

RODRIGO QUIAN QUIROGA

BORGES E LA MEMORIA



Viaggio nel cervello umano
da Funes al neurone Jennifer Aniston

IL CERVELLO
E LE IDEE

Collana diretta da
Giorgio Vallortigara

Erickson

*Gradi della disperazione:
non ricordarsi di nulla,
ricordare qualcosa,
ricordare tutto.*

Elias Canetti

€ 17,50

ISBN 978-88-590-1539-0



9 788859 101539 0

www.erickson.it

Indice

Prefazione (<i>María Kodama</i>)	9
Introduzione	11
Funes e altri casi di memoria straordinaria	19
La biblioteca di Babele	31
L'uomo che non riusciva a dimenticare	41
Vivere nel passato	53
Sottigliezze della memoria	65
Dove risiedono le diverse memorie	77
Menti prodigiose	97
Il delicato equilibrio tra ricordo e oblio	111
Percezione e memoria	123
Neurofisiologia della visione	135
Il neurone Jennifer Aniston	145
Chiavi del pensiero	161
Ringraziamenti	179

Introduzione

Forse per la gente comune è difficile farsi un'idea di quali siano i compiti giornalieri di uno scienziato. Inizialmente ci immaginiamo un personaggio dall'aspetto trasandato, sempre assorto nei suoi pensieri e distratto, distante dalla realtà immediata e dalla vita di tutti i giorni, che non si accorge nemmeno se piove o c'è il sole, se è martedì o giovedì, e che l'autobus che deve prendere è appena passato. Normalmente si pensa a qualcuno che trascorre le proprie giornate riempiendo lavagne e lavagne di teorie e formule, cercando una maniera per riuscire a pronunciare il suo *èureka*, con una scoperta che possa aggiungere anche solo un piccolo granello di sabbia alla spiaggia della nostra conoscenza. In realtà, nella vita di un ricercatore, quell'espressione di Archimede è davvero molto rara¹ e quello che capita più frequentemente è invece che, dopo

¹ Le circostanze che portarono Archimede a esclamare «èureka» fanno parte dello squisito folklore della storia della scienza. La leggenda racconta che il re Gerone di Siracusa chiese ad Archimede di verificare se una corona d'alloro che gli era stata consegnata fosse d'oro puro o se l'orafo lo avesse ingannato, mescolando insieme al prezioso metallo altri materiali. Naturalmente Archimede non poteva fondere la corona per misurare i suoi volumi (e poter così stimarne la densità e confrontarla con quella dell'oro puro). Un giorno però, facendo un bagno, notò che il livello dell'acqua era salito dopo che si era adagiato nella vasca e, a partire da questa osservazione, dedusse che il volume della dubbia corona doveva essere lo stesso di quello del liquido spostato da essa una volta immersa. Secondo la leggenda, fu dopo questa scoperta che uscì nudo a correre per le strade di Siracusa esclamando «èureka» (che in greco significa «ho trovato»). Ma come in tutte le leggende, altre voci (compresa

anni e anni di ricerche, quel momento non arrivi proprio. Isaac Asimov, fantastico biochimico e scrittore di fantascienza, disse più di una volta che la frase che normalmente accompagna una scoperta non è «èureka», ma: «Che strano...». Ciò significa che quell'istante di estasi che ci fa uscire nudi a correre per le strade di Siracusa come fece Archimede è facile che si concluda con una marea di dubbi: un ginepraio iniziale che pian piano andrà districandosi, dopo altrettanti anni di ricerche costanti.

Ma allora che cos'è che porta gli scienziati a vagabondare nel bosco intricato delle idee e degli esperimenti? Probabilmente la sete di conoscenza o, in termini più prosaici, la semplice curiosità. Domande che ci fanno arrovellare, la necessità imperiosa di dover capire qualcosa e non riuscire a fare null'altro se non tentare di trovare la risposta, quel prurito del sentirsi vicini a una scoperta, di intuire che il puzzle comincia a prendere forma e così andare avanti con la foga di arrivare alla sua soluzione, per provare il totale appagamento di aver finalmente capito.

E così ci chiediamo se gli scienziati, immersi nelle loro personali ricerche e donchisciottesche crociate, passino il loro tempo a pensare. Veramente no! In genere la vita del ricercatore è più routinaria, fatta spesso di ripetizioni su ripetizioni di un singolo esperimento, per assicurarsi della validità di un risultato, o di analisi di dati su un computer, per ricavare qualche informazione in più. Un sociologo passerà gran parte del suo tempo pianificando o analizzando statistiche, un biologo facendo preparazioni o maneggiando pipette, un matematico variando sistematicamente i parametri di un modello e un neuroscienziato registrando l'attività di centinaia di neuroni e analizzando terabyte di dati. Inizialmente può sembrare qualcosa di noioso, ma se dietro tutto questo c'è una domanda a cui valga la pena rispondere, la routine diventa affascinante

quella di Galileo) sono dubbiose in merito a questa versione, e ritengono più probabile che Archimede abbia pronunciato il suo *èureka* dopo aver scoperto il rapporto tra la spinta (verso l'alto) che subisce un corpo quando è immerso in un liquido e il volume del liquido da esso spostato, che, dal punto di vista scientifico, è senza dubbio un risultato più rilevante — anche se sprovvisto di quell'aura di magia che possiede la storia originale.

e, a partire dai compiti giornalieri, il ricercatore costruisce con pazienza una trama complessa che lo avvicina sempre più alla risposta di ciò che gli toglie il sonno.

Nel mio caso particolare questa trama ha a che fare con il funzionamento del cervello — anche se non di tutto, dal momento che la conoscenza totale di qualsiasi branca della scienza è inarrivabile da parte di una singola persona. E in questa crociata per cercare di comprendere i diversi aspetti del funzionamento del cervello, o meglio, di qualcosa di più specifico, ossia la memoria (che di fatto è il tema di questo libro), arrivare a un *eureka* è raro, molto raro: i problemi generalmente restano aperti, le risposte portano alla luce nuove domande e la soluzione finale è quasi sempre elusiva. Ma chissà che la nostra ostinata perseveranza non stia proprio nel fatto di sapere, almeno a livello inconscio, che il piacere non sta solo nell'arrivare finalmente alla risposta, ma anche nella sua costante ricerca. E affermo senza falsi pudori che la mia particolare ricerca (condivisa con molti colleghi) è forse la più interessante di tutte — e ciò alla luce del fatto che il cervello umano è il tema più complesso e inaccessibile della scienza attuale, e che tentare di comprenderlo equivale né più né meno a cercare di capire noi stessi. E benché ciò che sappiamo sia relativamente poco, gran parte delle nostre conoscenze sono state ottenute negli ultimi venti o trent'anni. È questo il momento ideale per studiare il cervello, così come l'epoca di Galileo e di Newton lo fu per lo studio della meccanica dei corpi, o quella di Maxwell per lo studio dell'elettricità e del magnetismo.

Oggi giorno possiamo contare su sofisticate apparecchiature e metodi avanzati per analizzare un'infinità di dati complessi. Abbiamo anche accesso a informazioni che solo una ventina d'anni fa non ci sognavamo nemmeno. Ciò che alcuni anni or sono era considerato fantascienza, ora si sta trasformando in realtà a un ritmo portentoso. Tuttavia, nella nostra folle corsa per cercare di capire sempre di più in merito al comportamento del cervello, tendiamo a non considerare che questa strada non è solo nostra, di noi ricercatori odierni chiusi nei nostri moderni laboratori, ma è stata esplorata molto prima di noi

da grandi pensatori: dagli antichi filosofi greci, passando per i razionalisti cartesiani, gli empiristi inglesi e i fondatori della psicologia moderna della fine del Diciannovesimo secolo, fino ad arrivare a pensatori brillanti che sfuggono a qualsiasi categorizzazione, come Jorge Luis Borges che, a partire dal suo ragionamento e dal prodigio della sua immaginazione, arrivò a conclusioni stupefacenti.

Non è strano che uno scienziato si interessi a Borges, specialmente se (come me) ha la fortuna di essersi formato presso la *Facultad de Ciencias Exactas* dell'Università di Buenos Aires (UBA). L'affinità è molto marcata, soprattutto se si fanno letture in merito all'Aleph (la cardinalità dell'infinito che si studia in calcolo avanzato), ai sentieri che si biforcano in universi paralleli (come nelle interpretazioni del formalismo della meccanica quantica) o a una biblioteca infinita che finisce per avere lo stesso contenuto di un unico «libro di sabbia», il cui numero di pagine rappresenta un continuo.

Come molti altri, scoprii Borges nel periodo della mia adolescenza e rimasi affascinato dalla precisione matematica con cui descrive ciò che sfugge alla logica, in modo che, a partire da circostanze apparentemente inconfutabili (molte volte generate da citazioni di difficile verifica o addirittura apocriefe), ci porta per mano verso mondi surreali, come in un'allucinazione, un sogno o, se vogliamo, un *realismo fantastico* in cui tutto è possibile e in cui le idee assumono il ruolo di protagoniste assolute. Molti anni dopo ripresi in mano un suo racconto, «Funes, l'uomo della memoria», che prestava le giuste parole al risultato delle mie ricerche e che, con una chiarezza sorprendente, riordinava i pezzi del puzzle che stavo componendo e mi consentiva di completarlo. In concreto ebbi la fortuna di trovare dei neuroni nel cervello umano che rispondono in modo astratto, ignorando i dettagli. Di fatto questi neuroni sono quelli che producono la conversione di quanto percepiamo (vediamo, sentiamo e udiamo nel momento presente) in memoria a lungo termine, i cui ricordi potranno essere rievocati in futuro. Generando ricordi cerchiamo di astrarre, estrarre concetti. In generale preferiamo non memorizzare troppi dettagli, perché così facendo

finiremmo come Funes. E come in un racconto di Borges, io, lo scienziato, ero lì che mi arrovellavo per capire fenomeni la cui interpretazione era già presente in un libro scritto da lui più di mezzo secolo fa — un libro che avevo letto in adolescenza e che era sepolto nella mia memoria.

Mi lascio prendere dal gioco di concepire la trama di questo racconto fittizio (che dopotutto è la storia di questo libro) e immagino un'atmosfera borghesiana in cui il mio personaggio prende la forma di un monaco nella biblioteca di un monastero (come ne *Il nome della rosa* di Umberto Eco), intento a leggere un volume che si credeva perduto; o quella del consigliere di un antico re persiano uscito da *Le mille e una notte*, che trova la sua verità nella storia raccontata da un viaggiatore; o forse ancora finisco per diventare un *compadrito* del sud della Buenos Aires del 1900, deciso a sfidare a duello un cantastorie che gli ha recitato con precisione e senza alcun riguardo le strofe che con grande assillo ricercava da tempo. In uno qualunque di questi possibili racconti, oserei dire che esista un solo modo per proseguire nella trama: lo scienziato, indipendentemente dalla forma che vogliamo dargli, si sforza di capire in che modo l'autore del libro perduto (il viaggiatore o il cantastorie) ha trovato la risposta alla sua domanda.

La volontà di reperire maggiori informazioni sulle letture o sui fatti che fecero nascere in Borges l'idea del personaggio Funes e l'interesse per il tema della memoria e del funzionamento del cervello mi ha indotto a mettermi in contatto con la sua vedova, María Kodama. La scienza è una disciplina in cui, oltre all'intelligenza, alla creatività e all'impegno, c'è bisogno di molta fortuna. E io ho avuto la fortuna che María si sia interessata a questo mio parallelo tra Borges e la memoria, che abbia condiviso con me un'infinità di storie e mi abbia permesso di accedere in varie occasioni ai libri della sua biblioteca personale. E come in «Le rovine circolari» (*Finzioni*), in cui chi crea una persona nei suoi sogni scopre che, a sua volta, è sognato da un'altra persona, ho pensato con meraviglia che forse, come Borges, anch'io ho sognato risultati come quelli che ho avuto la fortuna di trovare con le mie ricerche, e che forse prima di

lui altri pensatori, come James, Spiller o Stuart Mill, avevano sognato una storia come quella di Funes. Questa mia ricerca su Borges non ha avuto l'obiettivo di mettere alla prova la sua originalità, anzi, tutt'altro (sono molto lontano dal vestire i panni del *compadrito* che vuole battersi a duello); piuttosto la mia indagine è quella del ricercatore sbalordito, che cerca di capire meglio chi lo ha aiutato a chiarire le proprie idee. E al di là del fatto che le idee contenute in «Funes, l'uomo della memoria» si fossero già diffuse a partire dalla fine del Diciannovesimo secolo (o magari anche prima), nessuno può dubitare della genialità di Borges nell'averle portate alla loro perfezione in un racconto meraviglioso.

Borges non era un ricercatore, ma la sua passione per le lettere e la filosofia lo condussero fino alla psicologia e da lì al funzionamento della mente (e dico apposta *mente* anziché *cervello*, per evidenziare una connotazione più filosofica). Invece il mio cammino si è snodato in senso contrario, e partendo dalle domande della neuroscienza attuale sono passato alle letture di Borges, che mi hanno condotto alle basi della psicologia e della filosofia. Curiosare tra i libri della biblioteca di Borges — a cui María Kodama mi ha gentilmente concesso l'accesso — è stato come intrattenere una conversazione intima con l'autore, a partire dalla quale ho potuto farmi un'idea dei suoi interessi e intuire alcuni dei suoi punti di vista. E senza quasi rendermene conto, seguendo le sue letture, ho finito per addentrarmi in un territorio che, pur essendo così antico, è anche nuovo. In questo mondo della scienza di oggi, in cui tutto si svolge a una velocità straordinaria, in cui riusciamo a malapena a elaborare le informazioni che ci arrivano, gli incontri con Borges mi hanno dato modo di ritagliarmi il tempo necessario per poter pensare e discutere con tranquillità — anche se nella mia immaginazione — con Cartesio, Berkeley e James. Che illusi noi scienziati, che pensiamo di essere prossimi alle grandi domande! Semplicemente stiamo raffinando e riformulando lo stesso tipo di interrogativi che si pose Aristotele più di mille anni fa.

La ricerca (anacronistica) delle radici di Funes e la sua relazione con diversi principi della neuroscienza è il tema di

questo libro, che ha visto i suoi inizi sotto forma di breve articolo scientifico che, dopo varie edizioni, è finito per diventare troppo breve: solo l'abbozzo di un'idea.² E così, a causa dei vari tagli che si sono succeduti, sono andate perdendosi delle minutezze che ora spero di riuscire a sviluppare. Questo libro non è su Borges, né pretende di essere un testo sulla memoria. Nasce dall'urgente necessità di raccontare una storia che a mio avviso è affascinante. Così urgente che non riesco a fare quasi nulla se non continuare a lavorarci per terminarlo. È così affascinante che quasi si scrive da solo, come se lo stessi raccontando a un amico che immagino estraneo ai tecnicismi del linguaggio scientifico, ma con la stessa curiosità e lo stesso interesse che ho io per Borges e per il funzionamento del cervello. Non voglio creare per forza un legame o dimostrare che Borges abbia anticipato la neuroscienza, né cerco di sopravvalutarlo o giudicarlo al di là della sua prosa perfetta e della sua straordinaria intuizione nel trattare un tema così appassionante come la memoria. Semplicemente Borges è il catalizzatore, quello che mi ha convinto a buttarmi e a raccontare questa storia — che, in effetti, non può iniziare in altro modo se non con un excursus su Funes e la sua memoria prodigiosa.

Kleve, agosto 2010

² R. Quián Quiroga, *In Retrospect: Funes the Memorious*, «Nature», n. 463, p. 611, 4 febbraio 2010.

XI

Il neurone Jennifer Aniston

Prima di tutto devo chiarire che gli studi tramite registrazioni di neuroni singoli che andrò a descrivere qui di seguito non furono condotti su scimmie, gatti o ratti, come nei casi presentati nel capitolo precedente, ma su esseri umani. Generalmente l'attività cerebrale degli umani viene studiata impiegando tecniche non invasive (che non richiedono operazioni chirurgiche), come l'elettroencefalogramma o la risonanza magnetica per immagini, ma queste tecniche forniscono solo informazioni indirette e poco precise dell'attività neurale. La registrazione di neuroni singoli comporta l'uso di elettrodi impiantati nel cervello, che è abituale negli esperimenti sugli animali ma per ovvi motivi non può avvenire sugli esseri umani. Ma allora come sono condotti questi studi sugli umani?

I pazienti epilettici, nel 10/20% dei casi, hanno crisi che non possono essere controllate con l'aiuto di farmaci. In alcuni casi queste crisi portano a una rilevante riduzione della qualità della vita del paziente e, se si producono in aree del cervello che non sono vitali, si può considerare la possibilità di rimuovere chirurgicamente il fuoco, cioè l'area generatrice della crisi. I pazienti curati con questo tipo di intervento hanno un'elevata probabilità di guarigione, senza subire danni collaterali significativi, ma naturalmente prima dell'operazione deve essere determinata l'ubicazione precisa del fuoco epilettico. In alcuni casi è possibile farlo sulla base delle evidenze cliniche e della risonanza magnetica per immagini. In altri è necessario procedere all'impianto di elettrodi intracraniali per determinare con maggiore precisione

il punto in cui la crisi ha origine. La decisione dei punti in cui devono essere collocati gli elettrodi è esclusivamente clinica, anche se spesso vengono impiantati nell'ippocampo e nelle altre strutture adiacenti, cioè nel lobo temporale medio.

Grazie alle varie innovazioni tecnologiche apparse di recente (relative soprattutto alla progettazione degli elettrodi), sviluppate dall'Università della California di Los Angeles (UCLA), le registrazioni tramite gli elettrodi intracraniali ci consentono di visualizzare l'attività di neuroni singoli negli esseri umani. La possibilità unica di condurre questo tipo di studi fu ciò che mi portò a seguire un post dottorato in California circa dieci anni fa. Naturalmente non ero solo, ma lavorai in collaborazione con altri scienziati, tra cui Christof Koch, dell'Istituto di Tecnologia della California (Caltech), che fu il mio mentore, e Itzhak Fried, uno dei neurochirurghi che presso l'UCLA portarono alla ribalta questi tipi di registrazione.¹ E da ora comincerò a parlare in prima persona, visto che, senza entrare troppo nei dettagli tecnici, vorrei illustrare il tipo di ricerche che condussi per studiare l'attività dei neuroni nell'ippocampo dei pazienti.

In base alla connettività delle aree visive superiori con l'ippocampo (e ai precedenti risultati conseguiti da Gabriel Kreiman, amico e scienziato argentino, ora professore all'Università di Harvard),² iniziai a cercare risposte agli stimoli visivi, ma non utilizzando degli stimoli qualsiasi, bensì quelli familiari o rilevanti per il paziente. La giustificazione di questo è semplice: in via teorica si spera che, per esempio, i neuroni che rispondono all'immagine della madre del paziente siano molti di più di quelli che rispondono alla vista di una persona sconosciuta. In effetti

¹ A questi esperimenti parteciparono anche Gabriel Kreiman, Leila Reddy e Alexander Kraskov.

² Kreiman dimostrò principalmente che nel lobo temporale medio sono localizzate le risposte visive a diverse categorie di stimoli (visi, oggetti, animali). Ancora più interessante fu il fatto che questi neuroni si attivarono anche quando i pazienti immaginavano lo stimolo a occhi chiusi. Questi risultati furono pubblicati in G. Kreiman, C. Koch e I. Fried, *Category-specific visual responses of single neurons in the human medial temporal lobe*, «Nature Neuroscience», 2000, n. 3, pp. 946-953; G. Kreiman, C. Koch e I. Fried, *Imagery neurons in the human brain*, «Nature», 2000, n. 408, pp. 357-361.

questa intuizione risultò corretta. Ad esempio, in un paziente tifoso di calcio trovai un neurone che rispose all'immagine di Maradona (si veda la figura 11.1), in un altro molto appassionato del film *Rocky* provai a mostrargli diversi personaggi del film, fino a che trovai un neurone che rispose all'immagine di Mr. T, e in un terzo paziente, che guardava assiduamente documentari di Discovery Channel, trovai risposte alle immagini di animali.³

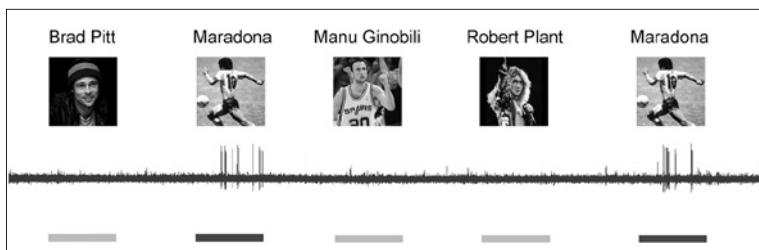


FIGURA 11.1

Registrazione di un neurone in un paziente che rispose all'immagine di Maradona ma non a quella di Brad Pitt, Manu Ginobili, Robert Plant e più di altre 50 fotografie. Le barre orizzontali indicano il tempo di presentazione di ciascuna foto (un secondo), mostrata sullo schermo di un laptop posizionato di fronte al paziente.

Sulla base di questo esempio e di molti altri esperimenti che hanno fornito risultati analoghi, risulta chiaro che i neuroni del lobo temporale medio rispondono agli stimoli visivi. Ma ora la domanda che dobbiamo porci è se il neurone della figura riportata sopra rispondesse all'immagine di Maradona in sé oppure a qualche dettaglio particolare della fotografia. Per esempio, avrebbe potuto rispondere al colore verde del prato — cosa che in linea di principio sarebbe stata ragionevole (benché deludente), visto che nelle aree visive delle scimmie esistono dei neuroni che rispondono ai colori. E inoltre quel neurone avrebbe potuto anche rispondere ai colori della maglia

³ Il fatto che ci sia una maggiore probabilità che i neuroni rispondano a stimoli familiari e rilevanti per i pazienti è dimostrato in I. Viskontas, R. Quiñan Quiroga e I. Fried, *Human medial temporal lobe neurons respond preferentially to personally-relevant images*, «Proceedings of the National Academy of Sciences», 2009, n. 106, pp. 21329-21334.

dell'Argentina, alla percezione del movimento nella postura di Maradona o, senza andare troppo lontano, al pallone da calcio. Pertanto, come abbiamo fatto a dimostrare che il neurone rispondeva all'immagine di Maradona e non a uno di questi dettagli? È molto semplice: mostrammo al paziente varie fotografie di Maradona (in diversi ambienti, con vari colori di fondo, differenti posture, diversi abiti, ecc.) e verificammo se il neurone rispondeva a tutte nello stesso modo — cioè rispondeva al concetto — o solo a quella foto in particolare. Effettivamente il neurone rispose al concetto.⁴

Il primo di questi neuroni, di gran lunga il più conosciuto, fu quello che rispose a 7 fotografie totalmente diverse tra loro dell'attrice Jennifer Aniston e a nessun altro stimolo presentato (comprese altre persone, degli animali e dei luoghi).⁵ La figura 11.2 illustra la risposta a 12 delle 87 fotografie mostrate in questo esperimento. Il neurone si attivò chiaramente solo quando furono presentate le diverse fotografie di quest'attrice e non quelle di altre celebrità come Kobe Bryant, Julia Roberts, Oprah Winfrey, Pamela Anderson, né tantomeno con fotografie di luoghi (Golden Gate, Torre Eiffel) oppure di animali. Nello stesso paziente, un altro neurone rispose a diverse immagini dell'Opera House di Sydney e in un altro ancora alla Torre di Pisa. Tutte queste persone e questi luoghi erano familiari al paziente.

A questo punto sembrerebbe che i neuroni dell'ippocampo codifichino concetti, come una persona o un luogo in particolare. E per ottenere una prova ancora più convincente a questo riguardo possiamo avvantaggiarci del fatto che questi studi siano stati condotti su esseri umani che, di fatto, sono in grado di leggere. Grazie a questo è possibile visualizzare sul monitor del computer anche il nome delle persone o dei

⁴ Per maggiori dettagli, si veda R. Quian Quiroga, A. Kraskov, C. Koch e I. Fried, *Explicit encoding of multimodal percepts by single neurons in the human brain*, «Current Biology», 2009, n. 19, pp. 1308-1313.

⁵ R. Quian Quiroga, L. Reddy, G. Kreiman, C. Koch e I. Fried, *Invariant visual representation by single-neurons in the human brain*, «Nature», 2005, n. 435, pp. 1102-1107.

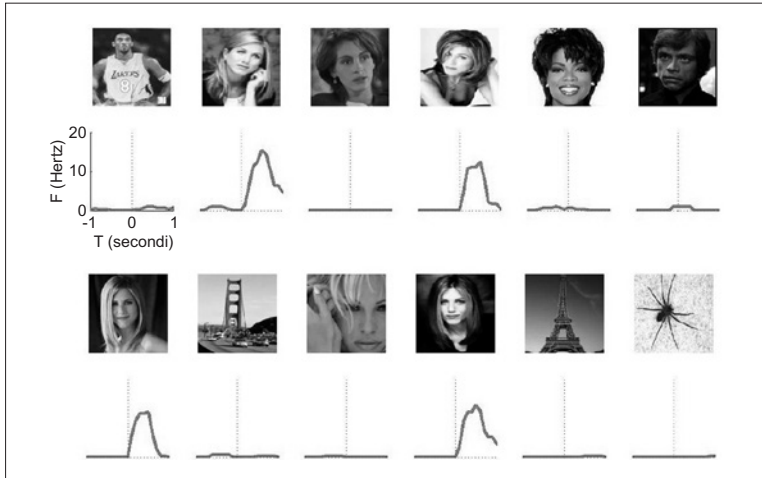


FIGURA 11.2

Risposte di un neurone nell'ippocampo di un paziente, che si attivò alla vista di diverse fotografie di Jennifer Aniston (per motivi di spazio, quelle presentate qui sono solo 4 delle 7 utilizzate, ma le risposte fornite dal paziente alle altre 3 fotografie furono simili). Quel neurone rispose solo alle immagini dell'attrice e non a quelle di altre persone, luoghi o animali (vediamo solo 8 delle altre 80 fotografie utilizzate). Le linee spesse mostrano la risposta media a 6 presentazioni di ciascuna fotografia. L'asse verticale rappresenta la frequenza di attivazione in Hertz (spazi al secondo) e l'asse orizzontale il tempo (ciascuna immagine fu presentata per un secondo, a partire dal tempo zero).

luoghi mostrati nell'esperimento e registrare la risposta dei pazienti. La figura 11.3 mostra la risposta di un neurone dell'ippocampo di un paziente che reagì a diverse fotografie dell'attrice Halle Berry e al suo nome scritto (ma non ad altri nomi). Curiosamente, nel momento in cui fu condotto questo esperimento, Halle Berry stava promuovendo uno dei suoi film, *Catwoman*, e il neurone si attivò anche con immagini di lei travestita da donna gatto, anche se il viso non si vedeva. Quel neurone rispose complessivamente a 4 diverse fotografie di Halle Berry al naturale, a 3 in cui era travestita da Catwoman, a una sua caricatura e al suo nome scritto, mentre non rispose ad altre 5 caricature, ad altri 7 nomi e ad altre 78 fotografie di persone (tra cui Cameron Diaz, Arnold Schwarzenegger, Adam Sandler), animali e luoghi.

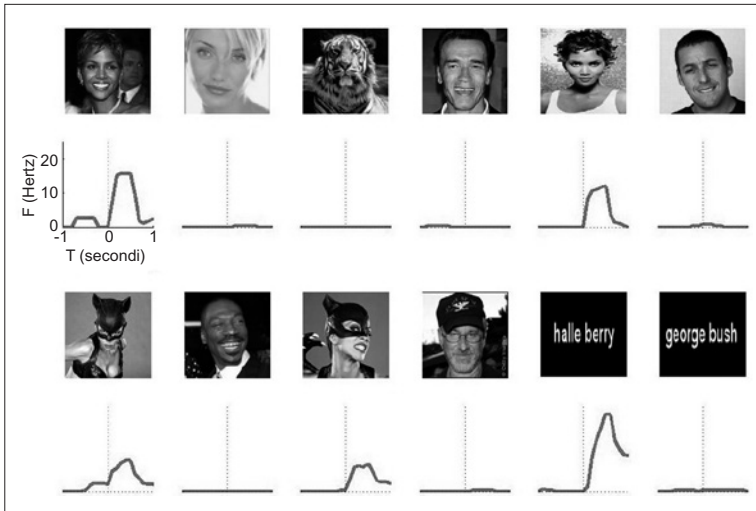


FIGURA 11.3

Risposte di un neurone dell'ippocampo a diverse fotografie di Halle Berry, ritratta sia al naturale sia travestita da Catwoman, e al suo nome scritto e visualizzato sul computer. Il neurone non si attivò con altri nomi, né con fotografie di altre persone, animali e luoghi.

Come abbiamo visto nel capitolo precedente, la percezione visiva comincia nella retina e avviene attraverso un circuito neurale che comprende la corteccia visiva primaria e le aree visive superiori, fino ad arrivare all'ippocampo. La percezione degli stimoli uditivi invece ha un percorso totalmente diverso: comincia nelle cellule della coclea, nell'orecchio interno, e passa per aree corticali primarie nel lobo temporale, per finire sempre nell'ippocampo. Per questo occorre chiedersi se i neuroni dell'ippocampo che abbiamo appena descritto rispondano anche agli stimoli uditivi (e lo possiamo dimostrare facilmente, solo pronunciando un nome). In effetti, i concetti che elaboriamo con il nostro pensiero vanno molto oltre una determinata modalità di percezione sensoriale e per esempio, se vedo una fotografia di Einstein, leggo il suo nome su un giornale o lo ascolto alla radio, finirò per evocare lo stesso concetto, che è quello di Albert Einstein. La figura 11.4 mostra un neurone che ha risposto

a 3 foto di Luke Skywalker (il personaggio del film *Guerre stellari*), al suo nome scritto visualizzato sul monitor e al suo nome pronunciato da una voce sintetizzata nel computer. La risposta presentata nella figura è stata data all'ascolto di una voce maschile, ma è stato osservato un modello di attivazione analogo anche all'ascolto di una voce femminile. Questo neurone non ha risposto ad altri nomi pronunciati o scritti, né ad altre fotografie (con l'eccezione di Yoda, come vedremo qui di seguito).

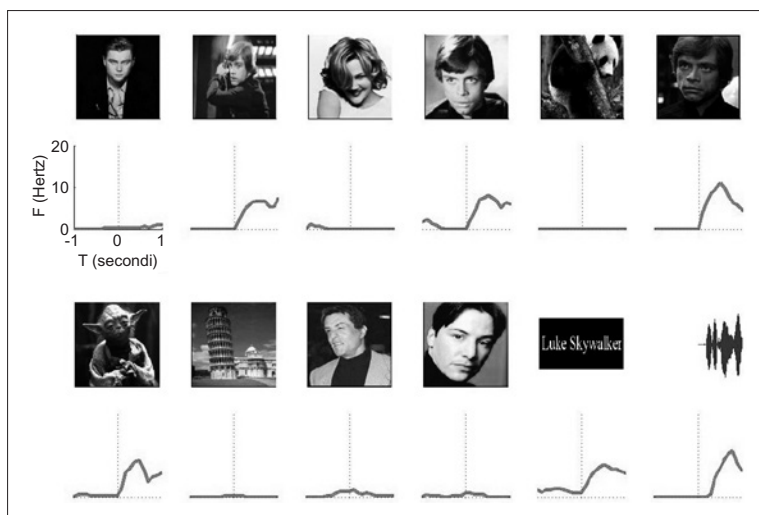


FIGURA 11.4

Risposte di un neurone nella corteccia entorinale (un'area vicina all'ippocampo che fa parte del lobo temporale medio) a 3 fotografie di Luke Skywalker e al suo nome scritto e pronunciato dal computer (immagini in basso a destra). Il neurone rispose anche a Yoda, un altro personaggio del film *Guerre stellari*.

Le risposte illustrate nella figura 11.4, insieme a molti altri esempi,⁶ mostrano chiaramente che la rappresentazione data dai neuroni dell'ippocampo (e delle aree che lo circondano) è così astratta che può essere evocata con diverse modalità di

⁶ Per maggiori esempi si veda Quian Quiroga, Kraskov, Koch e Fried, *Explicit encoding of multimodal percepts by single neurons in the human brain*, cit., pp. 1308-1313.