

# Il cervello

di Karl H. Pribram

« Ti amo ». A Parigi era primavera, e le parole avevano un delizioso accento scandinavo; ci si trovava ad un congresso dell'UNESCO sui problemi della ricerca sul cervello e sul comportamento umano. Queste fatali parole non venivano però espresse da una bionda bellezza; erano prodotte da una piccola macchina di metallo lucente, nelle mani di un famoso psicolinguista.

La macchina ci impressionò tutti per la semplicità della sua struttura. L'altoparlante era controllato soltanto da due manopole. Una alterava un circuito elettronico che simulava la tensione delle corde vocali; l'altra regolava un circuito che simulava i soffi d'aria che colpiscono le corde.

## Le componenti del nostro sistema nervoso

Questa semplice macchina potrebbe servire allo studio che l'uomo compie su se stesso. Tutto il comportamento potrebbe essere generato e controllato da un meccanismo neurale altrettanto semplice. Forse il sistema nervoso lavora come un meccanismo a due manopole a processo duale.

Per capire come un meccanismo a processo duale possa spiegare il funzionamento del cervello, bisogna prima comprendere le unità che formano il sistema nervoso. Nell'ultima parte del XIX secolo, divampò una grande

controversia, nell'ambiente della neurobiologia, sul problema se il tessuto cerebrale fosse costituito di unità — le cellule — come gli altri tessuti del corpo. La controversia si è risolta in modo così chiaro, che l'esistenza di neuroni — cellule nervose completamente separate l'una dall'altra da una membrana — non è più considerata solo come teorica. Eppure, paradossalmente, ancora oggi nessuno di noi ha mai « visto » un neurone nel tessuto cerebrale, cioè, nessuno ha tracciato la sua completa estensione e ha dimostrato che esso sia veramente separato dai neuroni vicini.

Usando come modello il midollo spinale, sir Charles Sherrington fu colpito dalla constatazione paradossale che la parte più sottile del neurone (assone) non potesse spiegare la complessità del comportamento riflesso. Ipotizzò allora che i neuroni fossero leggermente separati l'uno dall'altro e conìò il termine di « sinapsi » per designare il punto di contiguità tra un neurone e l'altro. Egli attribuì alla sinapsi la capacità di lasciar passare i segnali nervosi secondo una modalità che spiegherebbe il comportamento riflesso che aveva osservato.

L'acuta intuizione di Sherrington è stata largamente ignorata da neurofisiologi e neurocomportamentisti. L'attenzione è stata focalizzata sull'esistenza e sulle proprietà della sinapsi, ed esse sono state ampiamente esplorate grazie alla microscopia elettro-

nica e attraverso la registrazione dei meccanismi elettrici e chimici della trasmissione sinaptica. L'interpretazione di tali risultati, però, è rimasta quasi invariabilmente nel quadro del problema seguente: « Come fanno gli impulsi nervosi a superare la *barriera* costituita dalla sinapsi? ». Si riteneva spesso che fosse sufficiente accennare al fatto che la cellula si scarica degli impulsi nervosi che riceve, e interessarsi alle proprietà di conduzione delle vie sinaptiche.

Pochi scienziati hanno seguito la tesi di Sherrington, che la complessità del comportamento (e dei processi psicologici) deve essere giustificata in termini di complessità di organizzazione dei meccanismi di congiunzione (sinaptici) nel sistema nervoso centrale.

### Le singolarità dell'energia nervosa

Desiderando proseguire nella via aperta da Sherrington, propongo l'ipotesi che la microstruttura costituita dai potenziali lenti di congiunzione (vale a dire le variazioni elettriche speciali che esistono a livello della sinapsi) sia il sistema che permette d'integrare le interazioni tra gli elementi neurali vicini. Questa microstruttura di congiunzione è la chiave del mistero della memoria e della percezione.

Stranamente si osserva che, quando un impulso elettrico nervoso raggiunge una sinapsi, rallenta e diventa così debole da rendere necessario un amplificatore chimico per provocare una variazione di potenziale in un neurone vicino. Anche dopo questo, la variazione di potenziale non è un impulso nervoso, ma una carica di debole ampiezza che si muove lentamente.

Le variazioni di potenziale lente e graduali generate al di là della sinapsi (neurotensioni) costituiscono, insieme ai treni di impulsi nervosi (neuropulsioni), il meccanismo a due dei processi del funzionamento del cervello. La giunzione nervosa, più che il neurone, è l'unità in base alla quale si costituisce il secondo processo (vale a dire le neurotensioni).

Le reazioni elettriche chimiche post-sinaptiche formano una microstruttu-

ra di potenziali elettrici che ha influenza sul tessuto cerebrale in cui la microstruttura si viene a trovare. Sono tali influenze che possono spiegare le modificazioni del tessuto cerebrale durante l'apprendimento.

Uno dei punti inesplorati del processo cerebrale di immagazzinamento mnesico è costituito dal fatto che alla nascita il cervello di una persona contiene praticamente tutti i neuroni che possiederà anche in seguito. Nelle altre parti del corpo vi è crescita e riproduzione dei tessuti durante la vita: quando un tessuto viene danneggiato, si provvede a ripararlo mediante divisione delle cellule adiacen-

**Gran parte dei tessuti embrionali sono potenzialmente equivalenti; essi possono differenziarsi e divenire elementi costitutivi di qualsiasi parte del corpo**

ti. Cercare di spiegare come aumenta la memoria durante l'apprendimento, in mancanza di una riproduzione neurale, è come cercare di spiegare la crescita di un bambino senza che le cellule delle sue ossa posseggano la capacità di dividersi.

### Un modello di funzionamento della memoria

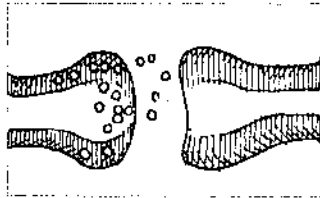
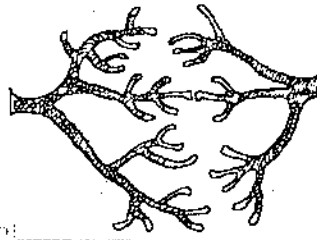
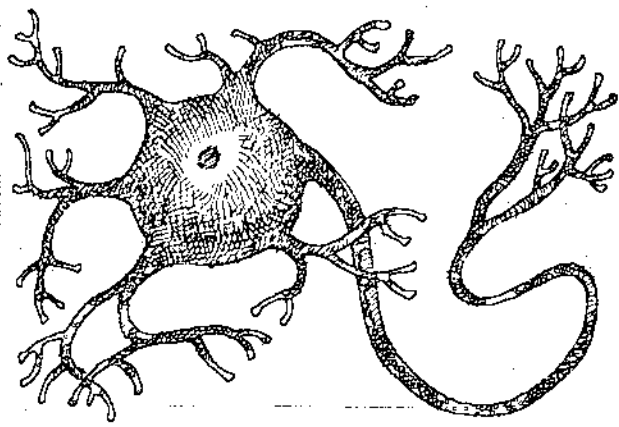
Nel 1950 Karl Lashley — un pioniere americano nella ricerca sul cervello — arrivò quasi alla disperazione, dopo aver ricercato senza successo, per circa trent'anni, gli engrammi, cioè le tracce lasciate nel cervello dagli eventi passati. Egli scrisse: « Io ho talvolta l'impressione che la conclusione necessaria è che l'apprendimento non è affatto possibile. Tuttavia, nonostante le prove contrarie, l'apprendimento talvolta si verifica ve-

ramente ». Dal tempo di questa affermazione di Lashley, e specialmente a partire dal 1950, sono stati compiuti grandi progressi nella conoscenza dell'anatomia e del processo biochimico della memoria. Ho riunito insieme le prove ricavate da tale lavoro e i risultati di uno studio embriologico per elaborare il modello del processo secondo il quale i ricordi vengono immagazzinati.

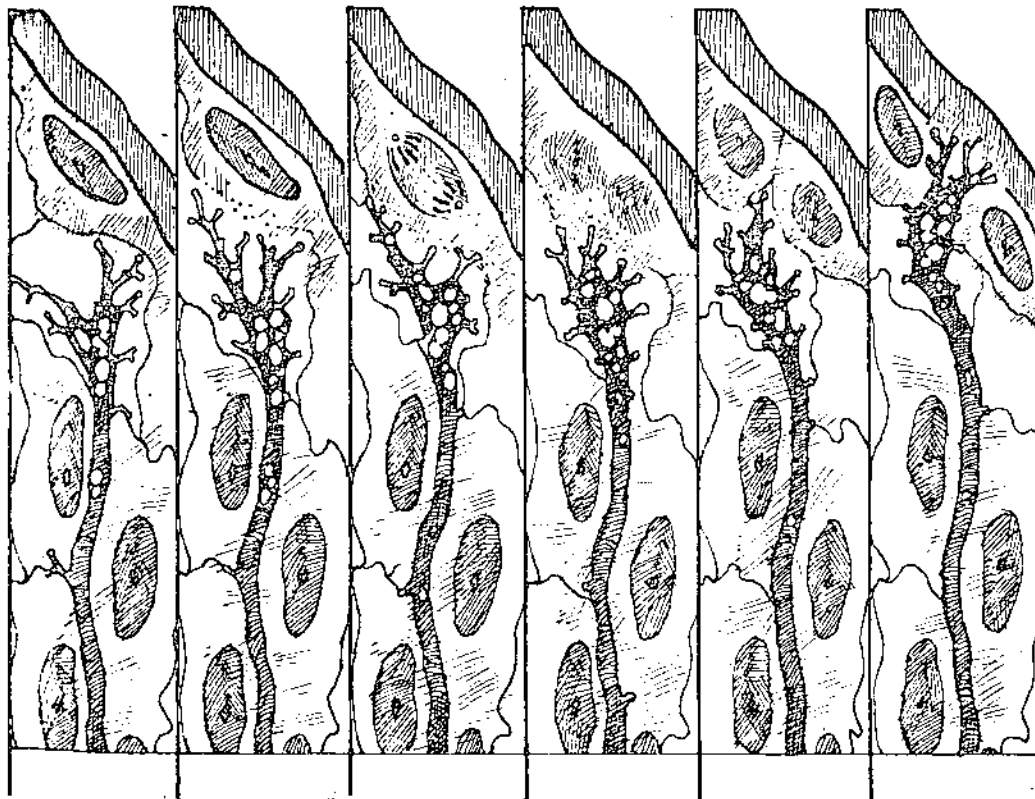
Il modello è pressappoco il seguente. Gran parte dei tessuti embriologici sono potenzialmente equivalenti; sviluppandosi, essi possono differenziarsi e divenire elementi costitutivi di qualsiasi parte del corpo. Per esempio, l'ectoderma della testa (vale a dire la parete esterna del tessuto embrionale da cui si svilupperà la testa), posto a contatto con la vescicola oculare (il futuro occhio), forma un cristallino.

In precedenza, si pensava che l'ectoderma della testa fosse già predisposto per formare un cristallino e che la vescicola oculare agisse semplicemente come elemento di attivazione del processo. Ma se la vescicola oculare viene spostata e posta in contatto con l'ectoderma di un fianco, anche la pelle del fianco formerà un cristallino. E se l'ectoderma della testa che normalmente forma un cristallino, viene posto in contatto con un elemento, a partire dal quale, dopo induzione, si svilupperebbe un orecchio, essa darà appunto origine ad un orecchio; se questo ectoderma entra in contatto con un elemento induttore del naso, esso formerà un naso.

Questo significa che esiste la possibilità di formare una miriade di strutture la quale viene ordinariamente repressa. Ci si trova comunque di fronte ad un paradosso quando si fa l'analisi biochimica delle sostanze che servono meglio a superare tale repressione. Queste « buone sostanze » (gli induttori) esplicano un'azione molto più generale di quanto non ci si sarebbe aspettato. Le secrezioni endocrine e una sostanza estremamente interessante, l'ARN (acido ribonucleico), sono gli induttori chimici meglio conosciuti. L'ARN è l'intermediario chimico che permette la costruzione di proteine a partire



**CELLULE NERVOSE.** Disegni di numerose parti del sistema nervoso: A) Neurone, una cellula nervosa individuale. Il tessuto cerebrale è costituito da questa unità. B) Sinapsi, congiunzione tra un neurone e l'altro. Ogni neurone è sottilmente separato da tutti gli altri. C) Sinapsi, si mostra schematicamente l'evento chimico in un neurone che provoca una modificazione elettrica nel neurone adiacente. Gli eventi chimici collegano tra di loro i neuroni.



**IPOTESI SULLA CRESCITA DEL NEURONE.** Generalmente le punte dei neuroni sono avvolte da cellule gliali che prevengono la crescita: (1) Un'attività neurale ripetuta potrebbe portare ad alterazioni chimiche nella glia (2) che producono una divisione nelle cellule gliali (3, 4, 5). Il neurone sarebbe allora libero di crescere oltre le cellule gliali figlie e di formare nuove connessioni (6).

dal programma ereditario iscritto nell'ADN (acido desossiribonucleico); queste proteine costituiranno il protoplasma di tutte le cellule adulte. Questo paradosso dell'induzione embrionaria non è stato ancora risolto completamente.

Queste sostanze possono agire su tessuti di differenti specie, di generi o anche di ordini diversi. L'ARN estratto dal fegato di un vitello può determinare la formazione di un cristallino nel ratto. E se un pezzetto dell'ectoderma prelevato dal fianco di una rana viene trapiantato nel tessuto della testa di una salamandra, l'embrione si svilupperà con una testa di salamandra con mascelle cornee e le altre caratteristiche di una rana.

Forse il meccanismo della memoria segue nel cervello un corso simile, con l'importante differenza, tuttavia, che le cellule nervose non si riproducono. Ciò non preclude però la possibilità che le fibre nervose si moltiplichino e che quindi le congiunzioni tra di esse divengano più numerose. Che un aumento nel numero delle giunzioni sinaptiche avvenga quando i ratti sono esposti ad un ambiente particolarmente ricco di stimoli, è stato dimostrato da Mark Rosenzweig e dai suoi collaboratori all'Università di Berkeley in California. È facile porre in evidenza questo aumento a livello dei nervi periferici. Comunque, la distruzione sperimentale di strati di cellule nella corteccia cerebrale, con una risultante ricrescita delle fibre, indica che lo stabilirsi delle connessioni non differisce nel sistema nervoso cerebrale e in quello periferico.

Sappiamo che, in seguito a sezionamento, una fibra nervosa subisce una degenerazione retrograda fino al corpo cellulare da cui trae origine. Immediatamente dopo, un tipo speciale di cellule, già presenti nella guaina del nervo, comincia a moltiplicarsi occupando lo spazio della fibra distrutta. Queste cellule formano una colonna di tessuto che « tiene il posto » per la fibra nervosa. Così, quando il nervo comincia a rigenerarsi, l'estremità della fibra nervosa non deve fare altro che seguire la via tracciata. Quando la colonna di tessuto non è

presente, il cono di crescita del nervo si sviluppa in ogni direzione e forma un groviglio non funzionale che è spesso sensibile in modo doloroso.

A livello del sistema nervoso centrale esistono cellule funzionalmente equivalenti, chiamate glia o neuroglia, che formano una guaina per i neuroni nel sistema nervoso centrale. Queste cellule gliali ordinariamente rinchiodano la punta delle fibre nervose e ne precludono la crescita.

Vi sono prove sufficienti, raggiunte da Holger Hydén di Göteborg (Svezia), che, quando un impulso nervoso raggiunge una sinapsi provoca la produzione di molecole specifiche di ARN. Come nel tessuto embrionale, l'ARN induce (o almeno è correlato con) una notevole attività metabolica nelle cellule gliali che avvilluppano i neuroni. La ripetizione di questo schema di impulsi nervosi produrrebbe la suddivisione delle cellule gliali in cellule figlie, cosa che permetterebbe alla punta dei neuroni di crescere tra le cellule gliali figlie per costituire nuovi contatti con i neuroni situati al di là della precedente cellula gliale madre.

Questa è dunque una delle spiegazioni possibili del modo in cui la microstruttura elettrica e chimica di trasmissione sinaptica può venir modificata dall'esperienza. Una volta che ciò si sia verificato, il comportamento sarà in seguito determinato dalla modificazione intervenuta nel tessuto cerebrale.

### La memoria crea un sistema di riferimento

Abbandoniamo ora questo campo e occupiamoci di un processo specifico della memoria — il riconoscimento — per raggiungere una maggiore comprensione delle proprietà dell'immagazzinamento delle informazioni nel cervello.

Per prima cosa, è ovvio che il riconoscimento di un'informazione dipende dal suo immagazzinamento della memoria. Ciò che non è così ovvio, invece, è il fatto che la maggior parte delle percezioni sono basate sullo stato attuale dell'organizzazione neurale, vale a dire dello stato del cervello a un momento dato. Una parte

considerevole, anche se non tutta, di tale organizzazione è interna al cervello. Quanto l'esperienza modifichi ciò che percepiamo, appare evidente dai risultati sperimentali ottenuti una decina d'anni fa da Eugene Sokolov dell'Università statale di Mosca.

Sokolov ha eseguito una semplice dimostrazione che ha chiarito uno di quei fruttuosi paradossi che sono all'origine di un'intensa sperimentazione sul comportamento e il sistema nervoso. Quando una persona viene esposta al suono di un clacson, di solito, inizialmente essa ha un soprassalto e si volta verso il punto da cui

**L'abitudine non indica perdita di sensibilità da parte del sistema nervoso centrale, ma piuttosto il cervello sviluppa un modello neurale dell'ambiente, un'aspettativa in rapporto alla quale le stimolazioni vengono continuamente valutate**

il suono proviene. Ma se il suono si ripete di frequente, le sue reazioni diminuiscono notevolmente. Si dice allora che il soggetto si è abituato allo stimolo. Questa mancanza di reazione al suono continuato si rivela comunque ingannevole. In realtà, si verifica ancora una grande quantità di reazioni. Infatti, se lo stimolo cambia leggermente (per es. il suono diviene più breve o più attenuato), le reazioni iniziali di vigilanza ritornano. Questo è il paradosso. Prima della dimostrazione di Sokolov, gli psicologi ed i neurofisiologi ritenevano che l'abitudine rendesse il sistema nervoso semplicemente meno sensibile all'input. Ma le scoperte di Sokolov indicano che la persona, per abituarsi a un suono, deve confrontare il suono presente con una rappresentazione immagazzinata del suono udito in precedenza.

L'abitudine non indica quindi per-

dità di sensibilità da parte del sistema nervoso centrale, ma piuttosto che il cervello sviluppa un modello neurale dell'ambiente, una rappresentazione, un'aspettativa in rapporto alla quale le stimolazioni vengono continuamente valutate.

### Cellule specializzate nel nostro cervello

I neurochirurghi e i neurofisiologi hanno dimostrato, da parte loro, che prima che avvenga la percezione occorre che si strutturi uno stato cerebrale. Essi hanno esplorato la superficie del cervello di esseri umani viventi usando una leggera stimolazione elettrica. Quando l'elettrodo tocca il cervello in alcuni punti, provoca dei movimenti in alcune parti del corpo (dalla parte opposta a quella stimolata); quando invece lo tocca in altri punti, esso provoca delle sensazioni. Benjamin Libet del Centro medico di San Francisco in California, ha mostrato recentemente, comunque, che la presa di coscienza di ciò che produce la stimolazione non è immediata. Deve trascorrere un lasso di tempo, che va da mezzo secondo a cinque secondi, prima che la persona possa rendersi conto di ciò che sente. Appare così che la stimolazione elettrica organizza gradualmente un certo strato nel tessuto cerebrale, e che, solo dopo che questo stato è raggiunto, la persona diviene consapevole di ciò che è accaduto. Gli impulsi nervosi generati dalla stimolazione elettrica non comportano per se stessi la presa di coscienza immediata. Qual è allora l'organizzazione neurale, lo stato cerebrale che si crea parallelamente alla presa di coscienza dell'attività percettiva? Donald Hebb, dell'università McGill, nel suo classico volume *The Organization of Behavior*, ha riesaminato incisivamente i problemi sollevati dalla comprensione dell'organizzazione neurale della percezione, e specialmente del processo di riconoscimento. Egli afferma: « Bisogna decidere se la percezione deve dipendere: 1) dall'eccitazione di cellule specifiche, oppure 2) da uno schema di eccitazione la cui localizzazione non ha alcuna importanza ». Hebb ha fatto la sua scelta: « Una perce-

zione particolare dipende dall'eccitazione di cellule specifiche in un certo punto del sistema nervoso centrale ».

Ricerche effettuate negli ultimi dieci anni sembrano dargli ragione. Studi con microelettrodi come quelli effettuati da David Hubel e Torsten Wiesel dell'Università di Harvard, hanno identificato unità neurali che rispondono ad una caratteristica distintiva dello schema visivo, come la direzione del movimento, l'inclinazione della linea, ecc. Oggigiorno, io credo, i neurofisiologi si troverebbero, nel complesso, d'accordo con Hebb che ogni percepito corrisponde ad una unità nervosa.

### Campi elettrici di potenziali variati

Mi sembra comunque che la scelta di Hebb non sia veramente tale. Quando egli scrisse il suo libro, esistevano due ipotesi per spiegare il funzionamento del sistema nervoso. Secondo la prima, fondata su solidi elementi, il funzionamento del sistema nervoso ha per base la generazione di impulsi nervosi e la loro trasmissione attraverso le connessioni tra i nervi. L'altra si fondava sull'esistenza di campi aventi potenziali elettrici diversi. Wolfgang Köhler dello Swarthmore College, per esempio, basava le sue argomentazioni gestaltiche sull'esistenza di tali campi neuroelettrici e ha cercato di provare la loro esistenza ubiquitaria nei dieci anni che sono seguiti alla pubblicazione delle affermazioni di Hebb.

Io ho avuto la fortuna di prendere parte a tali esperienze. I primi tentativi sono stati coronati da successo. Si trovò che, quando venivano stimolati i recettori sensoriali (l'occhio, l'orecchio, la pelle, ecc.), le aree cerebrali corrispondenti erano generatrici di campi elettrici a corrente continua, e che, applicando direttamente al cervello una corrente elettrica convenientemente polarizzata, questi campi potevano ritardare o accelerare l'apprendimento percettivo.

Ma quando Köhler ha affermato che questi campi elettrici sono l'elemento fondamentale della percezione, non sono rimasto convinto. Lashley aveva posto un foglietto d'oro sulla superficie del cervello di gatti, nel

tentativo di creare dei cortocircuiti nei campi elettrici, e trovò che, ciò non annullava il processo percettivo. Roger Sperry dell'Istituto tecnologico della California, dopo avere delimitato certe aree della corteccia, ha inserito isolatori costituiti da fogli di mica nel tentativo di alterare la configurazione dei campi elettrici. Anche questo esperimento non è riuscito ad alterare la percezione. Köhler pensava che tali procedimenti non erano adeguati agli scopi per cui venivano usati e che i risultati di questi esperimenti non potevano servire per verificare le ipotesi di lavoro.

**... Un uomo, anche dopo una lesione che ha distrutto metà o più del suo sistema nervoso, non giunge per questo a riconoscere solo la metà della sua famiglia**

Ma quando io ho fatto numerose esperienze iniettando nella corteccia idrossido di alluminio o applicandolo sotto forma di crema sulla superficie corticale, e distrussi così in modo dimostrabile tutta quanta l'attività elettrica globale del cervello senza tuttavia danneggiare nell'animale sottoposto all'esperimento la discriminazione degli stimoli, Köhler ha esclamato: « Questo distrugge non soltanto la mia teoria del campo elettrico, ma anche ogni altra teoria attuale della percezione ».

Perché Köhler rimase così costernato da questi risultati? Sulla base di molti esperimenti che esponevano minuziosamente le interazioni tra gli effetti di stimolazioni sensoriali vicine, egli era arrivato alla conclusione che gli impulsi nervosi di per sé, in quanto dissociati nel tempo e nello spazio, non potevano spiegare i fenomeni percettivi. Ma fu di nuovo

Lashley che restituì tutto il loro interesse alla teoria dei « campi elettrici » cerebrali, anche se non si trovava d'accordo con le formulazioni particolari di Köhler. Lashley eseguì esperimenti con i ratti per mostrare che, paradossalmente, distruzioni anche molto ampie del tessuto cerebrale non riescono a danneggiare il riconoscimento. Tali esperimenti nacquero da una comune osservazione clinica: un uomo, anche dopo una lesione che ha distrutto metà o più del suo sistema visivo, non giunge per questo a riconoscere solo metà della sua famiglia. L'organizzazione dell'immagazzinamento dei ricordi nel tessuto cerebrale è tale che è difficile estrarne certi ricordi particolari. L'informazione, nella memoria, appare distribuita su zone cerebrali estese.

È stato nel tentativo di spiegare come impulsi nervosi trasmessi lungo vie distinte, potessero venir convertiti in un campo di attività comune, che funzionasse indipendentemente dalle cellule nervose particolari, che Lashley ha formulato l'ipotesi che un sistema di interferenze avrebbe potuto costituire qui la risposta. Ma, non potendo condurre i suoi esperimenti soltanto sugli impulsi nervosi, non poté descrivere in modo soddisfacente come tutto questo accadesse, e non poté dunque andare oltre questa intuizione.

### L'olografia può spiegare il funzionamento del cervello?

Il meccanismo a due processi del funzionamento del cervello, soprattutto se si insiste sull'esistenza di una microstruttura a potenziali lenti di congiunzione (fra neuroni), può a giusto titolo essere considerato come un meccanismo conforme all'ipotesi di uno schema di interferenze. Inoltre, negli ultimi venti anni, con l'avvento dell'olografia, si è reso disponibile un nuovo procedimento tecnico che permette di studiare le interferenze. Mediante questo procedimento ci si può rappresentare come si effettua l'organizzazione cerebrale nel corso della percezione, per esempio a partire dall'interazione fra elementi nervosi vicini. Esso d'altra parte offre

indicazioni preziose agli psicologi gestaltisti.

L'olografia è un procedimento analogo a quello fotografico, con una terminologia più sofisticata, un procedimento ottico che permette il trattamento delle informazioni ottiche. In una normale macchina fotografica la pellicola registra l'intensità della luce riflessa dagli oggetti. Ogni punto nella pellicola registra l'informazione che proviene da un singolo punto corrispondente nella scena fotografica. L'immagine che ne risulta è simile alla scena originale. Nell'olografia, la luce proveniente da ogni punto viene distribuita (diffusa) in molti punti della pellicola. Quando la pellicola viene sviluppata, non appare alcuna immagine visibile. In luogo dell'immagine, vi è sulla pellicola un insieme di onde grandi e piccole che assomigliano ad un pezzo di seta marezzata.

Per creare un ologramma è necessaria una luce coerente (un laser, per esempio) di cui una parte va direttamente alla pellicola fotografica, mentre l'altra parte viene riflessa da un oggetto o da una scena e poi viene fatta convergere sulla pellicola. Nella pellicola i due raggi di luce formano delle interferenze. La pellicola registra questo sistema di interferenza.

Per ricreare la scena, bisogna solo illuminare l'ologramma con una luce opportunamente coerente. Oppure, se l'ologramma è stato costruito inizialmente dirigendo ambedue i raggi verso degli oggetti, ciascuno essendo usato come riferimento per l'altro, si può restituire l'immagine dei due oggetti quando un solo fascio viene attivato di nuovo. Gli ologrammi posseggono così la proprietà del *richiamo associativo*. Abbiamo tutti sperimentato il fenomeno del rivisitare un vecchio quartiere dopo molti anni e del ricordare improvvisamente i negozi e i portoni, e anche la disposizione dei mobili nell'appartamento in cui si abitava. Se ci fosse stato richiesto di richiamare tali memorie senza l'input derivante dagli oggetti di « riferimento », cioè dalle strade e dagli edifici del quartiere, non saremmo stati in grado di farlo.

Inoltre, l'immagine che si ricava

## ROLAND GUILLEMARD

### I fenomeni ondulatori

*Ognuno ha potuto osservare un galleggiante che si innalza e si abbassa sul pelo dell'acqua. Il tempo necessario per un'oscillazione « completa » è detto periodo del fenomeno; il numero di periodi nell'unità di tempo è detto frequenza del fenomeno.*

*Nel nostro esempio si constata facilmente che anche le creste delle onde si muovono avanzando con una velocità costante e che la distanza tra due creste o tra due avvallamenti successivi è anch'essa costante. Tale distanza è la lunghezza d'onda del fenomeno. Più in generale, è così definita la distanza minima intercorrente tra due punti che siano nello stesso « stato di vibrazione ».*

### L'interferenza

*L'interferenza è il risultato dell'azione contemporanea di due o più vibrazioni nello stesso punto. Classico è l'esperimento di un vibratore che mette in moto due punte che colpiscono contemporaneamente la superficie di un liquido. Ciascuna delle punte, presa separatamente, produce delle onde circolari sulla superficie del liquido, che si propagano a partire dal punto in cui il corpo tocca il liquido. Quando le due punte agiscono contemporaneamente, il fenomeno si presenta in modo completamente diverso: la superficie dell'acqua presenta ancora un aspetto ondulato, ma si hanno quelle che sono dette onde stazionarie. Le creste o gli avvallamenti di queste onde non si spostano e non sono più circonferenze, ma linee più complicate (dette iperboli). Ogni punto di una cresta o di un avvallamento vibra con grande ampiezza prodotta dalla sommità degli effetti delle due onde iniziali. I punti vicini vibrano con ampiezze inferiori e così via, fino a che si arriva a linee i cui punti sono sempre in quiete, giacché sono sollecitati in direzione opposta dalle due onde che interferiscono in quel punto.*

*L'insieme delle onde che abbiamo preso in esame costituisce una « figura di interferenza » e si tratta di una figura molto diversa da quella che si ottiene considerando isolatamente ciascuna delle punte « sorgenti ». Si deve infatti osservare che la sovrapposizione di due movimenti può determinare l'immobilità. Va infine sottolineato che questo fenomeno è stato ottenuto a partire da due sorgenti che vibrano insieme con la stessa frequenza.*

### La coerenza

*Introduciamo ora il concetto di coerenza. Le nostre due punte colpiscono simultaneamente (« in fase ») la superficie dell'acqua. Noi otteniamo ancora l'interferenza se una delle due sorgenti di vibrazioni ha sull'altra un ritardo qualsiasi, ma costante, vale a dire se le vibrazioni sono coerenti. Se le due punte hanno invece due moti indipendenti e molto frequenti, con molte oscillazioni al secondo, così che non si può definire il ritardo dell'una sull'altra se non in forma aleatoria (vibrazioni incoerenti), non si osserva alcuna interferenza.*

### Le interferenze luminose

*Un fenomeno viene detto ondulatorio se permette di realizzare l'interferenza. La natura ondulatoria della luce è stata dimostrata proprio in questo modo (esperimenti di Young, Fresnel, ecc.). La sovrapposizione di due vibrazioni luminose di un certo tipo produce delle « frange di interferenza », si hanno cioè delle righe nere (nel punto in cui le due oscillazioni si annullano) alternate con righe molto luminose (là dove esse si sommano).*

*È molto difficile ottenere delle fonti di luce coerenti. Due punti di una stessa fonte luminosa (per esempio due punti di un filamento incandescente) sono tra loro incoerenti per la natura stessa del meccanismo del-*

## Per comprendere l'olografia

*l'emissione luminosa. Gli atomi che emettono la luce, emettono vibrazioni di frequenza molto elevata non lo fanno « a getto continuo », ma per treni d'onda, ognuno dei quali ha la durata di un centomillesimo di secondo circa e comporta alcuni milioni di onde. Supponendo che due atomi emettano contemporaneamente un treno d'onde (dando luogo così a due vibrazioni coerenti), è molto improbabile che i successivi treni d'onde siano emessi nelle stesse condizioni. La persistenza delle impressioni luminose sulla retina fa sì che il nostro occhio registri contemporaneamente il risultato di alcuni milioni di interferenze successive, non collegate tra loro, ciascuna col « tempo di coerenza » di un centomillesimo di secondo. Quello che si osserva, quindi, è il risultato medio, che crea l'impressione di un'illuminazione uniforme.*

*Per ottenere l'interferenza è necessario ricorrere ad artifici come quello consistente nel far interferire la luce proveniente da due immagini di una stessa fonte luminosa (esperienze di Fresnel). Il compito di ottenere l'interferenza è grandemente facilitato dall'uso del laser.*

### Il laser

*Senza entrare nei dettagli, si può dire che il laser è costituito da un dispositivo che permette di provocare l'emissione luminosa simultanea — o quasi — da parte di un gran numero*

*di atomi (emissione stimolata). Inoltre, grazie ad un particolare dispositivo, dal laser non escono che le vibrazioni in fase, quelle cioè i cui effetti si sommano, mentre le altre sono distrutte per interferenza. Si ottiene così un fascio di luce la cui caratteristica precipua è la coerenza (il tempo di coerenza raggiunge alcuni centesimi di secondo).*

### L'ologramma

*Grazie alla notevole coerenza del fascio laser, si possono ottenere interferenze in condizioni nelle quali la luce ordinaria non sarebbe in grado produrle. Questo è quanto avviene con l'olografia.*

*Il procedimento consiste nell'illuminare l'oggetto da sottoporre a procedimento olografico con un fascio di luce coerente (l'idea, concepita da Gabor nel 1948, non è stata realizzata praticamente che nel 1962 da Leith e Upatrick, dopo la messa a punto del laser). L'oggetto rinvia, per riflessione, un fascio luminoso che viene sovrapposto con un sistema di specchi alla luce proveniente direttamente dal laser (v. pag. 39). Si ottengono così delle figure di interferenza che si possono registrare su una lastra sensibile: l'ologramma. Quello che viene ottenuto non ha alcuna somiglianza con l'originale e la lastra ha l'aspetto di una superficie mazzata, che è il risultato della sovrapposizione delle interferenze prodotte da ciascun punto dell'oggetto considerato come*

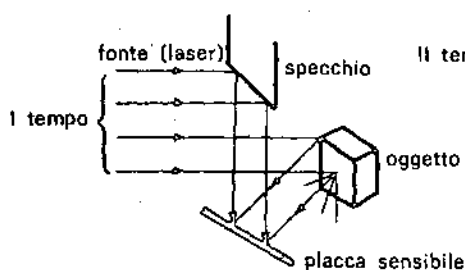
*fonte luminosa e che caratterizzano la posizione e la luminosità di quel punto. Ciò vale per qualsiasi altro punto dell'oggetto. Si registra quindi su un'unica lastra (olos = tutto) l'intensità luminosa ed il rilievo.*

*Per la riproduzione, si illumina l'ologramma con la stessa luce coerente con cui è stato registrato e, anche se l'oggetto non è più presente, esso ricompare con il suo rilievo integrale. Effettivamente, in queste condizioni l'ologramma diffrange questa luce rinvandola in tutte le direzioni con intensità variabili a seconda della direzione (il fenomeno è paragonabile a quello che determina un alone di luce intorno ad una lampada stradale in una notte di nebbia). In questo caso specifico la diffrazione della luce dall'ologramma di un punto dell'oggetto, ricostituisce in una determinata direzione la stessa immagine che si può vedere osservando direttamente il punto, poiché l'onda luminosa « di riferimento » è modificata dall'ologramma proprio nello stesso modo in cui essa viene modificata, in fase di registrazione, dalle onde provenienti dall'oggetto. Ciò vale per qualsiasi punto.*

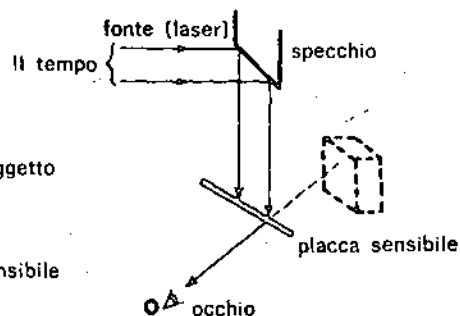
*Osservando l'ologramma, si ottiene dunque un'immagine che cambia di aspetto a secondo del punto di osservazione, cosa che permette appunto la ricostituzione del rilievo.*

*Bisogna notare che le informazioni relative ad ogni punto dell'oggetto sono distribuite su tutto l'ologramma, il che non avviene nella fotografia. Il risultato è che, se si spezza la lastra, si può ugualmente ricostruire l'oggetto nel suo insieme giacché ogni punto contiene informazioni (cioè un frammento della figura di interferenza) su tutti i punti dell'oggetto. Notiamo infine che nulla vieta di ottenere degli ologrammi con altre vibrazioni che non siano quelle luminose: per esempio vibrazioni elettriche o sonore.*

Registrazione



Ricostruzione



© Psychologie  
e Psicologia contemporanea

da un ologramma restituisce la prospettiva tridimensionale reale. Movendo la testa, lo spettatore può guardare intorno agli oggetti e dietro di essi, proprio come se si guardasse una scena reale da diverse posizioni.

Questo procedimento olografico, che permette di suddividere e di ritrovare facilmente le informazioni, dà una buona idea del tipo di meccanismo che si produce nel cervello, nel caso della percezione. La pellicola olografica si può tagliare in tante parti e ottenere, a partire da ogni frammento, l'intera immagine. Anche se una parte notevole della pellicola è danneggiata, la figura non ne sarà per questo impoverita, e si ricostruirà a partire dalle parti rimaste. Se spezzate a metà una normale fotografia della vostra famiglia, metà della famiglia sparisce. Fate questo con un ologramma e il riconoscimento rimane inalterato.

L'ologramma inoltre ha una straordinaria capacità di ritrovare le informazioni registrate. In un unico ologramma si possono sovrapporre molti sistemi di interferenze. Sono stati immagazzinati olograficamente in un centimetro cubo circa 10 miliardi di bit di informazione! Le due proprietà del meccanismo cerebrale del riconoscimento, cioè la distribuzione delle informazioni e la capacità di conservarle in numero molto grande, sono ben descritte dal modello olografico.

### **Esperienze che confermano questa ipotesi**

L'olografia non è legata alla presenza fisica di onde luminose, anche se le equazioni matematiche che descrivono gli ologrammi sono derivate dai fenomeni ondulatori. Grazie ad un calcolatore si è ottenuta una simulazione del processo olografico che promette di essere un importante aiuto agli odierni sistemi di elaborazione delle informazioni.

L'indipendenza dell'olografia dal fenomeno fisico di emissione di onde è importante per comprendere il processo olografico che ha luogo a livello del sistema nervoso, dal momento che vi sono notevoli dubbi sul fatto che le onde cerebrali, come quelle registrate dall'elettroencefalografo, possa-

no essere la base di un'elaborazione olografica dell'informazione. Tuttavia la loro presenza è senza dubbio il riflesso globale di un processo di questo tipo. Mentre le onde elettriche cerebrali ordinarie sono piuttosto lunghe allo stato normale, la loro lunghezza d'onda varia inversamente con la quantità di informazione memorizzata.

Ma la microstruttura dei potenziali deboli di congiunzione fornisce il ricco substrato richiesto da un processo olografico. Consideriamo l'arrivo di impulsi nervosi ad un insieme di sinapsi. Quando gli impulsi afferenti conver-

**In un unico ologramma si possono sovrapporre molti sistemi di interferenze. Sono stati immagazzinati olograficamente in un centimetro cubo 10 miliardi di bit di informazione!**

gono almeno da due fonti, si creano sistemi di interferenze. È stato dimostrato che tali fenomeni di interferenza si hanno nella corteccia del cervello, ed è dunque verosimile che essi si producono anche in altri tessuti corticali.

Esperimenti condotti da Fergus Campbell e dai suoi collaboratori alla Cambridge University hanno fornito dimostrazioni dirette di un processo neurale olografico. Campbell ha usato reticoli di diffrazione (raccolti mediante elettrodi posti sulle parti del cervello corrispondenti alle stimolazioni) con intervalli diversi, e ha mostrato che potenziali visivi evocati da un reticolo con un dato intervallo danno origine ad un fenomeno di assuefazione per tutta una serie di intervalli. Ciò indica che il meccanismo cerebrale implicato è sensibile non all'intervallo in sé, ma ad un processo che trasforma nello stesso

modo una classe di diffrazione di intervalli variati. Una tale trasformazione è matematicamente identica a quelle usate per la costruzione di ologrammi. Il risultato sperimentale di Campbell spiega il fatto che un bambino, che ha imparato a identificare le lettere dell'alfabeto, può riconoscerle, quali che siano le loro dimensioni. Il bambino identifica rapidamente la lettera « A », alta sei metri, su un pannello pubblicitario, anche se tutte le « A » che ha visto prima non erano più grandi di un centimetro.

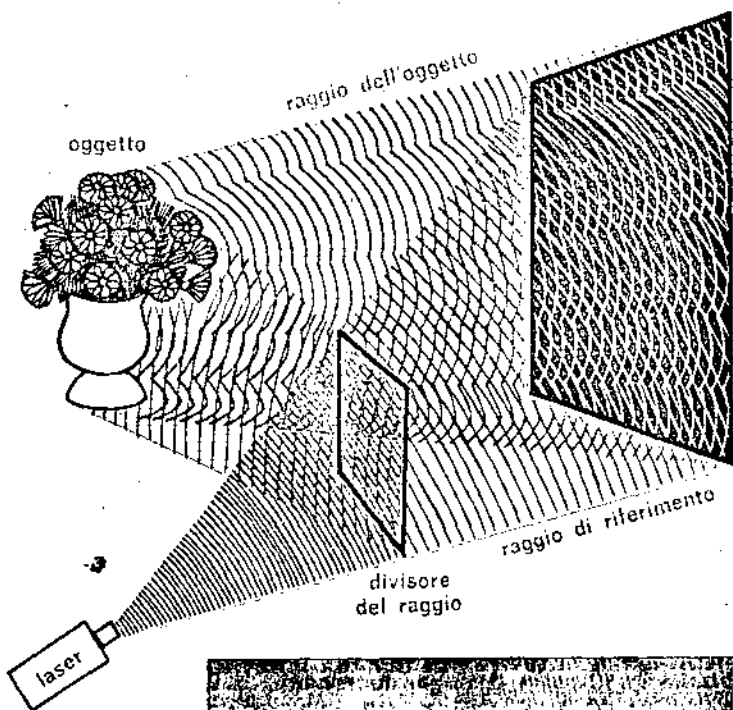
Recentemente questi esperimenti hanno fatto un ulteriore passo avanti per merito di David Pollen dell'Università di Harvard. Pollen ha dimostrato che « la corteccia striata trasforma la rappresentazione topografica dello spazio visivo nel corpo laterale genicolato in una trasformata di Fourier o rappresentazione di frequenza spaziale a livello complesso cellulare attraverso lo stadio intermedio di semplice cellula (linea sensitiva) di 'strip integration' ». In breve, la distribuzione di brillantezza che cade su campi reattivi adiacenti è « effettivamente decomposta in un gruppo di onde sinusoidali con tutti i possibili angoli di posizione e che coprono un ampio campo di cicli per grado di angolo visuale », soddisfacendo la promessa dell'esperienza di Campbell.

### **Anni di ricerca in prospettiva**

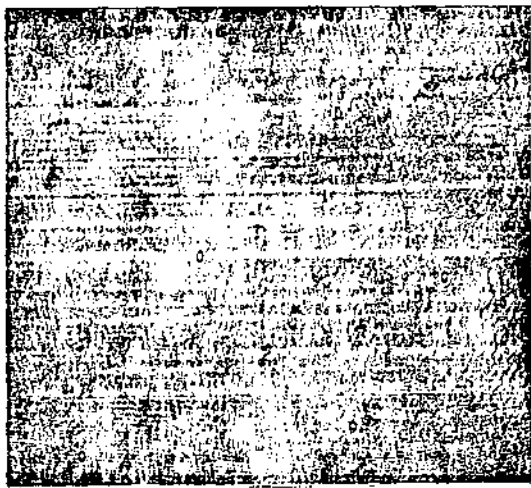
Se il riconoscimento è un processo olografico, allora il sistema visivo separa le frequenze spaziali percepite di un oggetto in canali indipendenti e usa il rapporto tra tali frequenze — lo schema di interferenza — per identificare l'oggetto. Nel corso di tale processo, le armoniche verrebbero immagazzinate nel sistema mnemonico, rendendo irrilevante l'informazione relativa alla grandezza assoluta di un oggetto. Se la grandezza di ogni oggetto dovesse essere depositata nella memoria, sia il processo di ritenzione che quello di reperimento ne verrebbero complicati.

Anche lo studio della percezione visiva nei neonati rafforza l'ipotesi di un processo olografico. Contrariamente alle opinioni generalmente accettate, basate sulle teorie di Hebb,

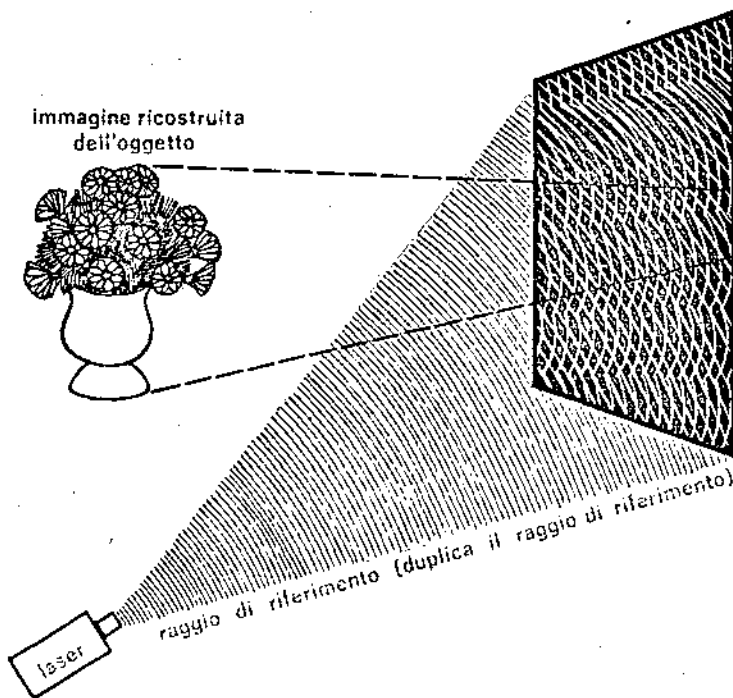




**RICOSTRUZIONE DELL'OLOGRAMMA.** La luce dal raggio di ricostruzione viene diffusa dalla lastra nello stesso modo in cui la luce dall'oggetto era stata diffusa mediante la lastra.



**LA STRA OLOGRAFICA INGRANDITA.** Risultato di schemi di interferenza da un oggetto e da un raggio di riferimento.



**COSTRUZIONE DI UN OLOGRAMMA.** Un raggio laser viene scisso, parte della luce viene diretta verso una lastra fotografica e l'altra parte viene riflessa da un oggetto sulla lastra.

la costanza della forma e delle dimensioni *non* deriva da una combinazione di percezioni precedenti e presumibilmente più antiche. L'affermazione di Hebb era basata su esperimenti ed osservazioni cliniche effettuati da soggetti che si erano sviluppati in condizioni di deprivazione sensoriale. Egli ipotizzò che era necessaria l'esperienza perché la percezione si sviluppasse normalmente a livello cerebrale. Ma esperimenti effettuati da Thomas Bower all'Università di Harvard hanno mostrato che nei bambini di sei settimane si può constatare la costanza di forma e dimensioni, e che tali fenomeni di costanza dipendono dall'effetto di parallasse (vedere un oggetto che si muove in rapporto ad un altro). Esistono meccanismi per mettere in evidenza l'effetto di parallasse più semplici della prospettiva tridimensionale fornita dall'olografia?

Hubel e Wiesel hanno dimostrato che i meccanismi elettrofisiologici « detettori » che servono a riconoscere le informazioni sono già ben sviluppati nei mammiferi alla nascita e che si deteriorano in seguito ad una deprivazione sensoriale. Inoltre, quando la deprivazione è limitata ad un occhio, il deterioramento dei meccanismi elettrofisiologici è maggiore di quando la deprivazione riguarda tutti e due gli occhi, nonostante il fatto che ogni meccanismo « detettore » corticale sia correlato a tutti e due gli occhi. Così, la deprivazione sensoriale non colpisce lo sviluppo della funzione di « detezione » di certe dimensioni. O il meccanismo si atrofizza per il fatto di non essere usato, o il cattivo funzionamento, indotto dalla deprivazione, lo sopprime attivamente. In ambedue i casi, è il meccanismo di connessione tra i « detettori » che è interessato, vale a dire i loro punti di contiguità e non i neuroni « detettori » in se stessi. E, come abbiamo già visto, vi sono ampie prove che la microstruttura di congiunzione sia fortemente sensibile alle modificazioni indotte dall'esperienza.

Questa mia analisi della percezione è stata unilaterale. Ho esaminato la modalità visiva, anzi soltanto un aspetto di essa. Perché l'ipotesi olografica possa essere di interesse generale, è

necessario che, con alcune modificazioni, essa si adatti anche ad altre modalità sensoriali.

I modelli generali dei processi uditivi e tattili proposti da Georg von Békésy dell'Università di Hawaii si servono di equazioni identiche a quelle che descrivono il processo olografico. Le applicazioni delle ipotesi olografiche agli studi dei processi cerebrali uditivi e tattili, perciò, dovrebbero essere possibili e produttive.

Al momento attuale conosciamo troppo poco sui processi neurologici del gusto e dell'odorato per permetterci più che un'ipotesi sull'applicabilità del modello olografico in questo caso. Ma, ancora una volta, Békésy ci ha mostrato come questo possa venir fatto, e l'analisi unitaria dei neuroni nel bulbo olfattivo effettuata da Jerome Lettvin del Massachusetts Institute of Technology ci suggerisce l'attuabilità di questo approccio.

Quando il modello olografico viene considerato seriamente, diventano comprensibili molti paradossi che riguardano il funzionamento cerebrale nel caso dei processi percettivi. Ciò non significa però che tutte le funzioni cerebrali possano essere spiegate attraverso l'olografia né che tutti i problemi del riconoscimento siano riconducibili ad un'analisi olografica.

L'ologramma neurale viene usato per spiegare l'attività psicologica della percezione e quella della memoria nel cervello. Non deriva da questo che le informazioni memorizzate siano distribuite alla rinfusa in tutto il cervello — e va detto che devono giocare un certo ruolo nell'acquisizione delle informazioni anche meccanismi mnesici diversi da quelli che costituiscono il modello olografico — nella percezione stessa e certamente anche nel riconoscimento.

Le grandi linee dei procedimenti olografici a livello del sistema nervoso si stanno abbozzando soltanto adesso — anche se possiamo dire di avere davanti a noi almeno un abbozzo, relativo ad un territorio in cui, fino a poco tempo fa, soltanto dei folletti popolavano il reame della « neuro-mitologia ».

## RIVISTA DI PSICOLOGIA

Numero unico 1973

- BASSI A., I disturbi della voce nell'età evolutiva
- BARTOLI BONAIUTO G., Evoluzione della personalità e piacere estetico
- BARTOLI BONAIUTO G., Lettura di significati in oggetti e in comportamenti prodotti durante sedute di psicoterapia infantile
- BONAIUTO P., BORROMEI A., PUCCINI C., Rilievi sugli « effetti successivi » nella percezione tattile-cinestetica in soggetti portatori di lesioni cerebrali. Tecnica e applicazione medico-legale
- BONINO S., NEGRO SANCIPRIANO E., Come il bambino organizza le « parti » e il « tutto » (approccio sperimentale al problema sul piano lessicale ed operatorio)
- CAPRARA G. V., Note critiche sul concetto di « formazione » nell'università e nell'azienda
- CARAMELLI N., Lo studio dell'intelligenza nella teoria genetica e nella teoria della Gestalt: osservazioni critiche
- CESA-BIANCHI M., RAVACCIA F., Interazione sociale e sviluppo della personalità nei bambini handicappati
- CIAMBELLI M., TOZZI MENNILLO S., Aspetti problematici nella struttura del pregiudizio etnico in Italia
- FARNETI A., Osservazioni sull'acquisizione dei gruppi spaziali nella prima infanzia
- GENTA M. L., Studi recenti sul comportamento di spazializzazione nell'animale e nell'uomo
- LEGRENZI P., Probabilità soggettiva e strategie di pensiero (un esperimento sul problema delle concordanze)
- LOSTIA M., Le spiegazioni causali in psicologia
- MANSUETO ZECCA G., Transfert intermodale tatto-vista e vista-tatto nell'età prescolare. Contributo sperimentale
- MEAZZINI P., L'effetto von Restorff nell'apprendimento incidentale
- MICATI ZECCA L., Considerazioni su uno stage di psicodramma analitico
- ROSSI S., DE JORIO L., Dinamica del consenso in piccoli gruppi in situazione di problem-solving
- VALENTINI E., Come si è giunti all'istituzione del corso di laurea in psicologia
- ZANUTTINI L., Una nuova spiegazione dell'illusione di Poggendorff



Giunti - Barbèra