

Entrano in funzione anche per il tatto di qualcosa di gradevole, e con sostanze placebo, analgesici e oppiacei. Non a caso sulla superficie di queste cellule si trova un'altissima densità di recettori per questi composti.

CAPITOLO SETTIMO

Autismo e neuroni specchio

L'autismo è un disordine dello sviluppo caratterizzato da disturbi nelle interazioni sociali e nella comunicazione, nonché da comportamenti limitati e ripetitivi. Si preferisce oggi parlare di disturbi dello spettro autistico, invece che di autismo, per indicare l'estrema varietà ed eterogeneità dei sintomi e dei problemi neurologici che i pazienti presentano.

I bambini autistici tendono a stare per conto proprio e non cercano di comunicare con gli altri. Hanno difficoltà a rendersi conto che le altre persone hanno emozioni e a capirle quando le manifestano. A volte hanno capacità verbali limitate, la loro conversazione è difficoltosa e in molti casi manifestano un interesse ossessivo nei confronti di un tema, un'attività o un gesto ripetuto; a volte sono ipersensibili al contatto e ai suoni. Si tratta di comportamenti molto invalidanti che non permettono a queste persone di stabilire relazioni socia-

li normali nella famiglia, a scuola, con gli amici e nell'ambiente di lavoro.

Come detto sopra, oggi si preferisce parlare di spettro autistico invece che di autismo in quanto pur avendo tutte le persone affette da autismo i sintomi cardine citati prima, alcuni hanno intelligenza normale o anche superiore alla media (e sono definiti *high functioning*), altri hanno quozienti di intelligenza inferiori alla media (e sono definiti *low functioning*). In circa il 25% dei casi i bambini con autismo presentano fenomeni epilettici, che peggiorano fortemente il loro stato cognitivo.

In questi ultimi anni è stato messo in evidenza che la grande maggioranza dei bambini con autismo presenta disturbi motori di vario genere, che vanno da deficit della postura e dei movimenti grossolani a rigidità nei movimenti fini delle dita. Questa eterogeneità sintomatologica rende impossibile indicare una terapia unica per i vari soggetti. La cura quindi deve variare a secondo dei sintomi ed essere personalizzata.

La scoperta dell'autismo

La prima descrizione di autismo come malattia specifica e a sé stante risale agli anni Quaranta del secolo scorso, quando lo psichiatra Leo Kanner e il pediatra Hans Asperger osservarono indipendentemente in alcuni pazienti un complesso di sintomi caratteristico e diverso da quello osservato in altre forme di deficit dello sviluppo cognitivo. I due me-

dici – entrambi austriaci e ignari l'uno del lavoro dell'altro – scelsero per questa patologia lo stesso nome, che deriva dal greco *autós* («sé» in italiano). Un nome che si è rivelato particolarmente azzeccato, dal momento che una delle caratteristiche più evidenti e tipiche della malattia è il richiudersi in sé, ritirandosi dalle interazioni sociali.

Pur avendo lavorato indipendentemente e più o meno nello stesso periodo, Kanner e Asperger non avrebbero potuto essere più diversi. Emigrato dalla Germania negli Stati Uniti negli anni Venti, Kanner si è distinto per il suo attivismo a favore dei bambini con deficit cognitivi e nel periodo che ha preceduto la Seconda guerra mondiale ha contribuito a salvare molti medici ebrei, aiutandoli a scappare dall'Europa nazista e a trovare rifugio al di là dell'oceano Atlantico. Asperger, invece, ha cooperato con il regime nazista, legittimando pubblicamente le politiche di «igiene razziale» che comprendevano la sterilizzazione forzata di persone con problemi mentali e il programma di eutanasia con cui venivano selezionati i bambini a sviluppo normale e uccisi i bambini con questo tipo di problemi.

Numeri e cause dell'autismo

L'autismo colpisce più i maschi che le femmine, e il numero dei casi, non sempre facile da stimare, varia molto da Paese a Paese. Per esempio, negli Stati Uniti colpisce circa 7 bambini su mille, men-

tre in Italia la percentuale è molto più bassa: circa 6 bambini su diecimila. Le cause di queste differenze non sono chiare, ma è probabile che almeno in parte siano dovute ai criteri che i medici adottano nel fare diagnosi.

PubMed è il nome della più grande biblioteca medico-biologica virtuale esistente al mondo, e sul suo sito (www.pubmed.org) è possibile consultare quasi tutti gli articoli, in particolare quelli scritti in inglese, che riguardano la sfera della salute umana pubblicati a partire dal 1950. È uno strumento molto utile a medici e ricercatori, ma anche a chiunque voglia trovare informazioni di prima mano in questo settore, e la sua preziosa esistenza è dovuta ai National Institutes of Health americani, che ne sostengono i costi di gestione.

Se inseriamo nel motore di ricerca di PubMed il termine inglese *autism*, troviamo più di 40000 articoli: riportano i risultati di tanti studi e ricerche che hanno tentato di individuare le cause e le possibili cure di questa patologia. Grazie a questi sforzi è stata provata una predisposizione ereditaria alla malattia: si sono individuati alcuni possibili fattori di rischio ambientale e si è stabilito che non c'è alcuna dimostrazione che i vaccini siano all'origine dell'autismo (l'ipotesi, fallace, è nata da una frode scientifica compiuta da Andrew Wakefield, un ex medico inglese, radiato nel 2010 dall'ordine britannico dei medici). Nonostante i moltissimi studi, le cause dell'autismo restano ancora in gran parte sconosciute.

Leggere nella mente degli altri

Simon Baron-Cohen, attualmente all'Università di Cambridge, Uta Frith, dell'University College di Londra, e Alan Leslie, che lavora alla Rutgers University nel New Jersey, sono tre psicologi che hanno studiato a lungo l'autismo. Negli anni Ottanta, mentre lavoravano insieme a Londra, giunsero alla conclusione che una delle maggiori anomalie degli individui autistici è l'incapacità di costruire una «teoria della mente degli altri». Secondo questa supposizione, nel nostro cervello esistono circuiti che ci permettono di formulare ipotesi sul funzionamento del cervello altrui, grazie alle quali possiamo fare previsioni sul comportamento degli altri. Si tratta di una congettura interessante, che non spiega però quali siano i meccanismi neurologici coinvolti.

In seguito alla scoperta dei meccanismi specchio, alcuni ricercatori si sono chiesti se certe anomalie dell'interazione sociale, come pure l'incapacità di costruire una teoria della mente, degli individui autistici non fossero dovute a un malfunzionamento dei neuroni specchio. E hanno iniziato a pensare a come si potesse verificare quest'ipotesi.

Vilayanur Ramachandran, un neurologo americano di origine indiana e i suoi collaboratori all'Università della California a San Diego, hanno progettato un esperimento ingegnoso ed elegante, basato sull'analisi dell'elettroencefalogramma (EEG) dei bambini affetti da autismo. Nelle persone non affette da autismo l'EEG a riposo presenta

un ritmo caratteristico, chiamato *ritmo mu*, che riflette l'attività motoria del cervello. Questo ritmo si blocca (in termini tecnici, si *desincronizza*) sia quando la persona compie un movimento volontario, come aprire o chiudere la mano, sia quando osserva qualcun altro fare il medesimo movimento. La desincronizzazione delle onde mu durante l'osservazione delle azioni degli altri è dovuta all'attivazione dei neuroni specchio, quindi questo test è un modo semplice e non invasivo per saggiare la funzionalità di tali neuroni. Se le onde mu si bloccano significa che i neuroni specchio funzionano, se invece non si bloccano, allora i neuroni specchio non funzionano o funzionano male.

Ramachandran e i suoi collaboratori hanno paragonato l'elettroencefalogramma di dieci bambini colpiti da autismo a quello di un gruppo di controllo di dieci bambini sani; si usa chiamare i bambini senza disturbi cognitivi, bambini a sviluppo tipico. La registrazione dell'attività elettrica è avvenuta in due fasi: nella prima i bambini hanno eseguito alcuni movimenti con le mani, mentre nella seconda hanno osservato un filmato in cui gli stessi movimenti erano eseguiti da un'altra persona. Nella prima fase gli EEG dei due gruppi non mostravano differenze sostanziali: durante i movimenti volontari le onde mu risultavano bloccate sia nei soggetti a sviluppo tipico, sia nei bambini con autismo, e quindi i neuroni specchio si attivavano normalmente. Invece nella seconda fase dell'esperimento, quella di osservazione dei movimenti altrui, le onde mu erano bloccate soltanto nei bambini a svi-

luppo tipico, ma non in quelli autistici. I risultati hanno mostrato quindi che negli individui affetti da autismo c'è un deficit del sistema dei neuroni specchio.

La disfunzionalità dei neuroni specchio negli individui autistici ha trovato successivamente diverse conferme grazie ad analisi eseguite con altri metodi in varie parti del mondo: da Riitta Hari all'Università di Aalto, in Finlandia, con la magnetoencefalografia, una tecnica che misura i campi magnetici prodotti dalle correnti elettriche del cervello; all'Università di Montréal con la stimolazione magnetica transcranica; da Marco Iacoboni e altri colleghi all'Università della California a Los Angeles con la risonanza magnetica funzionale.

Sonia Boria, una ricercatrice del gruppo di Giacomo Rizzolatti, e i suoi collaboratori hanno confrontato la capacità dei bambini con autismo e dei bambini a sviluppo tipico di comprendere lo scopo di un'azione e l'intenzione sottostante. L'esperimento consisteva nel mostrare ai bambini delle immagini in cui si vedeva la mano di un attore che prendeva un oggetto. La presa poteva essere congruente con l'uso tipico dell'oggetto o suggerire che l'oggetto fosse preso per essere spostato. Sia i bambini con autismo sia quelli a sviluppo tipico non avevano difficoltà a comprendere lo scopo immediato dell'azione (il *cosa* l'attore faceva). Vi era invece una chiara differenza tra bambini con autismo e bambini a sviluppo tipico nel capire lo scopo finale dell'azione (il *perché*, cioè, l'attore faceva quell'azione). I bambini a sviluppo tipico non ave-

vano difficoltà a decidere se l'oggetto era preso per essere usato o per essere spostato, in base a come l'oggetto era preso. I bambini con autismo invece rispondevano basandosi sulla semantica dell'oggetto (cioè coltello = per tagliare) e ignoravano l'aspetto motorio del tipo di prensione con cui la mano dell'attore afferrava l'oggetto. Il comportamento altrui non era quindi compreso dai bambini con autismo automaticamente, in base alla maniera con cui l'altro agiva, ma era ogni volta una specie di enigma che poteva venire risolto solo con uno sforzo della ragione.

Un altro deficit nel comportamento dei bambini autistici consiste nella difficoltà sia di programmare i propri atti motori nell'ambito di un'azione, sia di capire che cosa farà l'altro. Luigi Cattaneo, attualmente all'Università di Verona, e lo stesso gruppo di ricercatori di Parma dell'esperimento di Sonia Boria, hanno registrato l'elettromiogramma del muscolo miloioideo, un muscolo che si attiva per aprire la bocca, in un gruppo di bambini con autismo e in un gruppo di bambini a sviluppo tipico. Nella prima parte dell'esperimento era studiata la programmazione motoria. I bambini dovevano prendere un pezzettino di cibo e portarlo alla bocca, oppure prendere un pezzettino di carta e metterlo in un contenitore posto sulla loro spalla. Nel caso del portare alla bocca i bambini a sviluppo tipico mostravano un'attivazione del muscolo miloioideo non appena il bambino prendeva il cibo con la mano. Vi era quindi un'anticipazione del movimento di apertura della bocca, utile per una

sequenza fluida dell'azione prendere-per-mangiare. Questo non avveniva nei bambini con autismo. In questi bambini la bocca si apriva solo quando il cibo era vicinissimo alla bocca. Nella situazione di controllo, quella fatta con il pezzettino di carta, il muscolo miloioideo non si attivava ovviamente in nessun bambino.

Nella seconda parte dell'esperimento sia i bambini con autismo sia quelli a sviluppo tipico osservavano lo sperimentatore fare le azioni descritte sopra. La differenza tra i due gruppi risultò essere drammatica. Nei bambini con sviluppo tipico il muscolo miloioideo si attivava non appena vedevano lo sperimentatore afferrare il cibo con la mano. Rispecchiavano quindi in loro stessi l'azione dell'altro. I bambini con autismo non mostravano invece nessuna attivazione del miloioideo, come se non avessero visto l'azione dello sperimentatore.

Queste scoperte possono aprire nuove possibilità di diagnosi e terapia dell'autismo?

Abbiamo visto all'inizio di questo capitolo che l'autismo è una malattia complessa e molto eterogenea. Parlare di causa unica e cura unica per i bambini autistici *high functioning* e *low functioning* non ha molto senso. Lo studio dei neuroni specchio nell'autismo ha permesso però di metter l'accento sugli aspetti motori e affettivi della sindrome. Il vantaggio di questo progresso, rispetto alle spiegazioni cognitive (teoria della mente)

che dominavano alla fine degli anni Novanta, è che permette o almeno dà strumenti per una diagnosi precoce dell'autismo. Infatti oggi vi è accordo che le possibilità terapeutiche sono soprattutto legate alla tempestività della diagnosi e alla possibilità di cominciare precocemente le terapie. Per esempio, Sally Rogers, dell'Università della California a Davis, ha studiato l'effetto di stimoli affettivi precoci somministrati a bambini entro i 2-3 anni di vita e ha dimostrato che la finestra temporale più efficace per la terapia è fra gli 8 e i 12 mesi. Le cure perdono invece di efficacia quanto più è ritardato il loro inizio. Questi dati sono a favore del fatto che vi sia un "periodo critico" in cui il meccanismo specchio si sviluppa accanto al sistema motorio. Se si applicano stimoli sociali e affettivi in età precoce, il meccanismo specchio recupera e si sviluppa in maniera normale o quasi, altrimenti resta deficitario per tutta la vita.

CAPITOLO OTTAVO

Scimmiottando s'impara?

Provate a chiedere in giro se è vero che le scimmie scimmiottano. Vi sentirete rispondere che sì, lo sanno tutti che le scimmie sono ottime imitatrici di gesti ed espressioni altrui. Del resto, il fatto che esista la parola «scimmiottare» vorrà pur dire qualcosa! Né siamo i soli al mondo ad avere inventato una parola per descrivere questa caratteristica che attribuiamo alle scimmie: i francesi dicono *singer*, gli inglesi *to ape*, e in altre lingue esistono espressioni simili. Quindi, se facessimo lo stesso sondaggio in tutto il mondo, otterremmo un vasto coro di «sì» convinti e decisi.

Eppure non è vero: Elisabetta Visalberghi e Dorothy Fragaszy, che hanno studiato il comportamento delle scimmie, rispettivamente a Roma, presso l'Istituto di Scienze e tecnologie della cognizione del CNR, e negli Stati Uniti, all'Università della Georgia, con osservazioni precise e accura-

Inoltre hanno osservato che le attivazioni erano maggiori quando un maschio osservava ballare un maschio, e una femmina, una femmina. Ciò indica che l'attivazione corticale non dipende da un'esperienza visiva, ma dall'osservazione di gesti presenti nel proprio modello interno, attivati da quelli del compagno di ballo dello stesso sesso.

I risultati di questo studio ci dicono che molti movimenti, specialmente se difficili e sofisticati come quelli della danza, si imparano sì per imitazione, ma non basta. Per arrivare ai massimi livelli, il movimento imparato va internalizzato, memorizzato e fatto proprio: bisogna potere avere un modello interno del movimento da fare nella propria testa per poterlo riprodurre. Quando i ballerini osservano altri ballerini compiere movimenti che conoscono, i neuroni specchio si attivano riproducendo nelle aree con proprietà specchio il movimento osservato, ripescato dal repertorio di azioni perfezionate e archiviate nel tempo.

CAPITOLO NONO

Capisco dove sei

Come facciamo a sapere dove ci troviamo? E per andare da qui a lì, che cosa fa il cervello? I ratti possiedono un meccanismo di posizionamento che funziona come una sorta di GPS interno. Lo hanno scoperto John O'Keefe, dell'University College di Londra, ed Edvard Moser con May Britt, alla University of Science and Technology a Trondheim, in Norvegia, in ricerche durate quarant'anni circa. La funzione è collocata in alcuni neuroni dell'ippocampo, che sono stati denominati cellule *di posizione*, e della corteccia entorinale, chiamati cellule *griglia*. Più precisamente, le cellule di posizione aiutano i ratti a formare una mappa mentale del luogo in cui si trovano e a memorizzarla: il ricordo di un determinato ambiente può essere immagazzinato in una specifica combinazione di cellule nell'ippocampo. Le cellule griglia generano invece le coordinate della posizione attuale e il percorso da

seguire per raggiungere un altro punto dello spazio. L'Accademia svedese delle scienze ha riconosciuto l'importanza di queste scoperte con il premio Nobel per la fisiologia o la medicina nel 2014.

È probabile che un sistema simile sia all'opera anche negli esseri umani. Osservazioni recenti con tecniche di imaging del cervello e studi di pazienti sottoposti a interventi neurochirurgici suggeriscono che anche noi possediamo cellule di posizione e cellule griglia. Si tratta di cellule che sono distrutte precocemente in molti pazienti con la malattia di Alzheimer, che anche per questo si perdono e non riconoscono l'ambiente in cui si trovano.

Avere idea di dove siamo e sapere come raggiungere un altro luogo sono abilità fondamentali per la nostra esistenza, al punto che sono considerate una sorta di senso in sé: il senso della posizione, che ci dà la percezione di dove siamo collocati nell'ambiente, e il senso della distanza, che è basato sul movimento e sulla memoria delle posizioni precedenti.

La posizione degli altri nello spazio

Pensate a un calciatore: le posizioni sul campo dei compagni di squadra e degli avversari sono continuamente presenti e aggiornate nella sua mente. A parte per pochi eremiti, questo vale non solo per gli atleti, ma per chiunque cammini per strada, passeggi in un parco, balli a una festa. Ogni persona che si muove nello spazio è continuamente

consapevole delle posizioni e delle traiettorie degli altri che si trovano nelle vicinanze.

Nel 2018 Shigeyoshi Fujisawa e altri colleghi al Riken Center for Brain Science in Giappone hanno scoperto che alcuni neuroni dell'ippocampo dei ratti riflettono la posizione di altri ratti rispetto alla propria. I ricercatori hanno misurato l'attività dei neuroni dell'ippocampo di un ratto (il sé) mentre questo guardava un altro ratto (l'altro) muoversi in un semplice labirinto a T. I neuroni del sé hanno registrato ciò che faceva l'altro, aggiornando frequentemente l'informazione in base ai cambiamenti della posizione del sé e alla posizione presente, passata e futura dell'altro. I ricercatori hanno anche notato che le cellule di posizione e quelle di griglia sono molto sensibili ai cambiamenti dei punti di riferimento e al contesto.

Le cellule che tengono traccia dei movimenti e delle traiettorie degli altri individui si trovano nella stessa area del cervello del ratto che tiene in memoria la posizione di sé. A volte le stesse cellule si attivano sia per la posizione di sé sia per i movimenti altrui, con un meccanismo assai simile al sistema specchio. Del resto i ratti sono come noi animali sociali: sapere dove uno si trova rispetto agli altri è una condizione indispensabile a sopravvivere.

Questa ricerca ha arricchito la mappa cognitiva dell'ippocampo del ratto di un'informazione cruciale: non solo la posizione del sé, ma anche la traccia delle posizioni altrui, sono necessarie a comprendere l'ambiente spaziale circostante e a organizzare il comportamento sociale.

Non solo ratti, anche pipistrelli

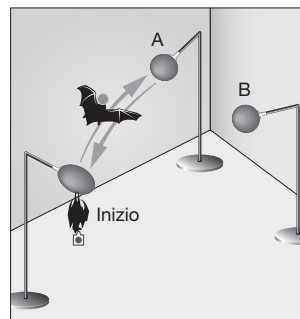
I pipistrelli sono abilissimi navigatori, sempre al corrente degli altri pipistrelli presenti nel loro ambiente.

David Omer, Nachum Ulanovsky e i loro colleghi hanno studiato le cellule di posizione dei pipistrelli egiziani della frutta (*Rousettus aegyptiacus*). In particolare, hanno lavorato in un laboratorio costruito appositamente, con due pipistrelli, un dimostratore e un osservatore.

Le coppie di pipistrelli sono state addestrate in questo modo: in ogni esperimento un pipistrello (l'osservatore) doveva rimanere fermo su una "palla di partenza" e osservare e ricordare la traiettoria dell'altro pipistrello (il dimostratore), che stava volando più o meno a caso verso una di due palle di atterraggio. Dopo un intervallo di circa 13 secondi il pipistrello osservatore doveva imitare il pipistrello dimostratore e volare sulla stessa palla di atterraggio per ricevere una ricompensa. L'osservatore doveva fare attenzione alla posizione e alla traiettoria del dimostratore e tenere in memoria tali dati durante l'intervallo (figura 18).

Per scoprire che cosa stava accadendo nel cervello dei pipistrelli, ogni pipistrello era dotato di un dispositivo di registrazione dell'attività neuronale, simile in principio a quello usato nei macachi e nei pazienti, ma anche in grado di trasmettere i dati in modalità wireless. Gli elettrodi di questo apparecchio miniaturizzato hanno consentito ai ricercatori di registrare l'attività di circa 400 neuroni dell'ippo-

Volo del pipistrello dimostratore



Volo del pipistrello osservatore

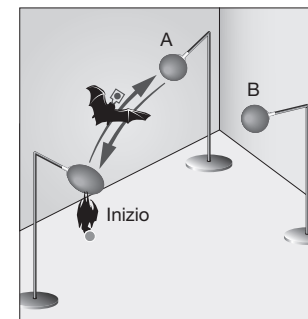


Figura 18. In alto, lo schema della traiettoria dei voli dei pipistrelli della frutta, dimostratore a sinistra e osservatore a destra. In basso, un esemplare di pipistrello della frutta (Foto: Yossi Yovel, Nachum Ulanovsky, Weizmann Institute of Science).

campo. I piccoli elettrodi e i dispositivi di registrazione, sviluppati da Ulanovsky e dal suo gruppo, non interferivano in alcun modo con le attività motorie dei pipistrelli.

Ecco i risultati: quando il pipistrello osservatore volava da solo, i suoi neuroni di posizione erano attivi. Quando restava immobile a osservare il volo del pipistrello dimostratore, il 18% dei suoi neuroni di posizione si attivava nonostante fosse fermo, segnalando la posizione e direzione del dimostratore, e circa la metà di essi erano gli stessi che rappresentavano anche la posizione dell'osservatore stesso (neuroni di tipo specchio). Si trattava di cellule di posizione poiché non registravano né il movimento dell'osservatore né la pianificazione della traiettoria.

In esperimenti di controllo i ricercatori hanno voluto verificare che le attivazioni non avvenissero per qualunque oggetto in movimento. Così hanno mostrato ai pipistrelli osservatori palle o dadi che percorrevano gli stessi percorsi dei dimostratori negli esperimenti precedenti. Anche gli oggetti erano registrati nell'ippocampo, ma con una chiara distinzione tra le cellule attivate in questo caso e quelle attivate in risposta ad altri pipistrelli. Un'analisi anatomica e funzionale di queste cellule ha mostrato una separazione spaziale tra le aree dell'ippocampo che si attivano per gli oggetti e quelle che si attivano per altri animali.

Per i ricercatori l'ostacolo maggiore è stato evitare che i due pipistrelli volassero insieme: un problema che è stato superato selezionando i maschi

alfa del gruppo di pipistrelli come dimostratori, in modo che gli osservatori li rispettassero tenendo la distanza temporale fra i rispettivi voli.

I neuroni attivati in questi esperimenti sembrano avere un ruolo nella conoscenza socio-spaziale: il cervello dell'osservatore codifica il tempo e la velocità di ciascun volo del dimostratore, e quindi rappresenta esplicitamente la posizione spaziale dell'altro pipistrello. Simili ai neuroni specchio, possono essere usati per rappresentare la posizione spaziale sia di sé sia degli altri.

I risultati di questi esperimenti ci dicono che il cervello del pipistrello crea una mappa cognitiva spaziale e sociale: accanto alla propria posizione nell'ambiente, la mappa comprende le posizioni dei conspecifici che si trovano nei dintorni.

I neuroni specchio sono presenti in molte specie: perché?

Il meccanismo specchio è stato trovato finora nei macachi, negli esseri umani, nelle marmosette, nei ratti e nei pipistrelli. Poiché in natura esistono molte altre specie con comportamenti sociali, è verosimile che siano dotate di neuroni dalle capacità simili.

Nel corso dell'evoluzione, questi neuroni potrebbero essersi affermati per il vantaggio offerto nelle esplorazioni di gruppo, nella caccia, nell'apprendimento delle gerarchie sociali o nel corteggiamento. Potrebbero essere rilevanti anche per conoscere la posizione spaziale di prede e predatori, ovvero di animali di altre specie.

Restano alcune domande aperte. I gruppi di animali sociali sono spesso numerosi: come fa il cervello a rappresentare e distinguere le posizioni di più di un individuo? Vi è una diversa rappresentazione per gli individui dominanti e per i subordinati, o per i maschi e per le femmine, o ancora per genitori e figli?

Terminiamo il capitolo con una considerazione geometrico-filosofica. Lo spazio attorno a noi, chi lo abita, chi ci passa più o meno per caso, sono elementi che il nostro cervello deve conoscere. Il matematico francese Henri Poincaré dava una grande importanza all'esperienza e al fatto che la geometria euclidea dipendesse dai dati che i sensi ci trasmettono sullo spazio. Solo perché siamo dotati della capacità di muoverci siamo anche in grado di acquisire la nozione di spazio, che non è quindi un «a priori» astratto, come voleva Kant.

CAPITOLO DECIMO

Comunicazione e linguaggio

La comunicazione è un processo di scambio di informazioni fra individui tramite un meccanismo condiviso, per esempio il linguaggio verbale, tipico degli esseri umani. Il linguaggio verbale non è però l'unica possibilità che abbiamo per scambiarcì informazioni in modo naturale. Possiamo comunicare anche tramite gesti, posture, espressioni facciali, contatti oculari e movimenti della testa e del corpo.

Il linguaggio verbale umano è stato considerato per lungo tempo come l'unica forma di comunicazione dotata di una grammatica e di una sintassi, e dunque la sola capace di organizzare lo scambio secondo regole e strutture codificate. Ancora oggi non tutti si rassegnano al fatto che altre forme di comunicazione possano essere altrettanto complesse e sofisticate, come è stato dimostrato dagli studi di Ursula Bellugi.