

SPECCHI NELLA MENTE

Una speciale classe di cellule del cervello, i neuroni specchio, riflette il mondo esterno, rivelando come l'uomo capisce, stabilisce rapporti con i suoi simili e impara

**di Giacomo Rizzolatti, Leonardo Fogassi e
Vittorio Gallese**

Marco guarda Anna che prende un fiore. Marco sa ciò che sta facendo Anna - sta raccogliendo il fiore - e sa anche perché. Anna sta sorridendo a Marco, il quale prevede che lei gli regalerà il fiore. Questa semplice scena dura pochissimo, ma Marco capisce quasi all'istante che cosa sta accadendo. Come fa a comprendere così facilmente l'azione e le intenzioni di Anna?

Fino a una decina d'anni fa, i neuroscienziati e gli psicologi avrebbero attribuito la nostra comprensione delle azioni degli altri, e specialmente delle loro intenzioni, a un rapido ragionamento, più o meno identico a quello che usiamo per risolvere un problema logico: un sofisticato apparato cognitivo nel cervello di Marco elabora l'informazione incamerata dai suoi organi di senso e la confronta con le esperienze archiviate in memoria. Ecco come Marco può dedurre ciò che Anna sta facendo, e perché.

Ma anche se talvolta si verificano operazioni deduttive di questo tipo, specie quando il comportamento di qualcuno è difficile da decifrare, la facilità e la rapidità con cui in genere comprendiamo azioni semplici suggerisce una spiegazione molto più diretta. All'inizio degli anni novanta, il nostro gruppo di ricerca all'Università di Parma, di cui all'epoca faceva parte anche Luciano Fadiga, scoprì quasi per caso la risposta in una classe di neuroni del cervello di scimmia, che si attivano quando un individuo esegue semplici azioni motorie dirette a uno scopo, per esempio afferrare un frutto. Ma l'aspetto sorprendente fu che quegli stessi neuroni si attivavano anche quando l'individuo vedeva un suo simile compiere la stessa azione. Poiché questo insieme di neuroni appena scoperti sembrava riflettere le azioni eseguite da un altro soggetto direttamente nel cervello dell'osservatore, li abbiamo chiamati «neuroni specchio».

LE AZIONI COMPIUTE da una persona possono attivare nel cervello di un'altra i circuiti motori responsabili dell'esecuzione della stessa azione. La seconda persona capisce automaticamente ciò che sta facendo la prima perché questo meccanismo a specchio le permette di sperimentarla nella propria mente.

Proprio come si ritiene che circuiti di neuroni archivino i ricordi nel cervello, così gruppi di neuroni specchio sembrano contenere i modelli di azioni specifiche. Questa proprietà consentirebbe all'individuo non solo di eseguire procedure motorie elementari senza riflettere, ma anche di capirle senza bisogno di ragionarci su. Marco capisce l'azione di Anna perché, se da un lato è vero che sta accadendo davanti ai suoi occhi, dall'altro sta accadendo anche nella sua testa. È interessante notare che i filosofi di scuola fenomenologica sostengono da tempo che per comprendere profondamente qualcosa dobbiamo sperimentarla dentro di noi. Ma per i neuroscienziati la scoperta di una base biologica di questa idea nel sistema dei neuroni specchio ha rappresentato una svolta radicale nella nostra comprensione del perché comprendiamo.

osservavamo che durante l'esecuzione di specifici atti motori si attivavano gruppi distinti di neuroni.

A un certo punto, però, osservammo qualcosa di strano. Quando uno di noi afferrava del cibo, i neuroni della scimmia si attivavano esattamente come se fosse stata lei ad afferrarlo. Sulle prime ci domandammo se il fenomeno dipendesse da un fattore spurio, come per esempio un movimento della scimmia che ci era sfuggito. Ma una volta esclusa questa e altre possibilità, fra cui l'aspettativa del cibo da parte dell'animale, capimmo che la risposta dei neuroni all'osservazione dell'azione era una vera e propria rappresentazione di quell'atto nel suo cervello, che prescindeva da chi lo stesse eseguendo.

Spesso nella biologia sperimentale la via più diretta per stabilire la funzione di

hanno un ruolo nella comprensione di un'azione anziché registrarla visivamente, abbiamo valutato le loro risposte quando le scimmie coglievano il significato di un'azione, ma senza vederla. Pensammo che, se i neuroni specchio sono i mediatori della comprensione, la loro attività avrebbe dovuto riflettere il significato dell'azione, piuttosto che i suoi tratti visivi. Quindi effettuammo due serie di esperimenti.

Per prima cosa verificammo se i neuroni specchio di F5 «riconoscevano» le azioni semplicemente dal loro rumore. Registrammo perciò la loro attività mentre la scimmia osservava movimenti delle mani, come stropicciare un foglio di carta oppure rompere il guscio di una nocciolina, che producono rumori caratteristici. Poi presentammo alla scimmia il solo rumore, scoprendo che molti dei neuroni specchio di F5 che avevano risposto all'osservazione visiva di atti accompagnati da rumori rispondevano anche al solo rumore. Per questo li abbiamo chiamati neuroni specchio audiovisivi.

A quel punto ipotizzammo che, se i neuroni specchio sono davvero importanti nella comprensione di un'azione, allora dovrebbero attivarsi anche quando la scimmia non vede l'azione ma ha indizi sufficienti per crearne una rappresentazione mentale. Allora, per prima cosa, mostrammo a una scimmia un atto motorio diretto a un oggetto, vale a dire un ricercatore che tendeva la mano verso un boccone di cibo e lo afferrava. Poi collocammo uno schermo davanti alla scimmia in modo che non vedesse la parte finale dell'atto - ossia la mano che prendeva il cibo - ma potesse solo indovinarla. Malgrado ciò, più della metà dei neuroni specchio di F5 si attivava anche quando la scimmia poteva solo immaginare ciò che stava avvenendo dietro lo schermo.

Questi esperimenti confermavano che l'attività dei neuroni specchio favorisce la comprensione degli atti motori: quando è possibile capire un'azione solo da segnali non visivi, come una rappresentazione sonora o mentale, i neuroni specchio si attivano comunque per segnalare il significato dell'atto.

In seguito a queste scoperte nel cervello della scimmia fu naturale chiedersi se esisteva un sistema di neuroni specchio anche nell'uomo. Le prime conferme le

La risposta dei neuroni all'osservazione dell'azione era una rappresentazione dell'atto nel cervello, a prescindere da chi lo eseguiva

Storia di una scoperta

Quando scoprimmo per la prima volta i neuroni specchio, non intendevamo confermare alcuna teoria filosofica. Stavamo studiando la corteccia motoria del cervello, in particolare l'area F5, associata ai movimenti della mano e della bocca, per capire come i comandi per eseguire una certa azione sono tradotti in scariche

un gene, di una proteina o di un gruppo di cellule è quella di eliminarli per poi vedere quali deficit si sono prodotti nella funzionalità o nel comportamento dell'organismo. Questa tecnica però non era applicabile nel caso dei neuroni specchio: avevamo scoperto, infatti, che sono distribuiti in importanti regioni di entrambi gli emisferi cerebrali, fra cui la corteccia premotoria e quella parietale. Distruggere l'intero siste-

In sintesi / incontro di menti

dei neuroni. A questo scopo registravamo l'attività di singoli neuroni nel cervello di macachi. Il nostro laboratorio aveva un ricco repertorio di stimoli per le scimmie, e mentre queste compivano varie azioni, come afferrare un giocattolo o del cibo,

ma dei neuroni specchio avrebbe prodotto deficit cognitivi di portata tanto generale da rendere impossibile capire gli effetti specifici delle cellule mancanti.

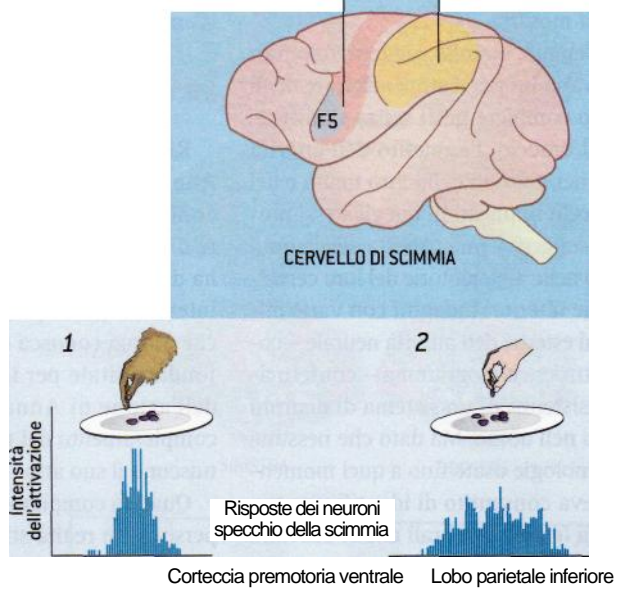
Adottammo quindi una strategia differente. Per verificare se questi neuroni

- Nel cervello degli esseri umani e delle scimmie vi sono gruppi di neuroni che si attivano sia quando un individuo compie determinate azioni sia quando vede altre persone eseguire gli stessi movimenti.
- Questi «neuroni specchio» forniscono un'esperienza interiore diretta, e quindi una diretta comprensione, delle azioni, delle intenzioni o delle emozioni altrui.
- I neuroni specchio potrebbero anche essere il substrato della capacità di imitare le azioni degli altri, e il meccanismo a specchio sarebbe quindi un ponte tra i cervelli degli individui per il collegamento e la comunicazione a molteplici livelli.

In esperimenti con le scimmie, gli autori di questo articolo hanno scoperto nelle aree motorie del cervello (o destra) gruppi di neuroni la cui attivazione sembrava rappresentare le azioni stesse. L'attivazione di questi «neuroni specchio» potrebbe perciò produrre in un individuo un riconoscimento interno dell'azione di un suo simile. Poiché la risposta dei neuroni rifletteva anche la comprensione della finalità del movimento, gli autori ne hanno concluso che capire l'azione sia uno scopo primario del meccanismo a specchio. Il coinvolgimento dei neuroni specchio nella comprensione dell'intenzione finale del soggetto agente si riscontrava anche nelle loro risposte, che distinguevano tra azioni di presa identiche, ma eseguite con intenzioni differenti.

COMPREDERE L'AZIONE

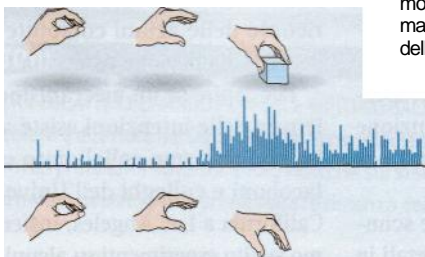
In test iniziali, un neurone nell'area premotoria F5, associata con atti della mano e della bocca, diventava molto attivo quando la scimmia afferrava l'uvetta in un piatto (1). Lo stesso neurone rispondeva intensamente quando era uno dei ricercatori ad afferrare l'uvetta mentre la scimmia lo guardava (2).



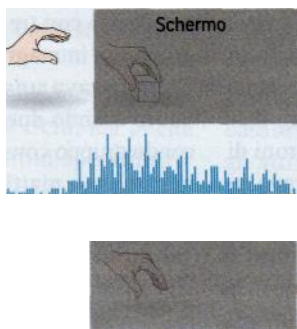
DISTINGUERE L'OBIETTIVO

Un neurone specchio dell'area F5 scaricava intensamente quando la scimmia osservava la mano del ricercatore che si muoveva per afferrare un oggetto (1), ma non quando la manosi muoveva senza avere alcun oggetto come obiettivo [2]. Lo stesso neurone rispondeva a un'azione diretta a uno scopo quando la scimmia sapeva che un oggetto era nascosto da uno schermo opaco, anche se non vedeva il completamento dell'atto [3]. Il neurone rispondeva debolmente quando la scimmia sapeva che dietro lo schermo non

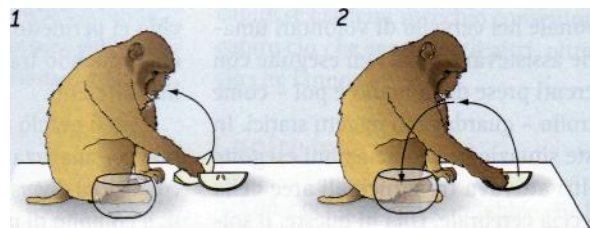
Visione dei movimenti della mano da parte della scimmia



c'era alcun oggetto (4).



DISTINGUERE L'INTENZIONE Nel lobo parietale inferiore, le registrazioni da un neurone mostravano una scarica intensa quando la scimmia afferrava un frutto per portarlo alla bocca (1). La risposta del neurone era più debole quando la scimmia prendeva il cibo per metterlo in un contenitore [2]. Lo stesso neurone specchio rispondeva intensamente anche quando la scimmia osservava un ricercatore che eseguiva il gesto afferrare-per-mangiare (3) e debolmente nel caso dell'azione afferrare-per-mettere-nel-contenitore (4). In ognuno dei casi, la risposta era associata al movimento di presa, segno che l'attivazione iniziale del neurone codificava una comprensione dell'intenzione finale.



--- Momento della presa



ottenemmo grazie a una serie di esperimenti che usavano varie tecniche per individuare variazioni nell'attività della corteccia motoria.

Per esempio, quando soggetti volontari osservavano un ricercatore afferrare degli oggetti o compiere gesti senza significato con il braccio, l'aumento dell'attività neurale nei muscoli della loro mano e del loro braccio implicati in quegli stessi movimenti suggeriva una risposta dei neuroni specchio nelle aree motorie del loro cervello. Anche ulteriori indagini con varie misurazioni esterne dell'attività neurale - come l'elettroencefalogramma - confermarono l'esistenza di un sistema di neuroni specchio nell'uomo. Ma dato che nessuna delle tecnologie usate fino a quel momento ci aveva consentito di identificare con esattezza le aree cerebrali che si attivano quando i volontari osservano gli atti motori, ricorremmo a tecniche di visualizzazione diretta dell'attività cerebrale.

Per questi esperimenti, condotti all'Ospedale San Raffaele di Milano, ci sia-

mentandolo direttamente, ci chiedevamo in quale misura l'obiettivo finale dell'atto fosse a sua volta un elemento di quella «comprensione».

La finalità dell'azione

Ritornando all'esempio di Marco e Anna, Marco sa che Anna sta cogliendo il fiore, ma sa anche che ha in mente di regalarglielo. Il sorriso di Anna gli ha dato un indizio contestuale della sua intenzione, e in questa situazione il fatto che Marco conosca l'obiettivo di Anna è fondamentale per la sua comprensione dell'azione di Anna: dargli il fiore è il completamento dei movimenti che costituiscono il suo atto.

Quando compiamo quel gesto in prima persona, in realtà stiamo eseguendo una serie di atti motori collegati, la cui sequenza è determinata dalla nostra intenzione: una serie di movimenti raccoglie il fiore e lo porta al naso per annusarlo, ma un insieme parzialmente diverso rac-

chio degli stessi neuroni di presa mentre la scimmia osservava un ricercatore che eseguiva i compiti che lei stessa aveva effettuato in precedenza (si veda il box a p. 57). In ciascun caso, la maggior parte dei neuroni specchio si attivava in modo differente, a seconda che il ricercatore si portasse il cibo alla bocca o lo mettesse nel contenitore. L'andamento della scarica dei neuroni corrispondeva esattamente a quello osservato quando la scimmia eseguiva direttamente gli atti: i neuroni specchio che si attivavano di più durante l'atto di «afferrare per portare alla bocca» anziché durante quello di «afferrare per mettere nel contenitore» si attivavano altrettanto intensamente quando la scimmia vedeva compiere la stessa azione.

Sembra quindi che vi sia uno stretto legame tra l'organizzazione motoria delle azioni intenzionali e la capacità di comprendere le intenzioni altrui. Quando le scimmie osservavano un'azione in un contesto specifico, vedere solo la componente di presa del movimento completo bastava ad attivare i neuroni specchio di una catena motoria che codificava anche una specifica intenzione. Quale catena si attivasse quando osservavano l'inizio di un'azione dipendeva da diversi fattori. Fra questi, la natura dell'oggetto su cui veniva esercitata l'azione, il contesto e il ricordo delle azioni compiute in precedenza dalla persona osservata.

Per capire se un meccanismo simile di lettura delle intenzioni esiste anche nell'uomo abbiamo collaborato con Marco Iacoboni e colleghi dell'Università della California a Los Angeles. Insieme, abbiamo svolto esperimenti su alcuni volontari, visualizzandone l'attività del cervello con la risonanza magnetica funzionale (fMRI).

Ai partecipanti ai test presentavamo un filmato con tre tipi di stimoli. Il primo gruppo di immagini mostrava una mano che afferrava una tazza su uno sfondo vuoto usando due prese differenti. Il secondo gruppo consisteva in due scene che mostravano piatti e posate; nella prima erano disposti come per l'apparecchiatura di un té pomeridiano ancora da consumare, nella seconda come se fossero rimasti lì da uno spuntino precedente, in attesa di essere sparecchiati. Il terzo gruppo di stimoli mostrava una mano che afferrava la tazza nel primo oppure nel secondo dei due contesti. I neuroni specchio umani



Quando si usa l'espressione «condivido il tuo dolore» non ci si rende conto di quanto possa essere letteralmente vera

mo serviti della tomografia a emissione di positroni (PET) per osservare l'attività neuronale nel cervello di volontari umani che assistevano ad azioni eseguite con differenti prese della mano e poi - come controllo - guardavano oggetti statici. In queste situazioni, vedere azioni eseguite da altri attivava tre principali aree della corteccia cerebrale. Una di queste, il solco temporale superiore (STS), contiene neuroni che rispondono a osservazioni di parti del corpo in movimento. Le altre due aree - il lobulo parietale inferiore (LPI) e il giro frontale inferiore (GFI) - corrispondono nelle scimmie, rispettivamente, al LPI e alla corteccia premotoria ventrale, che comprende l'area F5, dove in precedenza avevamo registrato i neuroni specchio.

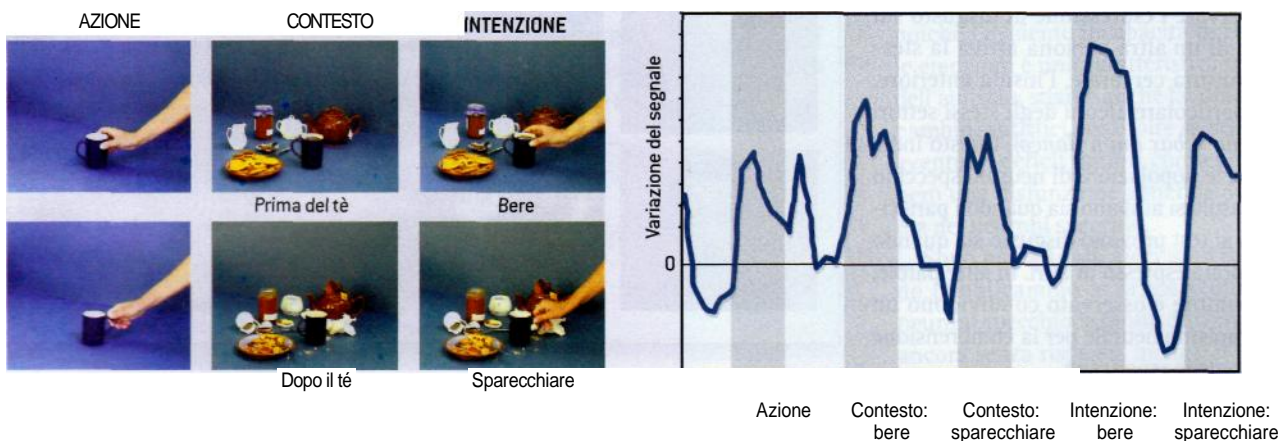
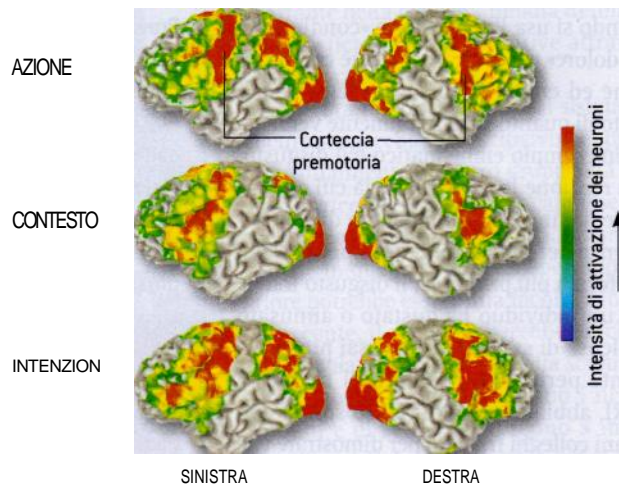
Questi risultati incoraggianti indicavano che anche nel cervello umano opera un meccanismo a specchio, ma senza spiegarne pienamente la portata. Se, per esempio, i neuroni specchio permettono di comprendere un atto osservato speri-

coglie il fiore e lo porge a qualcun altro. Volevamo quindi capire se i neuroni specchio ci permettono di capire l'intenzione distinguendo tra atti simili ma con finalità differenti.

Siamo perciò tornati alle nostre scimmie per analizzarne i neuroni parietali in condizioni diverse. In un set di esperimenti, il compito di una scimmia era afferrare un boccone di cibo e portarlo alla bocca. Successivamente la scimmia doveva prendere lo stesso boccone e metterlo in un contenitore. La scoperta interessante è stata che, durante la fase di presa dell'azione, la maggior parte dei neuroni di cui registravamo l'attività scaricava in modo differente a seconda della finalità del gesto. Questo indicava che il sistema motorio è organizzato in catene neuronali che codificano l'intenzione specifica dell'azione. Ci siamo quindi chiesti se questo meccanismo potesse spiegare il modo in cui comprendiamo le intenzioni altrui.

Abbiamo studiato le proprietà spec-

Capire le intenzioni altrui è fondamentale nel comportamento sociale umano; in un test per verificare il riconoscimento delle intenzioni, i neuroni specchio umani sembravano conferire tale capacità. I volontari assistevano a filmati che mostravano due azioni simili di presa di una tazza senza un contesto, due contesti ma senza azione, e combinazioni di azione e contesto, che segnalavano l'intenzione dell'azione: la disposizione delle stoviglie indicava che la tazza sarebbe stata afferrata per berne il contenuto, oppure che il pasto era finito e la tazza stava per essere tolta. L'attivazione dei neuroni specchio nella corteccia premotoria di entrambi gli emisferi (o destra) aumentava di più in risposta a scene di azione con un'intenzione chiara. I neuroni specchio distinguevano anche tra le possibili intenzioni, rispondendo più intensamente alla funzione biologica di base del bere che all'atto culturalmente acquisito di sparecchiare.



GLI AUTORI

GIACOMO RIZZOLATTI, LEONARDO ROGASSI e VITTORIO GALLESE lavorano all'Università di Parma, dove Rizzolatti è direttore del Dipartimento di neuroscienze, e Rogassi e Gallese sono professori ordinari. Nei primi anni novanta le loro ricerche sui sistemi motori del cervello dei macachi e dell'uomo hanno rivelato per la prima volta l'esistenza dei neuroni specchio.

avrebbero distinto tra afferrare la tazza per bere, come suggeriva il contesto pronto-per-il-tè, e afferrare la tazza per portarla via, come suggeriva il contesto pronto-per-sparecchiare?

I nostri risultati hanno dimostrato non solo che la distinzione c'era, ma anche che il sistema dei neuroni specchio rispondeva energicamente alla componente intenzionale di un atto. I volontari che osservavano i movimenti della mano nel contesto «bere» oppure in quello «sparecchiare» mostravano una diversa attivazione del sistema dei neuroni specchio. Inoltre l'attività del sistema era più intensa in entrambe le situazioni di quanto non lo fosse quando i soggetti osservavano la

mano afferrare la tazza senza un contesto, oppure quando guardavano solo la scena vuota (si veda il box qui sopra).

Poiché l'uomo e le scimmie sono specie sociali, è facile cogliere il potenziale vantaggio evolutivo di un meccanismo, basato sui neuroni specchio, che colleghi gli atti motori elementari a una più ampia rete semantica motoria, permettendo così la comprensione diretta e immediata del comportamento altrui senza ricorrere a meccanismi cognitivi complessi. Nella vita sociale, però, è altrettanto importante comprendere le emozioni dei propri simili. In realtà, spesso l'emozione è un elemento contestuale fondamentale, che segnala l'intenzione di un'azione. Per questa ra-

gione, noi e altri studiosi abbiamo voluto capire se i sistemi specchio consentono di capire ciò che sentono gli altri, oltre che ciò che fanno.

Capire le emozioni

Come per le azioni, è indubbio che l'uomo comprenda in più modi anche le emozioni. Osservare un'altra persona provare un'emozione può attivare l'elaborazione cognitiva di quella informazione sensoriale, che sfocia infine in una conclusione logica su ciò che quella persona sta provando. Ma l'osservazione può anche provocare una mappatura diretta di quell'informazione sensoriale nelle strutture motorie che generano la stessa emozione nell'osservatore.

Questi due modi di riconoscere le emozioni sono profondamente diversi: nel primo caso, l'osservatore deduce l'emozione, ma non la prova; nel secondo caso, il riconoscimento è di prima mano, poiché

il meccanismo a specchio induce nell'osservatore lo stesso stato emotivo. Perciò, quando si usa l'espressione «condivido il tuo dolore» per indicare insieme comprensione ed empatia, forse non ci si rende conto di quanto sia letteralmente vera.

Un esempio emblematico è il disgusto, una reazione fondamentale la cui espressione ha un importante valore di sopravvivenza per i membri di una specie. Nella sua forma più primitiva, il disgusto indica che un individuo ha gustato o annusato qualcosa di sgradevole, e assai probabilmente pericoloso. Usando di nuovo la fMRI, abbiamo condotto uno studio con alcuni colleghi francesi per dimostrare che provare una sensazione di disgusto dopo aver inalato sostanze odorose nauseanti e osservare l'espressione di disgusto sul volto di un'altra persona attiva la stessa struttura cerebrale, l'insula anteriore, e in particolare alcuni degli stessi settori (si veda il box qui a fianco). Questo indica che le popolazioni di neuroni specchio dell'insula si attivano sia quando i partecipanti al test provano disgusto sia quando lo vedono espresso in altri. In altre parole, osservatore e osservato condividono un meccanismo neurale per la comprensione diretta delle esperienze.

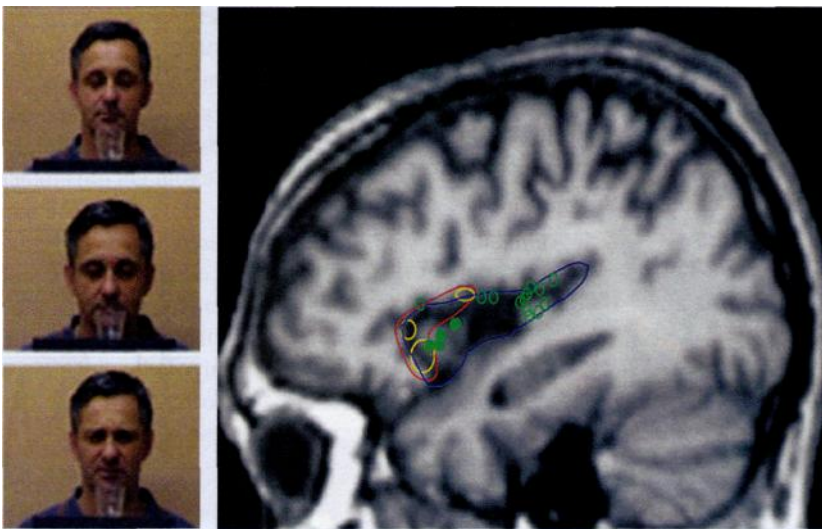
Tania Singer e colleghi dello University College di Londra hanno scoperto corrispondenze simili tra emozioni provate e osservate riferite al dolore. Nel loro esperimento, i partecipanti provavano un dolore causato da elettrodi applicati sulle mani e poi vedevano gli elettrodi applicati sulla mano del proprio partner sottoposto al test, seguito da un segnale di stimolazione dolorosa. Le due situazioni attivavano nei soggetti le stesse regioni dell'insula anteriore e della corteccia cingolata anteriore.

Nel complesso, questi dati implicano che l'uomo comprende le emozioni - o almeno emozioni che hanno un'intensa carica negativa - attraverso un meccanismo di mappatura diretta che coinvolge le parti del cervello da cui nascono le risposte motorie viscerali. Naturalmente, questo meccanismo a specchio per la comprensione delle emozioni non spiega ogni forma di intelligenza sociale, ma offre per la prima volta una base funzionale neurale per alcune delle relazioni interpersonali su cui si costruiscono comportamenti sociali più complessi. Per esempio potrebbe essere un substrato che ci consente di em-

LO SPECCHIO DELLE EMOZIONI

Provare una sensazione di disgusto attiva parti simili del cervello sia quando volontari umani provano l'emozione mentre percepiscono un odore nauseante sia quando osservano il filmato [in basso a sinistra] di una persona che prova disgusto.

Nell'immagine del cervello del soggetto in basso, le popolazioni di neuroni attivate dall'esperienza del disgusto sono cerchiare in rosso, mentre quelle attivate dalla visione del disgusto sono cerchiare in giallo. (La linea blu circonda la regione studiata, mentre quelle verdi indicano le aree esaminate in uno studio precedente.) Questi gruppi di neuroni sovrapposti potrebbero costituire un meccanismo fisico neurale dell'empatia umana che consente di comprendere le emozioni altrui.



patizzare con il prossimo. Le disfunzioni di questo sistema a specchio potrebbero essere implicate nei deficit dell'empatia, come quelli che osserviamo nei bambini autistici (si veda l'articolo *Specchi infranti: una teoria dell'autismo*, di V.S. Ramachandran e L.M. Oberman, a p. 62).

Molti laboratori, tra i quali il nostro, continuano a esplorare questi temi, sia per il loro interesse intrinseco sia per le possibili applicazioni terapeutiche. Se, per esempio, il modello di un'azione motoria nei neuroni specchio fosse parzialmente inscritto nel cervello dall'esperienza, allora in teoria si potrebbero alleviare deficit motori come quelli causati da un ictus potenziando modelli di azione non lesionati. In effetti recenti ricerche indicano che il meccanismo a specchio ha un ruolo anche nell'apprendimento di nuove abilità.

Imitare per imparare

Benché il verbo «scimmiettare» sia spesso usato per denotare l'imitazione, in realtà questa non è una facoltà particolarmente sviluppata nei primati non

umani: è rara nelle scimmie, e limitata nelle antropomorfe, inclusi scimpanzè e gorilla. Viceversa, negli esseri umani l'imitazione è un mezzo molto importante per imparare e trasmettere le abilità, il linguaggio e la cultura. Questo vantaggio sui nostri cugini primati si è forse evoluto sul substrato neurale del sistema dei neuroni specchio? Iacoboni e il suo gruppo di ricerca hanno fornito la prima prova in questo senso osservando con la tecnica dell'fMRI volontari umani che guardavano e imitavano movimenti delle dita. Entrambe le attività stimolavano il GFI, una parte del sistema dei neuroni specchio, in particolare quando il movimento aveva una finalità precisa.

In tutti quegli esperimenti, tuttavia, i movimenti da imitare erano semplici e ben acquisiti. Quale ruolo potrebbero svolgere i neuroni specchio quando dobbiamo imparare per imitazione atti motori complessi e completamente nuovi? Per rispondere a questo interrogativo, Giovanni Buccino, del nostro Dipartimento, insieme a collaboratori tedeschi, ha studiato con la fMRI i partecipanti a un test

che imitavano degli accordi alla chitarra



L'IMITAZIONE PREVEDE LA RIPRODUZIONE DI UN'AZIONE ESEGUITA DA UN'ALTRA PERSONA. Se i neuroni specchio sono alla base della facoltà squisitamente umana di imitare, il sistema specchio potrebbe essere un ponte che ci permette di insegnare e di acquisire nuove capacità.

// meccanismo a specchio induce nell'osservatore lo stesso stato emotivo della persona osservata

dopo averli visti eseguire da un musicista esperto. Quando i soggetti osservavano l'esperto, si attivava il sistema di neuroni specchio della loro corteccia parieto-frontale. La stessa area si attivava ancora più intensamente quando imitavano i movimenti degli accordi.

È interessante notare che nell'intervallo successivo all'osservazione, quando i partecipanti stavano programmando la propria imitazione degli accordi alla chitarra, si attivava un'ulteriore regione del cervello. Conosciuta come area prefrontale 46, essa è tradizionalmente associata alla

pianificazione motoria e alla memoria di lavoro, e dunque potrebbe essere centrale nel mettere assieme adeguatamente gli atti motori elementari dell'azione che il soggetto si accinge a imitare.

Da tempo, molti aspetti dell'imitazione lasciano perplessi i neuroscienziati, compresa la questione fondamentale di come faccia il cervello ad appropriarsi dell'informazione visiva e a tradurla in modo da poterla riprodurre in termini motori. Se in questo processo il sistema dei neuroni specchio svolge una funzione di collegamento, allora - oltre a permetterci di capire le azioni, le intenzioni e le emo-

zioni del prossimo - esso potrebbe essersi evoluto fino a divenire un elemento importante della capacità umana di imparare sofisticate abilità cognitive attraverso l'osservazione.

Ancora non sappiamo se il sistema dei neuroni specchio sia esclusivo dei primati. Attualmente il nostro gruppo sta svolgendo ricerche sui ratti per capire se le risposte dei neuroni specchio siano presenti anche in quella specie. Lo specchio interiore potrebbe essere una facoltà evolutasi di recente, il che spiegherebbe perché sia più ampia nell'uomo che nella scimmia.

Comunque, poiché persino i neonati umani e di scimmia riescono a imitare gesti semplici, come mostrare la lingua, la capacità di creare modelli speculari di azioni osservate sembra essere innata. E poiché l'evidente incapacità di riflettere le emozioni è una caratteristica specifica dell'autismo, stiamo anche lavorando con bambini autistici per capire se presentino eventuali deficit motori che segnalerebbero una disfunzione generale del sistema dei neuroni specchio.

Sono passati solo dieci anni da quando pubblicammo le prime scoperte sui neuroni specchio, e molte domande sono ancora senza risposta, incluso il possibile ruolo del sistema dei neuroni specchio nel linguaggio, una delle facoltà cognitive più sofisticate degli esseri umani.

Il sistema umano dei neuroni specchio comprende l'area di Broca, un centro corticale essenziale per il linguaggio. Se, come credono alcuni linguisti, la comunicazione umana ha avuto origine dai gesti e dalle espressioni del volto, allora i neuroni specchio avrebbero avuto un ruolo importante nell'evoluzione del linguaggio. In effetti, il meccanismo a specchio risolve due problemi di comunicazione fondamentali: la parità e la comprensione diretta. La parità esige che il significato del messaggio sia lo stesso per il parlante e per il ricevente. La comprensione diretta significa che due individui non hanno bisogno di precedenti accordi - per esempio su simboli arbitrari - per potersi comprendere tra loro: l'accordo è inerente all'organizzazione neurale di tutti e due.

Gli specchi interiori potrebbero dunque essere ciò che ha permesso a Marco e Anna di comprendersi senza parole, e che consente agli esseri umani in generale di comunicare su più livelli.

PER APPROFONDIRE

GALLESE V. e altri, *Action Recognition in the Premotor Cortex*, in «Brain», Voi. 119, n. 2, pp. 593-609, aprile 1996.

GALLESE V. e altri, *A Unifying View of the Basis of Social Cognition*, in «Trends in Cognitive Sciences», Voi. 8, pp. 396-403, 2004.

ROGASSI L. e altri, *Portals: From Action Organization to Intention Understanding*, in «Science», Voi. 302, pp. 662-667, 29 aprile 2005.

IACOBONI M. e altri, *Grasping the Intentions of Others with One's Own Mirror Neuron System*, in «PLoS Biology», Voi. 3, n. 3, pp. 529-535, marzo 2005.