

La nostra capacità di orientarci nello spazio dipende dal cervello. Grazie a un meccanismo che in parte è ancora misterioso



La bussola

Nonostante il sonno, se ci svegliamo di notte siamo capaci di trovare la strada dal letto verso il bagno. E potremmo dire la stessa cosa per il percorso, al mattino, da casa al lavoro: nessun problema. A stento registriamo nella mente l'enorme lavoro che si cela in questo compito all'apparenza semplice: quando un cantiere stradale blocca inaspettatamente l'itinerario consueto, cerchiamo coscientemente vie alternative.

In realtà il ruolo dell'orientamento spaziale nella vita quotidiana si manifesta soltanto quando questa abilità viene ostacolata. Le persone in uno stadio avanzato della malattia di Alzheimer, infatti, hanno quasi totalmente perduto la capacità di ritrovare una meta che prima era loro familiare.

L'orientamento nello spazio sembra essere un prodotto ancestrale dell'evoluzione. Come tutti gli organismi mobili – uomini, formiche, rondini, pesci rossi – anche noi dobbiamo rispondere a tre domande: dove sono? Dove voglio andare? Come ci arrivo?

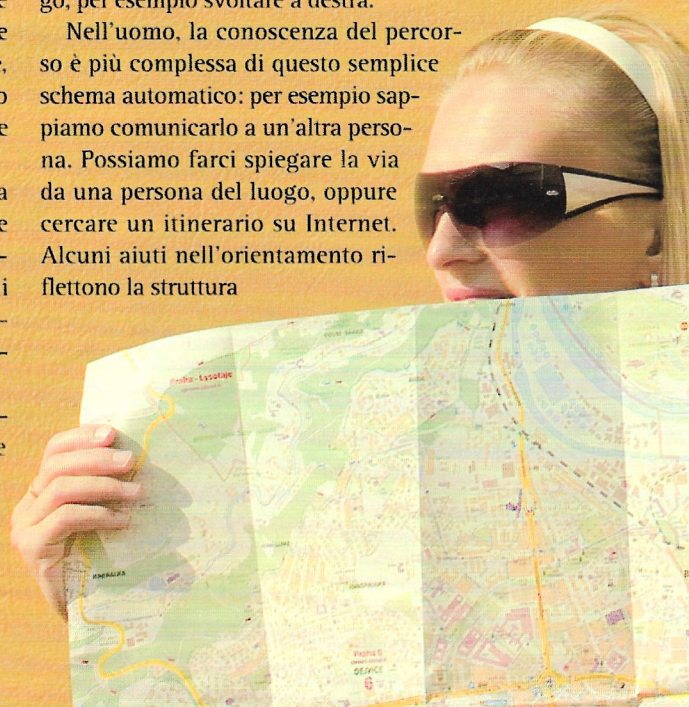
La prima si presenta di rado nella vita quotidiana, perché di solito sappiamo bene dove ci troviamo grazie alla presenza di punti di riferimento affidabili. In questo caso gli scienziati parlano di autolocalizzazione o – se abbiamo temporaneamente perso l'orientamento – di riorientamento.

Per stabilire l'itinerario e la meta dobbiamo attingere alla conoscenza della mappa e a quella della strada. In quest'ultimo caso io so, per esempio, che alla prossima via dovrò svoltare a sinistra, e poi, superato

il municipio, a destra e al secondo incrocio di nuovo a sinistra. In quale punto cardinale e a quale distanza si trova la mia meta è irrilevante. Con una conoscenza a volo d'uccello posso però indicare a qualcuno la direzione della mia meta (senza vederla), trovare una nuova scorciatoia oppure segnalarla su una mappa. E il percorso non deve necessariamente essermi familiare.

Gli scienziati del comportamento descrivono di solito la conoscenza del percorso con un grafo, una rappresentazione matematica costituita da «nodi» e «collegamenti». In base all'orientamento nello spazio, un nodo può rappresentare un luogo riconosciuto – per esempio il municipio – e un collegamento, ossia un comportamento attuato in quel luogo, per esempio svoltare a destra.

Nell'uomo, la conoscenza del percorso è più complessa di questo semplice schema automatico: per esempio sappiamo comunicarlo a un'altra persona. Possiamo farci spiegare la via da una persona del luogo, oppure cercare un itinerario su Internet. Alcuni aiuti nell'orientamento riflettono la struttura





di Tobias Meilinger
e Christian Doeller

nel cervello

della conoscenza del percorso: le espressioni usate si riferiscono a un luogo, «il municipio», oppure ad azioni, «svoltare a destra». Con gli aiuti per l'orientamento, che si limitano ai nodi dei luoghi e ai collegamenti, ci si smarrisce più raramente che con descrizioni più dettagliate.

► Un caso a parte

Dalla conoscenza degli itinerari non è possibile esprimere verbalmente con la stessa facilità la conoscenza a volo d'uccello. Solo nel caso di professioni particolari, come quella del geografo o del pilota, indicazioni come «500 metri a sud-ovest» oppure «49 gradi, 25 primi nord, 43 primi est» sono di aiuto.

Il cittadino medio se la cava meglio con una piantina. Con l'aiuto di una

mappa è capace di indicare una direzione e una meta, e di stimare approssimativamente una distanza. Per noi le carte geografiche o le piantine topografiche rappresentano un sistema di riferimento, che – a volte meglio, a volte peggio – richiamiamo dalla memoria per orientarci.

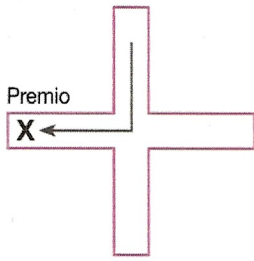
Allora come fa il nostro cervello a rappresentare la conoscenza delle strade e della piantina? Nel caso dei topi possiamo indagare questa abilità usando il cosiddetto labirinto a croce. Come indica il nome, questo tipo di spazio esplorativo consiste di quattro bracci, disposti a forma di croce o di segno più. Alla fine di uno dei bracci, per esempio nella posizione «ovest», l'animale si aspetta di trovare un pezzo di formaggio. Quando parte sempre dallo stesso posto – magari dal braccio «nord» – il topo memorizza molto rapidamente la posizione della ricompensa (si veda l'illustrazione a p. 100).

A questo punto il ricercatore colloca il topo nella posizione «sud». Verso quale direzione si dirigerà il roditore? L'animale cercherà di nuovo nel braccio «ovest», chiaramente memorizzato come luogo in cui si trova

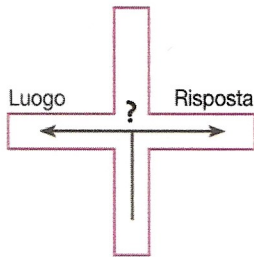


Fase di apprendimento

Posizione di partenza



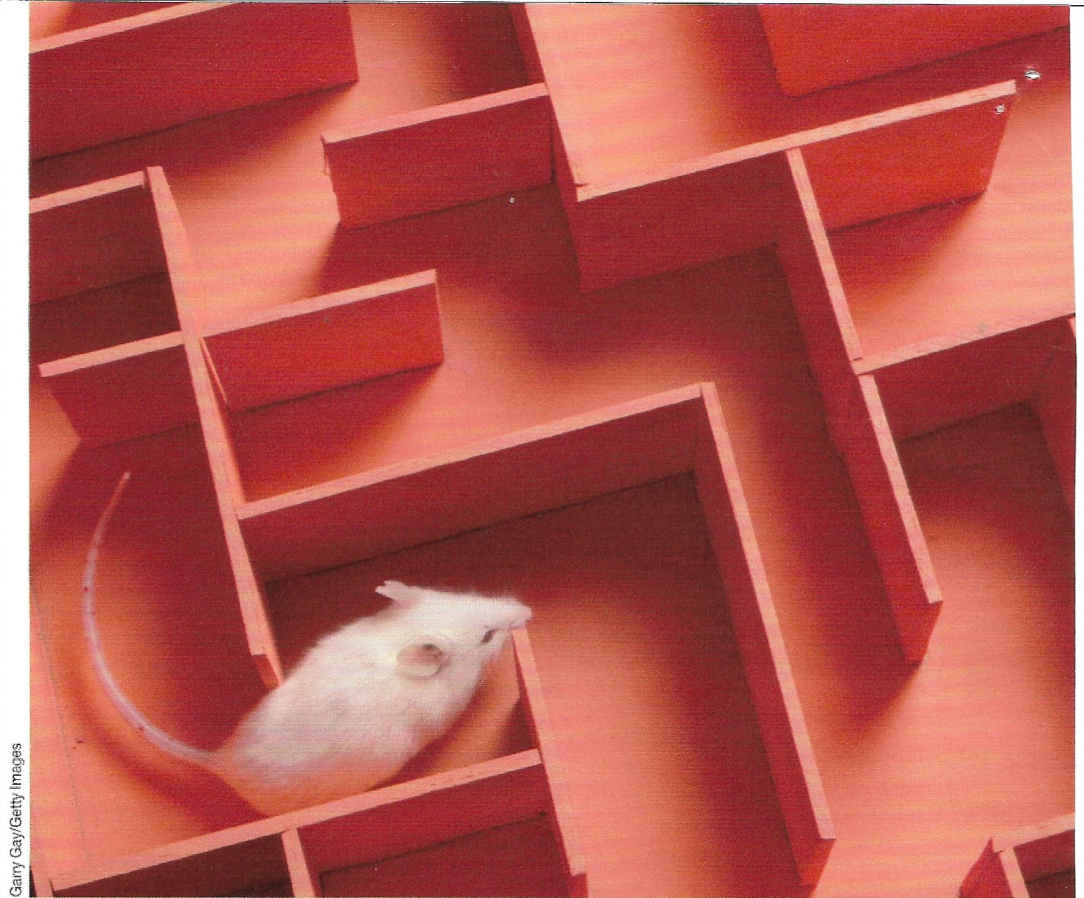
Fase del test



Nuova posizione di partenza

Destra o sinistra?

Nel labirinto a croce, un topo collocato nella posizione nord impara che un premio è collocato nel braccio a ovest (*in alto*). Quando parte dal braccio a sud (*in basso*), il topo deve scegliere se girare a sinistra, in direzione ovest (apprendimento del luogo) oppure a destra, verso est (apprendimento della risposta).



Garry Gay/Getty Images

il cibo nel sistema di riferimento dello spazio sperimentale? Oppure si dirigerà a «est», poiché il comportamento motorio rimane in memoria come «girare a destra»? Nel primo caso si parla di rappresentazione del luogo, nel secondo di rappresentazione della risposta.

La cosa interessante è che i topi adottano entrambe le tattiche. Inizialmente prevale la rappresentazione del luogo, poi quella della risposta appresa. Che per farlo siano responsabili strutture cerebrali differenti lo avevano scoperto già nel 1996 Mark Packard e James McGaugh, dell'Università della California a Irvine. Se i ricercatori neutralizzavano farmacologicamente l'ippocampo – una regione del lobo temporale importante per la memoria a lungo termine oltre che per l'orientamento spaziale – si notava un peggioramento della rappresentazione spaziale. Al contrario, se bloccavano il nucleo caudato – una struttura dei gangli basali che controlla, fra l'altro, i movimenti volontari – ne risentiva l'apprendimento dei comportamenti motori.

► A spasso nella realtà virtuale

Nel 2008, allo University College di Londra, abbiamo indagato questi meccanismi di apprendimento spaziale e i loro fondamenti neuronali nell'uomo. Per farlo, abbiamo sviluppato un videogioco: usandolo, il volontario doveva imparare la posizione di alcuni oggetti. Nel farlo, giaceva disteso nella mac-

china per la risonanza magnetica, che registrava la sua attività cerebrale.

Un nostro collaboratore si trovava in un anfiteatro virtuale, delimitato da un muro semicircolare. Sullo sfondo erano riprodotti dei monti, e un unico cono stradale serviva da punto di riferimento per l'orientamento. Il compito consisteva nel memorizzare la posizione di oggetti differenti, per esempio un vaso (*si veda l'illustrazione a fronte*). A un certo punto l'oggetto scompariva, e i soggetti avrebbero dovuto orientarsi nei rispettivi luoghi e contrassegnare la presunta posizione dell'oggetto premendo un tasto. La distanza tra la posizione reale e quella presunta dell'oggetto era una possibile misurazione dell'efficienza della memoria spaziale.

Durante l'esperimento abbiamo cambiato diverse volte la posizione del punto di riferimento. Inoltre è cambiata la posizione dell'oggetto, sia rispetto al muro sia rispetto al punto di riferimento. Il volontario doveva memorizzare la posizione grazie al punto di riferimento – come nella risposta appresa sopra descritta – oppure con l'apprendimento del luogo, vale a dire grazie al muro.

Come hanno rivelato le misurazioni effettuate con la risonanza magnetica, anche nel cervello umano sono stati facilitati entrambi i meccanismi di apprendimento in aree distinte: l'ippocampo manifestava un'attività più intensa quando il volontario aveva memo-

Uomini e donne

Le donne si orientano essenzialmente ricorrendo a punti di riferimento: «Supera il fornaio, poi prosegui sul ponte fino alla casa di mattoni». Gli uomini pensano in maniera geometrica: «Ancora 200 metri, poi svolta a destra e vai avanti ancora per un chilometro a est».

La convinzione diffusa che il genere femminile sia inferiore a quello maschile nella cognizione spaziale è corretta solo in parte. Se, infatti, agli uomini risulta più facile la rotazione mentale di un oggetto definito, sembra che le donne conservino una migliore memoria dei luoghi. Per esempio ricordano più spesso quale oggetto disegnato su un foglio di carta viene collocato in un altro posto su un altro foglio. Ciò vale solo per oggetti diversi, che possono essere scambiati fra loro. Quando oggetti identici sono scambiati di posto, le donne se la cavano di nuovo peggio degli uomini. Forse, a differenza dei maschi, le donne registrano insieme la natura e la collocazione dell'oggetto.

(da Lautenbacher S. e altri, in *Gehirn un Geschlecht*, Springer, Heidelberg, 2007).



Duane Ellison/Stockphoto

rizzato la posizione dell'oggetto relativamente al muro dell'anfiteatro, e dunque quando era decisiva la geometria spaziale. Viceversa, nell'apprendimento con l'aiuto del punto di riferimento si attivava il nucleo caudato. Si può dunque concludere che sia nell'uomo che nei roditori intervengono sistemi cerebrali specializzati simili per le due distinte facoltà di orientamento spaziale.

► **Questione di prospettiva**

Ma quale comportamento spaziale adottiamo nella realtà quotidiana? Nel sistema di riferimento cosiddetto egocentrico, è il corpo stesso a fungere da punto di riferimento.

Per distanze brevi, questo sistema funziona bene anche con gli occhi chiusi. Talmente bene che abbiamo seri problemi a ignorarlo. Immaginate di stare in piedi davanti al frigorifero. Chiudete gli occhi e ruotate di 90 gradi a destra; ignorate mentalmente questa rotazione, come se vi trovaste ancora davan-

ti al frigorifero, e indicate il lavandino. La maggior parte di voi indicherà intuitivamente il posto giusto, nonostante debba indicare un punto che si trova, per esempio, a 90 gradi verso destra: tutto ciò capita perché è estremamente difficile ignorare la rotazione del corpo.

Inoltre, riconosciamo meglio le scene dalla prospettiva da cui le abbiamo viste in origine. Sembra poi che registriamo immagini egocentriche, e che le usiamo di nuovo nell'apprendimento della risposta e nella conoscenza del percorso. Ciò non significa però che questo sia l'unico modo in cui archiviamo le informazioni spaziali.

Ci orientiamo, infatti, anche con un sistema di riferimento allocentrico, ovvero con un luogo esterno alla nostra persona. Ciò si verifica quando guardiamo una carta geografica, dove mari, autostrade e confini nazionali diventano punti di riferimento. Possiamo memorizzare la nostra posizione osservan-

Nel sistema di orientamento egocentrico è il nostro corpo a fungere da punto di riferimento

Paesaggio artificiale.

Nella macchina per la risonanza magnetica, alcuni volontari immaginavano di trovarsi in un paesaggio artificiale. L'unico punto di riferimento era un cono stradale, mentre un muro di cinta e una montagna sullo sfondo erano di aiuto per l'orientamento (a sinistra). In queste condizioni i volontari dovevano memorizzare la posizione di alcuni oggetti, per esempio un vaso (a destra).

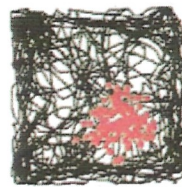


Contestia «Gehirn&Geist»

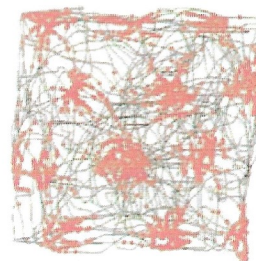
Neurofisiologia della memoria spaziale

Diverse strutture del cervello sono coinvolte nell'acquisizione di una mappa cognitiva. Nella corteccia temporale dei topi si attivano le cellule della direzione della testa, in base alla direzione in cui i roditori ruotano questa parte del corpo. Al contrario, si attivano le *place cell*, o cellule di posizione, dell'ippocampo solo se l'animale si trova in un determinato luogo, il *place field*, indipendentemente dalla direzione del suo movimento. E così il campo recettivo del neurone sensoriale può sovrapporre diversi *place field* e coprire collettivamente una particolare superficie. Tuttavia cellule vicine non devono rappresentare *place field* vicini. La linea nera nella figura in alto illustra in modo esemplare il percorso di un animale da laboratorio, dove ogni puntino rosso contrassegna un potenziale d'azione delle sue *place cell*. Questi neuroni reagiscono evidentemente non solo a punti di riferimento globali, ma anche a informazioni del proprio movimento: anche quando è buio, le *place cell* continuano ad attivarsi, come se sapessero di trovarsi ancora nello stesso posto.

Al contrario, le cellule a griglia della vicina corteccia entorinale si attivano in diverse posizioni nello spazio. Questi luoghi formano una struttura regolare, e coinvolgono completamente l'ambiente circostante l'animale (*in basso*).



Cellule di posizione



Cellule a griglia



Norbert Schaefer/Corbis; cortesia «Gehirn&Geist» (in alto)

do i piatti e le tazze sistemati su un tavolo in riferimento a una sedia vicina. Se questa viene spostata, capita che ci sfugga anche il momento in cui anche vengono spostati gli oggetti sul tavolo. Questo processo si verifica perché, in questo caso, abbiamo archiviato i dettagli non in riferimento a noi stessi (sistema egocentrico) ma a un oggetto diverso da noi (sistema allocentrico).

► Una prospettiva familiare

Come funzionano questi sistemi di riferimento allocentrici? Si basano su una direzione, una sorta di nord mentale? Per scoprirlo, nel 2002 Weimin Mou e Timothy McNamara, della Vanderbilt University a Nashville, hanno svolto un semplice esperimento. I loro volontari guardavano alcuni oggetti sistemati sul pavimento – un libro, una scarpa, una banana – e cercavano di immaginare, e quindi di memorizzare, la loro disposizione con una prospettiva modificata di 45 gradi. Poi, i volontari venivano condotti in un'altra stanza, e qui dovevano spostare mentalmente la posizione di un oggetto, guardare nella direzione di un secondo oggetto e indicarne un terzo.

Il compito riusciva piuttosto bene se i volontari avevano rappresentato l'oggetto parallelamente alla parete della stanza, no-

Facoltà compromesse.

Le persone colpite da malattia di Alzheimer perdono quasi del tutto la capacità di orientarsi, anche nei luoghi con cui avevano familiarità.



Per creare la nostra mappa mentale di un posto dobbiamo fondere differenti informazioni

nostante non lo avessero mai visto da questa prospettiva. Presumibilmente, questa disposizione corrisponde a una prospettiva particolarmente familiare, facile da memorizzare.

In caso contrario, se la direzione dello sguardo sperimentata in prima persona (egocentrica) corrispondeva a una prospettiva facilmente comprensibile e se quella immaginata era differente, il compito diventava molto più difficile. Questo esperimento e altri simili ci dicono, dunque, che memorizziamo la loro posizione in un sistema di riferimento allocentrico più facilmente lungo una direzione specifica. Di conseguenza la cornice di riferimento corrispondente non è indipendente dall'orientamento.

I correlati neuronali di questi sistemi di riferimento hanno una loro sede nel cervello. Nelle scimmie si attivano singoli neuroni nel lobo parietale in funzione della direzione dello sguardo dell'animale relativamente alla testa o al corpo. Queste cellule nervose codificano informazioni sullo spazio relativamente all'osservatore, e dunque per un sistema di riferimento egocentrico.

Tre altri tipi di cellule nervose rappresentano lo spazio indipendentemente dall'osservatore. Uno di questi è stato scoperto nel *post-*

subiculum del lobo temporale del topo, e si attiva intensamente quando l'animale mantiene la testa verso una particolare direzione. Queste «cellule della direzione della testa» si trovano nella regione del circuito di Papez, una rete di aree cerebrali che svolge un ruolo importante nell'orientamento spaziale e nella memoria a lungo termine.

► La direzione della testa

Nell'esperimento si misura l'attività delle cellule della direzione della testa con elettrodi impiantati nel cervello. Così equipaggiato, il topo esplora una superficie delimitata da pareti, di regola pari circa a un metro quadrato. Poi si sposta un punto di riferimento spaziale significativo, e la cellula dell'orientamento della testa si riorienta, come indica la frequenza di scarica in funzione della direzione della testa. Sembra perciò che queste cellule nervose rappresentino l'orientamento allocentrico nello spazio. Tuttavia dalle informazioni sulla direzione dello sguardo e sulla direzione della testa è impossibile risalire alla posizione esatta.

Al riguardo, John O'Keefe e John Dostrovsky, dello University College di Londra, fecero una scoperta fondamentale già nel 1971. Si accorsero che nell'ippocampo dei topi si riscontrano cellule attive solo quando l'animale si trova in una precisa posizione spaziale. Almeno una *place cell*, o cellula di posizione, è attiva in ciascuna posizione, perché ciascuna di esse rappresenta uno spazio delimitato, perlopiù un solo luogo, il *place field*, o campo locale. Il campo recettivo dei neuroni senso-

Teoria delle mappe.

Alcuni ricercatori ipotizzano che nell'ippocampo lo spazio sia rappresentato sotto forma di mappe cognitive.

GLI AUTORI

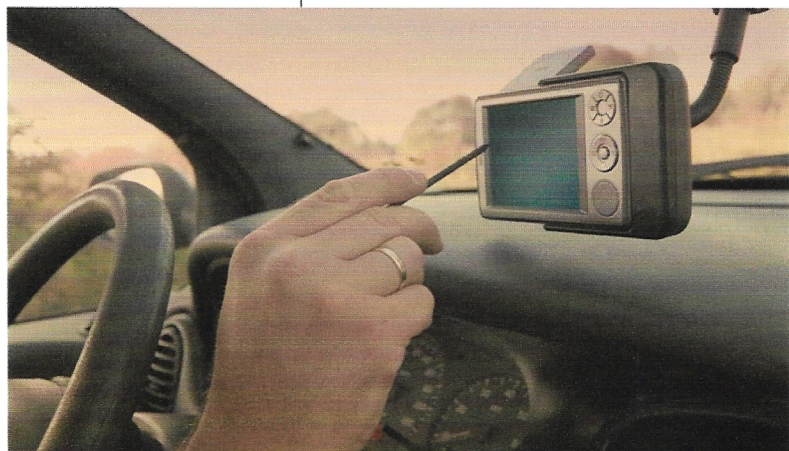
TOBIAS MEILINGER è ricercatore al Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik di Tübinga.

CHRISTIAN DOELLER è ricercatore presso il Dipartimento di neuroscienze cognitive dello University College di Londra.

Orientarsi nel mondo

Un'indagine che ha coinvolto 12.500 automobilisti alle prese con incroci e sensi unici di 13 differenti paesi: è lo studio condotto di recente dalla Nokia per valutare le capacità di orientamento di chi è seduto al volante. Il risultato è degno di nota: il 93 per cento degli intervistati ha dichiarato di perdersi con regolarità, soprattutto recandosi in luoghi poco conosciuti. Proprio per evitare tutti gli inconvenienti legati alla perdita dell'orientamento – compreso quello di perdere un aereo o di non

Kulay Tahir/Stockphoto



Monika Wisniewska/Stockphoto

arrivare in tempo a un colloquio di lavoro – il 25 per cento degli intervistati ha ammesso di sfruttare i sistemi di navigazione satellitare, mentre un altro 13 per cento ha dichiarato di affidarsi al cellulare. E gli italiani tengono alta la media di chi chiede aiuto alle nuove tecnologie per non smarrire la strada: almeno il 25 per cento degli intervistati nel nostro paese ha infatti dichiarato di non poter rinunciare al navigatore satellitare.

riali copre una superficie di circa dieci centimetri di diametro, e può sovrapporsi ai campi locali di altre cellule.

La scoperta di queste cellule ha indotto O'Keefe, insieme allo psicologo Lynn Nadel, dell'Università dell'Arizona a Tucson, a formulare una teoria ancora attuale: i due ricercatori ipotizzarono che nell'ippocampo lo spazio sia rappresentato sotto forma di mappe cognitive. Ma i risultati ottenuti con i topi valgono anche per l'uomo?

Per verificarlo, Arne Ekstrom, della Brandeis University, nel Massachusetts, e Itzhak Fried, dell'Università della California a Los Angeles, hanno condotto un esperimento con pazienti epilettici. Con l'aiuto di elettrodi applicati nell'ippocampo venivano diagnosticati

regolarmente attacchi epilettici ricorrenti. Nel corso dell'esperimento i pazienti dovevano assumere il ruolo di tassista in un videogioco. E anche in questo caso si attivavano le cellule nervose dell'ippocampo non appena i «tassisti» raggiungevano luoghi prestabiliti della città virtuale.

Nel 2005 è stato scoperto un altro tipo di cellula in una regione limitrofa all'ippocampo, la corteccia entorinale, un'area cerebrale che seleziona le informazioni sensoriali verso l'ippocampo, e che ha un ruolo importante nella rappresentazione dello spazio. Il gruppo di ricerca guidato dai coniugi May-Britt ed Edvard Moser, neuroscienziati dell'Università di Trondheim, in Norvegia, ha scoperto alcune cellule, che, a differenza delle place cell dell'ippocampo, si attivavano in molti punti diversi di una stanza. I loro campi locali sono spostati fra loro, così da costituire una struttura regolare quando è collegata da linee su una griglia. Una cosiddetta «cellula griglia» registra di conseguenza distanze costanti tra i punti della griglia.

► Le cellule griglia

Quando un topo di laboratorio esplora un nuovo ambiente, rapidamente si sviluppa una di queste griglie, che poi rimane stabile. A quel punto le cellule griglia si attivano sempre nello stesso luogo, elaborano apparentemente anche informazioni sulla direzione e



sulla velocità del movimento, costituendo un fondamento neuronale per l'orientamento.

Tutti gli esperimenti sull'orientamento spaziale descritti finora si concentrano sui cosiddetti spazi panoramici, la visione panoramica da un punto. Ma queste conclusioni valgono anche per ambienti più complessi?


Per creare una mappa mentale di città o di edifici dobbiamo percorrerli e fondere differenti vedute. Nel 2007, al Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik di Tubinga, abbiamo scoperto quando si sviluppa questo sistema di riferimento globale. Forse lo applichiamo già mentre impariamo a conoscere un ambiente, per ritrovarlo poi sotto forma di «mappa cognitiva» in compiti di visione generale? Oppure registriamo più sistemi di riferimento locali, per esempio uno per ogni strada, e li integriamo quando è necessario?

Per scoprirlo, abbiamo fatto percorrere ad alcuni volontari, dopo che avevano indossato occhiali adatti, un labirinto virtuale costituito da sette segmenti e contenente un solo oggetto bersaglio per volta. I volontari avrebbero dovuto spostarsi attraverso i corridoi, fino a ritrovarsi al punto di partenza. Acquisita sufficiente familiarità con il labirinto, li abbiamo trasferiti virtualmente in posizioni differenti, e abbiamo chiesto loro di indicarci in quale direzione erano collocati in precedenza gli oggetti in un altro corridoio.

Risultato: i volontari se la sono cavata

meglio quando si trovavano nei singoli tratti del labirinto nella direzione del percorso: si orientavano in base a caratteristiche locali e non a punti di riferimento globali, come i punti cardinali. Evidentemente i luoghi di un ambiente complesso non sono necessariamente memorizzati in un'unica «mappa cognitiva», ma in parti differenti. Solo quando è necessario saranno integrati in unico sistema di riferimento.

Questo risultato contraddice le attese: molte persone, infatti, hanno l'impressione di usare un'unica mappa cognitiva, magari per orientarsi nel proprio appartamento. Nel 2009 Julia Frankenstein, psicologa del nostro gruppo di ricerca, ha scoperto che questa sensazione non inganna. In effetti, le mappe cognitive di residenti da lungo tempo erano tutte indirizzate a nord. Probabilmente, essi non le hanno legate grazie ai ricordi delle strade percorse, ma tenevano a mente la mappa della città, che è orientata a nord e rappresenta tutti i luoghi simultaneamente.

Quando qualcuno ci chiede la strada per la stazione, possiamo attingere a due diversi sistemi di orientamento: da un lato alla nostra esperienza negli spostamenti, come nel caso di un esperimento con il labirinto; dall'altro, abbiamo anche la capacità di guidare noi stessi a mente. Siamo dunque sufficientemente flessibili da ricavare il meglio dalle conoscenze di cui disponiamo. 

Le cosiddette cellule griglia sono essenziali per elaborare i dati spaziali

IN PIÙ

DOELLER C.F. e altri, *Parallel Striatal and Hippocampal Systems for Landmarks and Boundaries in Spatial Memory*, in «Proceedings of the National Academy of Sciences», Vol. 105, n. 15, pp. 5915-5920, 2008.

MOSER E.I. e altri, *Place Cells, Grid Cells, and the Brain's Spatial Representation System*, in «Annual Review of Neuroscience», Vol. 31, pp. 69-89, 2008.

MEILINGER T. e altri, *Orientation Specificity in Long-Term Memory for Environmental Spaces*, in «Proceedings of the 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society», pp. 479-484, 2007.

O'KEEFE J. e NADEL L., *The Hippocampus as a Cognitive Map*, Oxford University Press, 1978.