

# Giacomo Rizzolatti Lisa Vozza Nella mente degli altri

Neuroni specchio e comportamento sociale

Chiavi di lettura a cura di  
Lisa Vozza e Federico Tibone

---

## *indice*

<i>Introduzione</i>	5
<b>1. Neuroni e circuiti</b>	7
A caccia di impulsi elettrici Quale stimolo per quale neurone?	
<b>2. Il repertorio delle azioni</b>	21
Il cervello impara per prove ed errori	
<b>3. La scoperta dei neuroni specchio</b>	29
Tradurre la visione in azione	
<b>4. Guardare nel cervello dell'uomo</b>	35
La tomografia a emissione di positroni La risonanza magnetica funzionale Il cervello umano possiede meccanismi specchio? Non solo mani Specchi senza oggetti	
<b>5. Il «che cosa» e il «perché» di un'azione</b>	47
So quello che faccio, capisco quello che fai Capisco quello che fai ma non so cosa provi Gli esperimenti con gli animali	
<b>6. Sento il tuo disgusto, mi immedesimo nel tuo dolore</b>	63
Pubblicità, che emozione!	
<b>7. Lo specchio rotto del mondo</b>	69
Leggere nella mente degli altri La mappa delle emozioni	

---

<b>8. Scimmiettando s'impara?</b>	77
Quando copiare è automatico	
Guardando s'impara	
Quando copiare è facile	
Quando copiare è difficile	
<b>9. Comunicazione e linguaggio</b>	87
Dai versi degli animali ai suoni del linguaggio?	
Dai gesti al linguaggio parlato?	
Riconoscere le parole	
<b>10. Conclusioni</b>	103
Che cosa abbiamo scoperto	
Che cosa ci potrebbe riservare il futuro	
<b>Bibliografia</b>	111
<b>Indice analitico</b>	113

---

## Introduzione

Andrea osserva Lucia mentre avvicina la mano al telefonino, appoggiato sul tavolo, che ha suonato. Andrea sa esattamente che cosa succederà: Lucia premerà il tasto di risposta e porterà il telefono all'orecchio per dare inizio a una conversazione. Ma come fa Andrea a sapere che Lucia parlerà al telefonino? Non potrebbe invece spostarlo o buttarlo via?

Capire azioni collegate a intenzioni in un contesto, e prevederne l'esito, è qualcosa che facciamo di continuo, nelle tante situazioni cui ci capita di assistere ogni giorno. È qualcosa che avviene in noi in modo talmente naturale e spontaneo che non ce ne rendiamo neppure conto.

Eppure questo fatto della vita che ci sembra così ovvio è alla base della capacità dell'uomo di cogliere informazioni utili nelle azioni degli altri. Se non fossimo in grado di capire il senso e le conseguenze delle azioni delle persone che ci circondano ci mancherebbe una parte di conoscenza essenziale per orientarci, scansare pericoli e cogliere al volo opportunità, in una parola per sopravvivere in una società costantemente in moto.

Ma che cosa avviene nella nostra testa quando comprendiamo gli atti altrui? Su questa domanda si sono arrovellati per secoli psicologi, filosofi, neuroscienziati, sociologi e antropologi. Mancava però una

spiegazione biologica di questo fenomeno, perché le tecniche di esplorazione del cervello sono state per lungo tempo assai limitate. Fino alla prima metà del Novecento non esistevano infatti strumenti che permettessero di studiare l'attività individuale dei circa cento miliardi di neuroni – le cellule che sono le unità di base della materia grigia – e di capire a quali stimoli risponde ciascuno di essi. Né era impresa facile trovare una logica nei segnali che queste cellule si scambiano in continuazione.

Data la sua enorme complessità, il cervello è ancora oggi l'organo più difficile da esplorare e da comprendere in tutte le sue innumerevoli funzioni. Malgrado questi limiti la biologia e la medicina hanno fatto grandi progressi conoscitivi e tecnologici, tanto che oggi sappiamo come funzionano i neuroni, come comunicano fra loro e come controllano le funzioni del nostro corpo. Inoltre incominciamo a disporre di ipotesi abbastanza convincenti sui meccanismi alla base di alcune funzioni cerebrali superiori, come per esempio la percezione, l'attenzione, la memoria.

Per una di queste funzioni, riconoscere le azioni degli altri e capirne il senso, si è trovata di recente una spiegazione legata all'attività delle cellule nervose chiamate neuroni specchio: questo libro racconta che cosa sono e cosa significano.

## Neuroni e circuiti

Il cervello controlla tutto quello che facciamo, sia quando agiamo volontariamente sia quando compiamo un'azione senza esserne consci: non c'è infatti atto, idea, emozione che non abbia alla base l'attività delle cellule nervose; e tutte le immagini, i suoni, gli odori e le altre sensazioni provenienti dall'ambiente esterno sono determinati dalla loro attività.

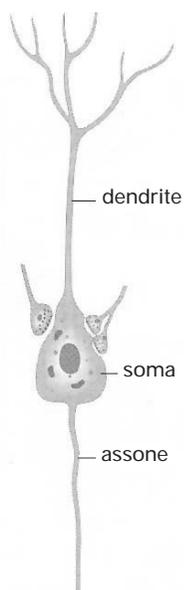
I neuroni, a differenza di altre cellule dell'organismo come quelle della pelle, dei muscoli o del sangue, hanno forme molto variabili. Tutti i neuroni però, con qualche rara eccezione, hanno alcune caratteristiche costanti: un corpo centrale tondeggiante, in cui si trova il nucleo con il DNA della cellula, e due tipi di estensioni: i dendriti e gli assoni (figura 1).

I *dendriti* si dipartono dal corpo centrale, o *soma*, di ciascun neurone e insieme a esso ricevono informazioni da altre cellule nervose. Per i segnali in uscita si sviluppa invece un'unica estensione che è chiamata *assone*. Pur essendo molto sottili (non superano qualche micrometro di diametro), i dendriti e in particolare gli assoni possono raggiungere distanze notevoli. Per esempio, gli assoni del nervo sciatico si estendono dalla base del midollo spinale fino agli alluci.

Al termine dello sviluppo i neuroni hanno formato una fitta rete in cui ogni secondo si scambiano un nu-

mero enorme di messaggi che viaggiano a velocità elevate (oltre 100 metri al secondo, quindi più veloci di una monoposto su un circuito di Formula uno, ma molto più lenti della trasmissione dei dati in un computer).

I segnali che i neuroni si scambiano sono sempre dello stesso tipo, indipendentemente dallo stimolo che li origina. Sia che muoviamo di proposito un braccio, sia che avvertiamo un oggetto che ci sfiora la



**Figura 1.** Rappresentazione schematica di un neurone. Sono visibili il soma, l'assone, i dendriti e alcune sinapsi.

pele, le cellule nervose che danno il comando motorio ai muscoli o che raccolgono lo stimolo tattile si comportano in modo del tutto simile: se lo stimolo è abbastanza forte, il neurone eccitato trasmette un *impulso elettrico* a un'altra cellula nervosa a cui è collegato.

Nel percorso da una cellula all'altra l'impulso elettrico si sposta lungo l'assone e quando ne raggiunge l'estremità provoca la liberazione di speciali molecole, chiamate *neurotrasmettitori*, nell'area di contatto che l'assone forma con il neurone ricevente, detta *sinapsi*. I neurotrasmettitori generano piccoli potenziali elettrici, chia-

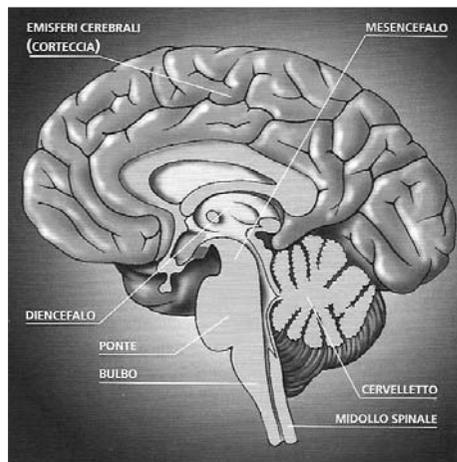
mati *potenziali postsinaptici*, che si sommano fra di loro. Se la loro somma raggiunge una certa ampiezza, nasce un nuovo impulso elettrico che viene trasmesso al neurone successivo. La propagazione dell'impulso elettrico continua così, neurone dopo neurone, dalla periferia ai centri cerebrali superiori o viceversa. In certi casi la trasmissione da un neurone all'altro avviene direttamente, senza la mediazione di un neurotrasmettitore. Questa maniera di comunicare fra le cellule viene chiamata trasmissione elettrica.

La trasmissione dell'impulso nervoso da un neurone all'altro è fatta da segnali identici e discreti, cioè discontinui: o ci sono o non ci sono, e non c'è possibilità di situazioni intermedie. Ma se gli impulsi nervosi sono tutti uguali, come fa il cervello a distinguere, per esempio, fra un'attivazione causata da una carezza sul braccio (stimolo tattile) e una dovuta alla visione di un'immagine (stimolo visivo)? Ciò che differenzia i due segnali è la diversa via nervosa seguita dai due impulsi: il primo viaggia dalla pelle ai neuroni cerebrali dell'area *somatosensoriale* (la regione del cervello che elabora le informazioni provenienti dagli organi di senso), mentre il secondo si propaga dall'occhio ai centri visivi. A ogni funzione (per esempio la visione o l'udito) corrisponde cioè una serie di circuiti, o *sistemi*, lungo i quali si incontrano solo impulsi generati dagli stimoli corrispondenti (per esempio visivi o uditivi).

Che cosa succede quando uno stimolo o un'azione attiva i neuroni di due o più sistemi? Questa è un'eventualità tutt'altro che rara: basta pensare a quando

un oggetto sfiora la nostra pelle, producendo simultaneamente un fruscio che è avvertito dalle nostre orecchie. Come fa il cervello a capire che quei segnali, elaborati separatamente da ciascun circuito, hanno a che fare con lo stesso stimolo o la medesima azione? La risposta è che fra neuroni di sistemi diversi esistono collegamenti che servono a integrare i segnali in modo da produrre percezioni coerenti e azioni coordinate.

L'insieme dei neuroni e dei loro collegamenti costituisce un organo estremamente complesso che prende il nome di *sistema nervoso*. Dal punto di vista anatomico lo si distingue in due parti, una chiamata *sistema nervoso centrale* e l'altra *sistema nervoso periferico*. Il sistema nervoso centrale comprende una par-



**Figura 2.** Schema del sistema nervoso centrale dell'uomo.

te posta nella scatola cranica (l'encefalo) e una parte situata nella colonna vertebrale (il midollo spinale). Il sistema nervoso periferico include nervi, gangli e recettori posti nella cute e nei visceri. Il sistema nervoso centrale riceve gli stimoli dal mondo esterno grazie all'attività del sistema nervoso periferico, il quale è a sua volta in parte controllato dal sistema nervoso centrale (figura 2).

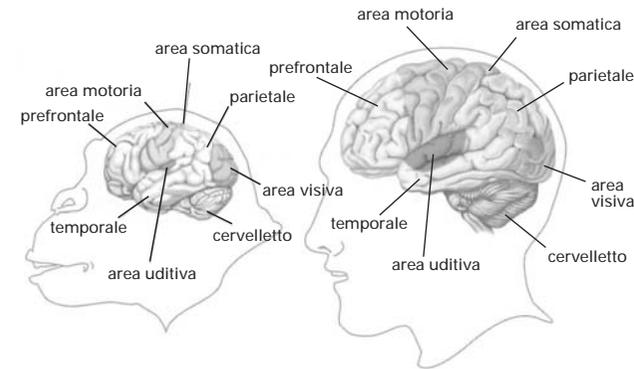
### A caccia di impulsi elettrici

Un modo per spiegare che cosa accade nel nostro cervello quando compiamo un'azione o percepiamo uno stimolo è quello di mettere in relazione l'azione o la stimolazione con l'attività elettrica dei neuroni. Ma come si fa a studiare l'effetto di un'azione o di uno stimolo sull'attività dei neuroni? Esistono due metodi che permettono di misurare questi effetti, entrambi basati sull'uso di elettrodi. Gli *elettrodi* sono elementi conduttori usati per stabilire un contatto con una parte elettricamente attiva di un circuito.

Il primo metodo risale alla prima metà del secolo scorso, ed è basato sull'uso di elettrodi piuttosto grandi, o *macroelettrodi*, formati da batuffoli di cotone o placchette di metallo di qualche millimetro quadrato, che ci consentono di individuare l'attivazione di un'area cerebrale che coinvolge un gran numero di neuroni. L'altro metodo risale invece agli anni Sessanta e impiega i *microelettrodi*, aghi, cioè, o micropipette molto sottili, microscopiche, che permettono di studiare il linguaggio «parlato» dai singoli neuroni.

Il primo metodo è utilizzato anche oggi per ottenere quello che in medicina viene chiamato elettroencefalogramma. Si pongono sulla scatola cranica del paziente alcuni macroelettrodi (batuffoli di cotone imbevuti di soluzione salina) in modo che possano condurre l'elettricità e amplificare i piccoli segnali registrati. Il potere di risoluzione dell'elettroencefalografia è tuttavia piuttosto basso, perché le aree attivate che essa identifica comprendono milioni di neuroni. Con un paragone preso in prestito dalla sismologia, potremmo dire che con questa tecnica siamo in grado di definire in modo abbastanza accurato i confini della nazione in cui si è verificato un terremoto (l'area attivata), ma non riusciamo a individuare le città (i gruppi di neuroni) o i paesi (le singole cellule nervose) che sono più vicini all'epicentro del sisma, e ancor meno riusciamo a ottenere un tracciato delle strade (le connessioni) che uniscono gli agglomerati urbani colpiti. L'encefalografia è utilizzata ancora oggi per lo studio del sonno, nel corso del quale compaiono ritmi cerebrali particolari, e per la diagnosi di particolari patologie come l'epilessia.

Il metodo che permette di analizzare il linguaggio dei singoli neuroni prevede invece l'inserimento dei microelettrodi all'interno del sistema nervoso, preceduto da un'operazione chirurgica eseguita in anestesia. L'operazione chirurgica rimuove una parte dello scalpo e una piccola porzione dell'osso del cranio. Quindi con i microelettrodi, che sono fatti di un materiale molto resistente (acciaio o tungsteno), si attraversa la *dura madre*, una membrana di rivestimento e pro-



**Figura 3.** Corteccia cerebrale della scimmia, a sinistra, e dell'uomo, a destra.

tezione piuttosto coriacea. Sotto la dura madre i microelettrodi incontrano la *corteccia*, la parte più esterna dell'encefalo, e i suoi neuroni che sono responsabili delle funzioni superiori del cervello (figura 3).

Una volta inseriti i microelettrodi nella corteccia, i chirurghi richiudono l'apertura nell'osso con una specie di tappo riapribile, collegato a una protesi a forma di castelletto che viene fissata in modo permanente sulla testa.

Questa descrizione può fare impressione, ma in realtà né la protesi né i microelettrodi causano alcuna sofferenza, perché la corteccia non possiede recettori del dolore. La registrazione o stimolazione tramite elettrodi è innocua e indolore, tanto che oggi la si utilizza in neurologia per stimolare specifiche zone cerebrali nei pazienti affetti dalla malattia di Parkinson (una patologia del sistema nervoso che provoca rigi-

dità, tremore e difficoltà a iniziare i movimenti). Il Parkinson è dovuto alla degenerazione dei neuroni che producono un particolare neurotrasmettitore chiamato *dopamina*.

Nella maggior parte dei casi, però, le registrazioni di singoli neuroni sono eseguite su animali di laboratorio; sull'uomo gli esperimenti sono possibili soltanto se la persona su cui si compiono ne trae un vantaggio accertato. Sempre grazie all'assenza di dolore, dopo l'operazione gli animali si abituano rapidamente alla protesi, tanto da riuscire a portarla per anni e anni senza neppure farci caso. Dal castelletto i ricercatori possono accedere di volta in volta ai microelettrodi inseriti nella corteccia: in questo modo è possibile seguire l'attività addirittura di un singolo neurone, in condizioni sperimentali differenti e per periodi di tempo molto lunghi.

### Quale stimolo per quale neurone?

Siamo in laboratorio. Accanto a noi un ricercatore mostra una serie di immagini a un macaco. La scimmia ha un microelettrodo impiantato in un'area della corteccia specializzata nella visione e il ricercatore ha già provveduto a collegare il microelettrodo all'*oscilloscopio*, l'apparecchio che registra le variazioni di potenziale elettrico del neurone.

Nella stanza risuona un rumore intermittente: ogni tanto si sentono dei *tac... tac... tac...* a qualche secondo di distanza l'uno dall'altro, oppure una serie di *tac-tac-tac* più ravvicinati. Ogni volta che l'oscillo-

scopio registra una variazione di potenziale elettrico, esso amplifica il segnale producendo un suono: il ricercatore sa così che lo stimolo ha prodotto un effetto sul neurone (in gergo si dice che il neurone «ha sparato», in inglese *-fired*).

La diversa frequenza dei *tac* emessi è una misura dell'efficacia dello stimolo, cioè dell'intensità con cui il sistema nervoso dell'animale risponde all'immagine che sta guardando: uno stimolo lieve produce impulsi poco frequenti (e quindi una serie di *tac... tac... tac...* distanziati nel tempo), mentre uno stimolo più efficace produce molti più impulsi ravvicinati. Ma quali caratteristiche deve avere uno stimolo per produrre un'attivazione dei neuroni visivi?

Per buona parte del Novecento si è pensato che l'occhio fosse una sorta di macchina fotografica, composta da tante fotocellule, capace di trasmettere le immagini provenienti dal mondo esterno ai centri superiori del cervello e di proiettarle come su uno schermo, punto per punto, sulla corteccia visiva. A sostegno di quest'ipotesi, pur suggestiva, non emergevano però risultati sperimentali convincenti. I ricercatori dell'Università di Friburgo, per esempio, avevano eseguito molti esperimenti sulla risposta alla luce nella corteccia visiva, sottoponendo i soggetti a ogni possibile variazione di intensità luminosa (mezzo buio, mezza luce, un flash, una serie di flash), ottenendo però soltanto attivazioni modeste della corteccia visiva.

Se i neuroni della corteccia visiva non reagiscono alle variazioni di intensità luminosa, allora a quali ca-

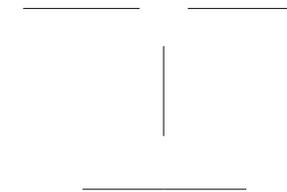
ratteristiche del mondo visibile sono sensibili? La risposta a questa domanda è venuta dagli esperimenti che David Hubel e Torsten Wiesel hanno condotto, a partire dagli anni Cinquanta, all'Università di Harvard. Hubel e Wiesel hanno dimostrato che di fronte a un'immagine proiettata sulla retina<sup>1</sup>, i neuroni della corteccia visiva non si attivano tutti nello stesso modo. Ciascuno di essi risponde invece a un determinato elemento dell'immagine: un neurone è sensibile a una barretta orizzontale, un altro a una barretta verticale, un terzo a un bordo che separa una zona di luce da una di buio. Inoltre alcune cellule nervose rispondono alla stimolazione dell'occhio destro, altre a quella dell'occhio sinistro e altre ancora richiedono la stimolazione di entrambi.

Nella corteccia visiva i neuroni sono disposti in modo ordinato in colonne sensibili all'orientamento degli stimoli e all'occhio stimolato. Alcune colonne dipendono dall'occhio di destra e sono sensibili a stimoli orientati orizzontalmente, altre sono collegate all'occhio di sinistra e si attivano per stimoli orientati verticalmente. Le colonne sono ulteriormente organizzate in supercolonne, ciascuna delle quali codifica per un punto specifico della retina tutti i possibili orientamenti e tutte le risposte monoculari e binoculari.

<sup>1</sup> La superficie interna del bulbo dell'occhio, costituita da cellule nervose, che riceve la luce proveniente dall'esterno, la capta mediante cellule specializzate – i coni e i bastoncelli – e trasmette tramite il nervo ottico segnali elettrici al cervello, che poi li elabora nell'area visiva della corteccia.

L'insieme delle supercolonne fornisce la base per la ricostruzione dell'immagine nella sua interezza. Grazie a questa organizzazione, infatti, le caratteristiche degli oggetti identificate dai vari neuroni vengono integrate nei centri visivi superiori (per esempio nella parte inferiore del lobo temporale). Così, se le caratteristiche analizzate dai vari neuroni (una barretta lunga orizzontale più una linea verticale, più due barrette corte orizzontali) fanno parte di una faccia, la corteccia temporale la ricompone per somma e integrazione (figura 4).

**Figura 4.** Da tre barrette orizzontali e una linea verticale disposte come in questa figura, la corteccia visiva è in grado di ricomporre una faccia.



La collezione di forme e segni riconosciuti dai neuroni della corteccia visiva, nel suo insieme, costituisce una sorta di repertorio a cui il cervello attinge per analizzare, interpretare e ricostruire le immagini provenienti dal mondo esterno.

Del resto, che la nostra percezione visiva funzioni in questo modo chiunque di noi lo può sperimentare su se stesso in modo intuitivo, guardando un quadro del periodo cubista di Braque o di Picasso: dalle forme dipinte sulla tela, che sono quasi puramente geometriche, la nostra mente ricostruisce con facilità



**Figura 5.** Un quadro del periodo cubista: Georges Braque, *Violino e brocca*, 1910 (Kunstmuseum Öffentliche Kunstsammlung, Basilea).

un'immagine mentale delle persone o degli oggetti rappresentati, nella loro interezza (figura 5).

Hubel e Wiesel hanno anche dimostrato che i neuroni della corteccia visiva iniziano a maturare le proprie capacità di codificare gli stimoli visivi subito dopo la nascita, soltanto però se l'occhio è esposto a tali stimoli. Se durante questo periodo cruciale per lo sviluppo l'occhio rimane invece coperto, le capacità visive della corteccia risultano compromesse.

Ciò significa che alla nascita il repertorio di segni e forme è come un grande libro vuoto che per essere riempito ha bisogno di nutrirsi dell'esperienza: più l'occhio incontra nuovi stimoli, più il repertorio si arricchisce di voci (come barrette e linee) e di richiami

incrociati (una barretta verticale corrisponde a un naso; una orizzontale a una bocca). E con le dimensioni del repertorio della corteccia visiva aumenta la capacità del cervello di analizzare e capire le immagini. C'è però un periodo di tempo ben definito e limitato durante il quale è possibile inserire informazioni nel nostro repertorio visivo: se quella finestra temporale non è sfruttata in maniera opportuna, le pagine del libro restano bianche e la capacità di percepire le immagini non si sviluppa in modo adeguato.

Per queste scoperte, che hanno chiarito meccanismi biologici fondamentali per la percezione visiva, Hubel e Wiesel hanno ricevuto il premio Nobel per la fisiologia nel 1981.

Le conseguenze del loro lavoro non sono però rimaste limitate al campo della visione, ma hanno influenzato un'intera generazione di neuroscienziati che ha applicato il nuovo paradigma negli studi sia della visione che di altre funzioni cerebrali.

Con Hubel e Wiesel il sistema nervoso ha cessato di essere una macchina che registra stimoli indifferenziati ed emette catene meccaniche di comandi, ed è diventato un elaboratore di azioni ed esperienze. I neuroni cerebrali, impegnati in uno scambio continuo fra i segnali provenienti dal mondo esterno e quelli già codificati nel repertorio mentale, si aggiornano a ogni sollecitazione – come le voci di un'enciclopedia *wiki* – producendo continuamente nuove edizioni rivedute e corrette.