

Lo spazio come costruito mentale

di Roberto Caminiti

Roberto Caminiti,
Professore di Fisiologia umana,
Università di Roma La Sapienza

Come percepiamo lo spazio? La risposta a questa domanda che ha interessato tutte le discipline è di centrale importanza nella psicologia e nella neurofisiologia moderne. Attraverso lo studio di casi clinici, come quello ormai famoso di un paziente del neurologo ungherese Rudolf Balint e grazie ad indagini neurofisiologiche, si è arrivati ad attribuire un ruolo centrale al lobo parietale ed in particolare alle operazioni dinamiche delle sue popolazioni neuronali

Il modo in cui percepiamo lo spazio ha costituito tema di grande interesse e fonte di accese controversie che hanno attraversato tutte le discipline che in qualche modo si sono occupate di esso, dalla filosofia alla psicologia, dalla clinica alla neurofisiologia. La domanda è di centrale importanza nella psicologia e neurofisiologia moderne, poiché la risposta che ad essa verrà data probabilmente porterà alla comprensione del modo in cui ci muoviamo al suo interno. I principali sistemi sensoriali di cui disponiamo e che costituiscono i substrati delle capacità di vedere, udire, apprezzare la forma e le caratteristiche degli oggetti attraverso l'esplorazione tattile, ecc., sono tutti dotati di organi recettoriali periferici specializzati, capaci di trasformare quella particolare forma di energia incidente che costituisce uno stimolo in una sequenza di impulsi nervosi che, nei loro intervalli temporali, codificano le caratteristiche degli stimoli sensoriali, cioè la loro durata, intensità, localizzazione spaziale. Non si tratta di una mera ritrasmissione ai centri di eventi che avvengono alla periferia del nostro sistema nervoso, poiché dai recettori fino alle aree della corteccia cerebrale deputate all'analisi di quei segnali, gli attributi originari di una informazione vengono sistematicamente modificati. La percezione di questi stimoli è quindi una rappresentazione astratta di essi, quella che il nostro sistema

nervoso ci consente. Un esempio evidente è costituito dalle nostre capacità visive in generale, e dalla percezione dei colori in particolare, derivanti dall'analisi che il nostro sistema visivo fa di una particolare gamma di onde elettromagnetiche.

Tra queste, quelle di particolari lunghezze d'onda sono descritte come colori diversi. A differenza dei principali sistemi sensoriali, il nostro sistema nervoso non possiede né recettori periferici per lo "spazio", né vie nervose deputate alla sua trasmissione centrale, né tantomeno mappe che lo rappresentino, seppur in maniera distorta, come avviene per le diverse informazioni sensoriali nelle rispettive aree della corteccia cerebrale cui sono destinate. È quindi quantomeno scontato che non siamo in grado di percepire lo spazio in quanto tale. Se posti in un ambiente visivo privo di struttura, il *Ganzfeld*, vediamo infatti solo dei contorni nebbiosi e grigi. Si crede quindi che la nostra capacità di percepire lo spazio risieda nell'analisi delle relazioni spaziali, quelle che esistono tra le varie parti del nostro corpo, tra questo e le cose e gli eventi con cui interagiamo. Questa capacità di analizzare relazioni piuttosto che singoli eventi può solo risiedere nella possibilità di combinare questi ultimi all'interno di sistemi di riferimento ibridi la cui immagine mentale costituisce la base per la percezione dello spazio e per la composizione di comandi motori al suo

interno. Queste relazioni, quando riferite all'immagine del nostro corpo e delle sue parti, sono alla base del cosiddetto schema corporeo di Head and Holmes, concetto di grande influenza nella neurologia classica, una felice metafora, secondo Vernon B. Mountcastle, a soccorso della nostra ignoranza.

Se la percezione dello spazio e la possibilità di operare al suo interno sono basate sulla combinazione di diversi tipi di informazioni, i substrati anatomici e fisiologici di tali capacità vanno ricercati in regioni del cervello, e della corteccia cerebrale in particolare, dove tali informazioni convergono.

Il paziente di Balint

La prima dimostrazione di un disturbo "puro" delle relazioni spaziali è contenuta nella storia di un caso clinico ormai famoso (Balint, 1909).

Nel 1909, il neurologo ungherese Rudolf Balint riferì di un paziente che mostrava una strana e perdurante sintomatologia. Privo di disturbi a carico della vista, dell'udito, del tatto e da paralisi di ogni tipo, questo paziente ignorava sistematicamente tutto ciò che accadeva nell'emispazio sinistro rispetto alla linea mediana del corpo, fino a non accorgersi della presenza di una persona, se questa gli si poneva di fronte a sinistra.

La scorgeva invece immediatamente appena questa si spostava nell'emispazio destro. In questo comportamento viene riconosciuto oggi un grave disturbo dell'attenzione spaziale, in altre parole una eminegligenza spaziale che colpisce la metà dello spazio opposta a quella della lesione cerebrale, tipicamente, in questi casi, a carico del lobo parietale, come nel paziente di Balint. La eminegligenza si estende anche allo spazio corporeo, in quanto questi pazienti spesso non si occupano della metà del corpo che sta dal lato opposto alla lesione, fino ad ignorare come propri o a lamentare come estranei persino il braccio o la gamba opposti alla lesione.

Questo difetto dell'esplorazione spaziale si accompagnava a quella che Balint chiamò paralisi psichica dello sguardo, consistente nella incapacità, una volta fissato un oggetto, di rivolgere l'attenzione ad altri stimoli. Tutto ciò aveva conseguenze negative anche sulla capacità di leggere. Benché singole lettere venissero riconosciute immediatamente, le parole brevi venivano lette da destra a sinistra. In presenza di brevi frasi, il paziente di Balint vedeva solo le parole poste all'estremità destra della sequenza e non quelle poste a sinistra e solo su esplicito richiamo verbale ritornava su queste, riuscendo anche a leggere una breve frase. Tuttavia, la sua attenzione era molto labile e ciò lo induceva a continui errori.

Il paziente di Balint mostrava inoltre una spiccata incapacità nel dirigere con precisione i movimenti della mano destra su oggetti di interesse ed a manipolarli in maniera appropriata. Questi movimenti spesso andavano al di là, a destra o a sinistra dell'oggetto o lo urtavano, rovesciandolo. Un sigaro veniva acceso a metà della sua lunghezza e non, come normalmente, dalla sua estremità. Il coltello diretto con la mano destra a tagliare un cibo trattenuto fermo dalla forchetta posta nella mano sinistra, veniva portato addirittura al di fuori del piatto. Questo paziente tuttavia era in grado di fare perfettamente con la mano sinistra quello che non era in grado di fare con la destra, e ciò permise a Balint di escludere che soffrisse di disturbi di localizzazione spaziale. Balint concluse che il suo paziente era affetto

da un disturbo del controllo visivo del movimento che chiamò atassia ottica, per analogia alla atassia tabetica, allora molto frequente a causa del mal sottile, dovuta alla mancanza di quelle informazioni somatiche periferiche, indispensabili per la composizione dei comandi motori e per la loro corretta esecuzione.

Più di mezzo secolo di studi dettagliati di questi pazienti (De Renzi, 1982) hanno portato alla convinzione che sia il lobo parietale, assieme alle strutture nervose a cui esso è connesso, il nodo centrale di un sistema deputato all'analisi delle relazioni spaziali ed alla generazione di comandi motori di natura olistica nello spazio extrapersonale. Questa convinzione ha trovato conferma in una ormai lunga serie di studi fisiologici che spesso hanno offerto una "immagine positiva" dei disturbi di cui soffrono i pazienti parietali.

Popolazioni neuronali

Vernon B. Mountcastle, 20 anni or sono, pubblicò un influente articolo che ha segnato l'inizio di un nuovo approccio allo studio delle funzioni parietali (Mountcastle et al., 1975). Egli si servì di una rivoluzionaria metodologia sperimentale, messa a punto alla fine degli anni Sessanta da Herbert Jasper ed Edward Evarts. Questo approccio combina i metodi classici della neurofisiologia con quelli della psicologia sperimentale e permette così di studiare le proprietà delle popolazioni cellulari di aree della corteccia cerebrale di animali addestrati in compiti la cui pianificazione ed esecuzione dipende in maniera critica dall'integrità di quelle strutture. Si tratta quindi di una correlazione diretta tra attività nervosa e comportamento. Questo approccio sperimentale costituisce l'unico strumento oggi a disposizione per lo studio delle proprietà dinamiche delle cellule nervose e dei loro codici di popolazione, per la identificazione quindi di quelle proprietà emergenti, che sono alla base di ogni costrutto mentale, risultato di operazioni di natura computazionale piuttosto che espressione dell'organizzazione anatomica delle reti nervose.

È stato così possibile scoprire come le aree corticali del lobo parietale contengano

popolazioni neuronali la cui cooperatività sembra in grado di codificare quelle forme di comportamento visuo-spaziale e motorio gravemente compromesse o irrimediabilmente perse a seguito di lesioni del lobo parietale. Caratteristica comune di queste popolazioni (Mountcastle, 1995) è la condizionalità della loro relazione con gli eventi sensoriali esterni o con il comportamento motorio. A differenza delle aree sensoriali primarie, dove l'attività neuronale è legata in maniera "obbligatoria" alla presenza di uno stimolo ed è largamente indipendente dal livello di vigilanza e dall'attenzione selettiva, i neuroni parietali sono attivati non tanto dalle proprietà fisiche degli stimoli ma solo se questi sono inseriti in un contesto che ha una rilevanza diretta per il comportamento. Similmente altre popolazioni di neuroni parietali mostrano una attività che covaria con il movimento solo quando questo ha una finalità precisa e non durante movimenti *random* del braccio, della mano o durante movimenti spontanei degli occhi.

Queste popolazioni neuronali parietali sembrano essere in grado di esprimere, nella loro attività, la combinazione di informazioni di natura diversa. Così, i neuroni parietali visivi sono sensibili non solo ad uno stimolo visivo di interesse, ma anche alla posizione degli occhi nella testa ed alla posizione della testa rispetto al corpo (Andersen, 1995). La codifica della posizione di un oggetto di interesse nello spazio visivo avverrebbe quindi non in termini di coordinate retiniche, come avviene nelle aree visive del lobo occipitale, ma in un sistema di riferimento centrato sulla testa, come risultato di una "trasformazione di coordinate". Modelli basati su reti neurali artificiali indicano che la combinazione di queste informazioni, cioè l'analisi delle loro relazioni, sia sufficiente a generare una rappresentazione della posizione di un oggetto nello spazio in termini di coordinate corporee (Andersen, 1995). Entriamo così nell'affascinante e delicatissimo tema della cosiddetta costanza spaziale e delle trasformazioni di coordinate ad essa legate. Autorevoli opinioni dissentono dall'interpretazione appena delineata e ritengono che la stabilità del mondo visivo, nonostante i movimenti degli occhi e della



Il "pilastro djed", antico simbolo a forma di colonna, rappresenta la stabilità e la resurrezione. XIX din., pittura murale. Sala del sarcofago, colonna nord.

testa, non sia il risultato di una *cascade* di trasformazioni di coordinate ma dipenda da una rotazione della rappresentazione centrale del campo visivo, rotazione predittiva della posizione che uno stimolo assumerà a seguito del movimento degli occhi (Colby et al., 1995). Tale rotazione si accompagnerebbe quindi ad ogni movimento oculare. Inoltre, quando un movimento degli occhi viene eseguito verso una posizione spaziale memorizzata, i neuroni parietali modulano la loro attività in relazione alla traccia di memoria. Quindi l'informazione memorizzata sarebbe rimappata assieme al movimento oculare. Ciò manterrebbe l'allineamento tra l'immagine attuale sulla retina e la sua rappresentazione memorizzata nella corteccia parietale. Entrambi i meccanismi sopra descritti servirebbero a creare una rappresentazione continuamente aggiornata della posizione di uno stimolo di interesse, in termini di distanza e direzione dalla fovea, cioè in coordinate oculocentriche. Una accurata rappresentazione della posizione spaziale di un oggetto in termini di coordinate corporee, è tuttavia indispensabile per ogni movimento diretto a portare la mano su di esso, a compiere cioè un movimento di *reaching*. (Caminiti et al., 1990; 1991). Le traiettorie che descrivono questi movimenti sembrano essere codificate infatti dalle popolazioni cellulari parietali attraverso sistemi di riferimento centrati sul corpo (Lacquaniti et al., 1995). Tre diverse popolazioni di neuroni specificano, ciascuna, un parametro della posizione della mano relativamente ai tre assi cardinali dello spazio, cioè la distanza dal corpo lungo l'asse antero-posteriore, l'elevazione lungo l'asse verticale e l'azimuth della mano

sull'asse orizzontale. Queste popolazioni quindi forniscono, attraverso la loro attività, una codifica delle posizioni del braccio e delle sue operazioni motorie nello spazio extrapersonale attraverso sistemi di riferimento astratti che non riflettono la pura geometria dei segmenti corporei interessati. Esse sono inoltre uno straordinario esempio di *parallel processing*, in quanto le informazioni relative al movimento del braccio nello spazio sono segregate in sottopopolazioni neuronali discrete. È probabile che tale segregazione sia rispettata fino agli stadi finali della composizione dei comandi motori. Tale segregazione non sorprende dato che la psicofisica mostra come queste informazioni nell'uomo siano analizzate in maniera largamente indipendente. Finalmente, altre popolazioni neuronali sembrano essere in grado di comandare quegli specifici atteggiamenti della mano necessari per adattarla alle proprietà fisiche e geometriche, cioè alla forma, degli oggetti da afferrare (Sakata et al., 1995). Ecco quindi che una cooperatività tra queste popolazioni cellulari, secondo un appropriato schema temporale, possa costituire un meccanismo sufficiente per localizzare un oggetto nello spazio, dirigere la mano su di esso, afferrarlo e manipolarlo. Operazioni queste che richiedono quella attenzione selettiva, che esercita un effetto profondo su tutte queste popolazioni neuronali. I profili di attività di tali popolazioni costituiscono quindi la rappresentazione nervosa centrale di quegli eventi sopra descritti,



"Sfinge con testa di falco",
proveniente da Abu Simbel.
Tempio Grande di Ramses II.
XIX din., arenaria,
115 cm. British Museum.

substrato della nostra capacità di percepire le relazioni nello spazio extrapersonale e di muoverci al suo interno. Le vecchie analisi fisiologiche, molto influenzate dalle teorie associazioniste della prima metà di questo secolo, erano state costantemente alla vana ricerca di una convergenza sul lobo parietale di informazioni sensoriali diverse e della loro associazione, come prerequisito della percezione. Oggi, come si vede, siamo ben lontani da quei modelli cari a certa cultura neurologica e psicologica, e più vicini ad una visione che assegna al lobo parietale un ruolo centrale nella capacità di rappresentare le relazioni spaziali ai fini del movimento nello spazio peripersonale. ●

Bibliografia

Andersen R.A., *Encoding of intention and spatial location in the posterior parietal cortex*, "Cereb Cortex" 5, (1995), pp. 457-469.

Balint R., *Psychic paralysis of gaze, optic ataxia, and spatial disorder of attention*, "Monatschr. Psychiatr. Neurol" 25, (1909) pp. 51-81.

Caminiti R., Johnson P.B., Urbano A., *Making arm movements within different parts of space: dynamic aspects in the primate motor cortex*, "J Neurosci" 10, (1990), pp. 2039-2058.

Caminiti R., Johnson P.B., Galli C., Ferraina S., Burnod Y., *Making arm movements within different parts of space: the premotor and motor cortical representation of a coordinate system for reaching to visual targets*, "J Neurosci" 11, (1991), pp. 1182-1197.

Colby C.L., Duhamel J.-R., Goldberg M.E., *Oculocentric spatial representation in parietal cortex*, "Cereb Cortex" 5, (1995), pp. 470-481.

De Renzi E., *Disorders of space exploration and cognition*, John Wiley & Sons, (1982).

Lacquaniti F., Guigon E., Bianchi L., Ferraina S., Caminiti R., *Representing spatial information for limb movement: Role of area 5 in the monkey*, "Cereb Cortex" 5, (1995), pp. 391-409.

Mountcastle V.B., Lynch J.C., Georgopoulos A.P., Sakata H., Acuña C., *Posterior parietal association cortex of the monkey: Command functions for operations within extrapersonal space*, "J Neurophysiol" 38, (1975), pp. 871-908.

Mountcastle V.B., *The parietal system and some higher brain functions*, "Cereb Cortex" 5, (1995), pp. 377-390.

Sakata H., Taira M., Murata A., Mine S., *Neural mechanisms of visual guidance of hand action in the parietal cortex of the monkey*, "Cereb Cortex" 5, (1995), pp. 429-438.