, rivolta a una classe composita con alunni di quarta e quinta (tra i 9 e i 10 anni di età). L'insegnante stava scrivendo degli esempi alla lavagna: « $30 = 5 \times ?$ ;  $28 = 4 \times ?$ » e gli allievi erano seduti per terra. Jake era seduto in fondo e non riusciva a stare fermo un attimo. Mi colpì perché non era semplicemente annoiato, direi piuttosto che era annoiato a morte. L'insegnante tirocinante (forse per compiacere il supervisore dell'università lì presente) segnò il nome del bambino nell'elenco degli alunni che si comportano male e mandò la classe a sedere affinché completasse una serie di esercizi su problemi simili. Jake si trovò seduto accanto a una nuova compagna di nome Sally. Entrambi finirono il compito in meno di 20 secondi, il tempo sufficiente per scrivere le risposte, lei in modo ordinato, lui no. Mi sedetti accanto a loro. «Vi piacerebbe fare qualcosa di più difficile?». Salvezza! «Oh, sì, la prego!». Improvvisando frettolosamente, dissi: « $225 = 15 \times ?$ ». E quando trovarono la risposta andammo avanti; sottoposi loro tutti i fattori a due cifre che mi venivano in mente: « $238 = 14 \times ?$ »; « $247 = 19 \times ?$ » e così via. Come facevano i cervelli di Jake e di Sally a risolvere questi problemi? Evidentemente non si trattava solo di applicare «meccanicamente» un algoritmo moltiplicativo. Perché un calcolo come « $247 = 19 \times ?$ » può essere eseguito da pochi bambini a 9 anni, e risultare difficile, se non impossibile (senza calco-

<sup>1</sup> L'autore si riferisce al fatto che in inglese, la lingua del piccolo William, «hundred thousand», cioè centomila, è un'espressione più lunga di «a million», un milione, *ndt*.

latrice) per la maggior parte degli altri (se è per questo, anche per la maggior parte degli adulti)? Il loro cervello è diverso? E se lo è, in che modo e perché?

Gli studi di neuroimmagine evidenziano che in una semplice sottrazione tra due numeri sono coinvolte perlomeno dieci diverse aree corticali, dalla parte posteriore a quella frontale e in entrambi gli emisferi. In uno dei primi studi con fMRI, Stanislas Dehaene, neuroscienziato cognitivo francese, entrò lui stesso nello scanner per stabilire quali parti del cervello fossero coinvolte in una sottrazione ripetuta come «Sottrai 7 da 100; sottrai 7 dal risultato; sottrai 7 dal risultato...» e così via (che in realtà è una prova psichiatrica per verificare la normalità del funzionamento cerebrale in seguito a una ferita alla testa). Le aree dove l'attivazione risultò più elevata erano le circonvoluzioni fusiformi sinistra e destra (immaginare i numeri), le cortecce parietali sinistra e destra (senso del numero), la parte laterale e mediale del lobo temporale (ricordi aritmetici) e le parti inferiori dei lobi frontali (memoria di lavoro e processo decisionale).

Mentre è interessante delineare le funzioni di queste varie parti del cervello che partecipano all'esecuzione di una sottrazione, ciò che è più importante notare è il fatto che ce ne sono almeno dieci distribuite per tutto il cervello, a destra e a sinistra, anteriormente e posteriormente. Il fatto che sia richiesto tanto lavoro distribuito in tutto il cervello per eseguire un tipico calcolo da scuola primaria come questo indica che il nostro cervello non si è evoluto per svolgere compiti scolastici come le sottrazioni. Ciò nonostante, se eseguite il calcolo a mente, vedrete che per fare  $100 - 7$  ci vuole una frazione di secondo. Il quesito neuroscientifico è: come fanno queste dieci (o più) regioni distinte, con funzioni neurali differenti, a comunicare fra loro tanto rapidamente ed efficientemente da arrivare in un istante alla risposta corretta? La risposta neuroscientifico breve è: «Non lo sappiamo (per ora)». La risposta neuroscientifico più articolata è: «È ben dimostrato che i moduli funzionali trasferiscono le informazioni in molti modi differenti: per via anatomica, biochimica, bioelettrica e ritmica». Ma, come abbiamo osservato nel capitolo 1, resta un mistero come il «contenuto» informativo intermodulare venga coordinato e aggiornato.

In ogni caso, il principio dell'interconnettività neurale è il fondamento dei vari sistemi neurali necessari per tutti gli aspetti dell'apprendimento scolastico. Là dove le connessioni non sono solide, possono comparire difetti di comprensione. Probabilmente l'aritmetica è la materia più facile da indagare in un laboratorio di neuroimmagine, data l'importanza che ha in essa la correttezza oggettiva. Una migliore comprensione della connettività tra i moduli funzionali coinvolti nel calcolo aritmetico potrebbe essere molto importante per escogitare nuovi approcci all'insegnamento in quest'area cruciale per la

matematica di base. Un approccio di questo tipo potrebbe mirare a sviluppare la competenza aritmetica attraverso il lavoro con relazioni e modelli numerici (come i fattori), che si basano sulla connettività concettuale, la quale a sua volta viene presumibilmente raggiunta con il consolidamento dei collegamenti neurali che la supportano.

Una migliore comprensione delle interconnettività necessarie per l'aritmetica potrebbe anche aiutarci a mettere a punto interventi di recupero maggiormente focalizzati, mirati agli aspetti carenti di una particolare interconnettività nel cervello del bambino che «non ci arriva». La speranza è che tali interventi possano sfruttare la grande plasticità del cervello per costruire nuove connessioni, come abbiamo visto nel capitolo 3 a proposito degli studenti di musica che continuano a esercitarsi sullo stesso brano per correggere gli errori di esecuzione. Gli interventi potrebbero essere piuttosto diversi da molte delle strategie utilizzate al giorno d'oggi, che consistono nell'assegnare tanti problemi dello stesso tipo, che inizialmente l'allievo non è stato capace di affrontare adeguatamente, con prevedibili effetti negativi sulla motivazione. Bisogna riconoscere che al momento attuale questa è ancora una prospettiva ambiziosa, ma, come abbiamo osservato nell'introduzione, alcuni neuroscienziati sono ottimisti circa la possibilità di arrivare prima o poi a conoscere i processi cerebrali coinvolti nell'apprendimento, a tal punto da realizzare un programma del genere. Come si è detto nel capitolo 1, un programma di recupero basato sul cervello non sarà di certo né semplice né semplicistico.

## **L'aritmetica**

I dati di cui disponiamo ci dicono che le reti neurali associate alle quattro operazioni aritmetiche di base — addizioni, sottrazioni, moltiplicazione e divisione — sono diverse tra loro. Non che siano completamente indipendenti tra loro, sono tutte sovrapposte, specialmente nelle aree frontali e parietali, ma comprendono anche aree cerebrali che sembrano connesse unicamente a una determinata operazione aritmetica. Altri dati ci dicono che sono separate anche le reti neurali deputate alla stima (che coinvolgono le cortecce parietali di entrambi gli emisferi) e al calcolo (che coinvolgono la corteccia parietale e frontale sinistra). In altre parole, non esiste un'area o un modulo cerebrale specificamente deputato all'aritmetica. Il funzionamento cerebrale aritmetico fa piuttosto assegnamento sulla cooperazione di sistemi neurali supportati da vari moduli funzionali, i quali son collocati in molte parti del cervello, in entrambi gli emisferi.