

Il funzionamento del cervello

(Parte Seconda)

Salvatore Leonardi

Il linguaggio

E' giunto il momento di affrontare la spinosa questione relativa al linguaggio.

Come di consueto tracciamo una breve sintesi sulle conoscenze attuali su tale argomento traendo le notizie dal capitolo 54 del testo "Principi di neuroscienze"

I linguisti e gli psicologi ritengono che i meccanismi relativi agli aspetti universali del linguaggio siano determinati dalla struttura del cervello umano. Secondo questa ipotesi, il cervello dell'Uomo è già predisposto ad apprendere ed usare il linguaggio dal suo programma di sviluppo. Il tipo di linguaggio che viene parlato, i dialetti e le inflessioni dipendono invece dall'ambiente sociale.

Due sono le domande fondamentali a cui si cerca di rispondere nello studio delle afasie. Anzitutto, le turbe di linguaggio alterano soltanto le capacità linguistiche o sono in rapporto con disturbi cognitivi più generali? In secondo luogo quali sono le strutture nervose che stanno alla base delle regole innate della grammatica universale?

Le afasie sono disturbi del linguaggio che dipendono da lesioni di particolari zone del sistema nervoso, quasi sempre della corteccia cerebrale. Le alterazioni del linguaggio determinate da danni corticali non si manifestano con una riduzione globale delle capacità linguistiche; al contrario lesioni localizzate in diverse parti della corteccia cerebrale alterano in maniera specifica particolari aspetti del linguaggio. Inoltre queste alterazioni determinano spesso compromissioni delle facoltà cognitive.

Ricerche sul linguaggio mediante segni dei sordomuti hanno dimostrato che la comunicazione mediante segni ha la stessa complessità strutturale che caratterizza il linguaggio parlato ed è essa pure localizzata nell'emisfero sinistro. Queste osservazioni mettono in luce tre punti. Primo, l'emisfero sinistro contiene facoltà cognitive che riguardano il linguaggio e tali facoltà sono indipendenti dalle modalità sensitive e motorie che vengono usate nella sua elaborazione. In secondo luogo la parola e l'udito non sono essenziali affinché nell'emisfero sinistro emerga la capacità di esprimersi attraverso il linguaggio. Terzo, il linguaggio parlato non è che una delle tante capacità cognitive che possono venir espresse dall'emisfero sinistro. La caratteristica delle afasie è rappresentata da una alterazione delle facoltà del linguaggio che interessa la sua comprensione, la sua espressione od entrambe e che non è attribuibile a difficoltà di parola quali la disartria o la disfonia.

Le prime due forme di afasia conosciute sono state l'afasia di Broca e l'afasia di Wernicke. Nella prima i pazienti hanno difficoltà ad esprimere i propri pensieri sia in forma scritta che con il linguaggio parlato. Nella seconda i pazienti hanno difficoltà nella comprensione del linguaggio parlato ed anche della lettura. Non esiste una classificazione universalmente accettata dei diversi tipi di afasia. Geschwind e Damasio hanno proposto una classificazione molto utile, che è una elaborazione del modello Wernicke-Geschwind. Per capire questo schema prendiamo in esame ciò che accade quando un soggetto debba ripetere una parola che abbia udito.

Secondo il modello originale di Wernicke-Geschwind, questo compito comporta il trasferimento dell'informazione della membrana basilare dell'apparato acustico al nervo uditivo e di qui al corpo genicolato mediale. L'informazione viene quindi trasferita alla corteccia uditiva primaria (area 41 di Brodmann) e poi alla corteccia uditiva di ordine superiore (area 42 di Brodmann), prima di venir convogliata a una regione specifica della corteccia associativa parieto/temporo/occipitale localizzata nel *giro angolare* (area 39 di

Brodmann) che si ritiene sia in rapporto con l'integrazione delle informazioni afferenti uditive, visive, tattili. Da qui l'informazione viene proiettata all'area di Wernicke e quindi, attraverso il fascicolo arcuato, all'area di Broca, dove la percezione del linguaggio viene tradotta nella struttura grammaticale di una frase e dove viene immagazzinata la memoria necessaria per articolare la parola. L'informazione riguardante il tipo di suono che deve essere emesso raggiunge infine l'area della faccia, nella corteccia motrice che controlla l'articolazione del suono e la parola può venir pronunciata.

Secondo Wernicke e Geschwind analoghe dovrebbero essere le vie interessate quando il compito è quello di denominare un oggetto, riconosciuto con la vista.

Secondo il predetto modello, l'informazione dovrebbe essere trasferita, in questo caso, dalla retina al corpo genicolato laterale e di qui alla corteccia visiva primaria (area 17 di Brodmann). L'informazione viaggia quindi verso una corteccia di ordine superiore (area 18) e di qui raggiunge dapprima il giro angolare e quindi l'area di Wernicke, dove l'informazione viene trasformata in una rappresentazione fonetica (uditiva) della parola.

Una volta formatosi lo schema sonoro questo viene trasferito all'area di Broca attraverso il fascicolo arcuato..

Il modello originale di Wernicke-Geschwind è in grado di fare parecchie previsioni interessanti. Anzitutto predice le conseguenze di una lesione dell'area di Wernicke. Le parole che raggiungono la corteccia uditiva non riescono ad attivare l'area di Wernicke e perciò non vengono capite. Se la lesione si estende al di là dell'area di Wernicke posteriormente ed inferiormente, finirà per interessare anche la via deputata all'elaborazione dell'informazione visiva per il linguaggio. Di conseguenza il paziente non sarà in grado di capire né la parola udita né quella scritta. In secondo luogo, il modello predice esattamente che una lesione nell'area di Broca non interesserà la comprensione della parola scritta ed udita ma determinerà piuttosto una grave alterazione del discorso e della produzione di parole in quanto lo schema relativo all'emissione dei suoni e alla struttura del linguaggio non verrà trasferito alla corteccia motrice. In terzo luogo, il modello prevede che una lesione del fascicolo arcuato, interrompendo le connessioni tra l'area di Wernicke e quella di Broca, alteri la comunicazione verbale, in quanto le afferenze uditive non potranno venir trasmesse a quella parte della corteccia che è deputata all'emissione della parola.

Studi recenti indicano che questo modello può venir modificato sotto diversi aspetti.

Si è visto, per esempio che l'informazione visiva non viene inviata all'area di Wernicke, ma procede direttamente dalle cortecce superiori visive all'area di Broca.

Certi elementi affettivi del linguaggio sono in rapporto con lesioni dell'emisfero destro

Abbiamo preso in esame fin qui solo gli elementi cognitivi del linguaggio. Tuttavia, il linguaggio umano e, più in generale, i sistemi di comunicazione umani posseggono anche elementi affettivi importanti. Questi elementi comprendono l'intonazione espressiva del linguaggio (*prosodia*) e le sincinesie emotive che lo accompagnano.

Elliot Ross ha osservato che certi elementi affettivi del linguaggio dipendono da processi specializzati che hanno sede nell'emisfero destro. Il termine di *aprosodia* si riferisce alle alterazioni di questi elementi affettivi del linguaggio che sono associate a lesioni dell'emisfero destro. L'organizzazione delle prosodie nell'emisfero destro sembra essere l'immagine speculare dell'organizzazione anatomica degli aspetti cognitivi del linguaggio dell'emisfero sinistro. Così, per esempio, i pazienti portatori di lesioni della parte anteriore dell'emisfero destro hanno un tono della voce incolore sia che siano tristi o di buon umore. I pazienti colpiti da lesioni della parte posteriore dell'emisfero non sono in grado di capire il messaggio affettivo del linguaggio altrui.

Nuova teoria sulla funzione dei due emisferi e sul linguaggio

E' evidente che non possiamo essere d'accordo con questa interpretazione del linguaggio umano. Essa non tiene minimamente conto dei significati, ovvero degli **psicostati**

Siamo d'accordo con i linguisti e gli psicologi quando affermano che i meccanismi relativi agli aspetti universali del linguaggio sono determinati dalla struttura del cervello umano.

A nostro avviso sono proprio gli **psicostati** costruiti dalle colonne i **significati** che le parole esprimono simbolicamente, **Gli aspetti universali del linguaggio sono proprio gli psicostati significativi.**

Dietro le parole ci sono i significati costruiti dal cervello per mezzo delle colonne e che noi abbiamo indicato quali psicostati.

Come nasce il linguaggio?

Il linguaggio e l'intelligenza umana hanno origine dalla "liberazione" degli psicostati dai vincoli con "la realtà esterna"

Per far comprendere questa affermazione è bene partire da un esempio. Siamo nella savana ed un leone è a caccia. Vede una zebra e si prepara all'attacco. All'improvviso spaventata da un rumore la zebra si allontana di corsa. Il leone costruisce il pensiero "la zebra *fugge*". Questo costrutto implica, nel cervello del leone, l'attivazione dell'area visiva (la zebra) e forse dell'area medio temporale superiore (*fugge*). Vi è pure l'attivazione di una terza area per il collegamento dei due costrutti "zebra" e "fugge". Quest'ultima area è quasi certamente l'area frontale. Lo psicostato "fugge" rimane però vincolato allo psicostato "zebra". Può essere riutilizzato associato ad un altro costrutto, per esempio l'antilope. In tal caso il leone costruirà il pensiero "l'antilope *fugge*". Questo accade però se il leone "vede" o ricorda questa scena.

"Il mondo esterno" costituisce per gli animali un vincolo fortissimo di legame tra i vari psicostati. Nell'uomo ad un certo punto dell'evoluzione questo vincolo si è spezzato. Gli psicostati si sono liberati dalla "realtà esterna". Il cervello dell'uomo in tal modo può utilizzare lo psicostato *fugge* ed associarlo con lo psicostato *la vita* e costruire il pensiero "la vita fugge". Questo pensiero è impossibile per il leone.

La possibilità di prendere qualsiasi psicostato ed associarlo con qualsiasi altro prescindendo dall'esperienza contingente ha avuto due importanti conseguenze. La prima è che è aumentato il numero degli psicostati utilizzabili ed utilizzati (più avanti spiegheremo come il cervello costruisce gli psicostati). La seconda conseguenza è che è aumentato considerevolmente il numero dei pensieri possibili. Ciò ha determinato un incremento notevole della corteccia cerebrale. Vediamolo con alcuni esempi. Abbiamo già detto che nell'area inferotemporale si costruiscono gli oggetti collocati nello spazio. In quest'area, per esempio si costruisce lo psicostato *cerchio*. Esso è un *blocco* costituito da altri psicostati quali *circonferenza*, *area*, *raggio*, *angolo*. È difficile credere che questi psicostati siano costruiti da un leone. Egli, al più, riconoscerà la *forma* del cerchio e basta. La costruzione dello psicostato *angolo* non nasce per una esigenza "reale" di sopravvivenza. È proprio questa autonomia degli psicostati che consente alla mente umana di sbizzarrirsi a costruire per ogni ambito possibile molti psicostati. In tal modo la corteccia inferotemporale si ingrandisce notevolmente per contenere tutti questi nuovi blocchi e psicostati. Un analogo processo avviene, per esempio, nelle aree premotorie, che in rapporto al peso corporeo sono aumentate di circa sei volte nel passaggio evolutivo dal macaco all'uomo. I nuovi pensieri scaturiti dallo svincolo degli psicostati determinano l'opportunità di costruire utensili per scopi ben precisi. Le aree premotorie devono adeguarsi per l'esecuzione di movimenti complessi e fini. Questo adeguamento comporta la costruzione di nuovi psicostati ripartiti in aree determinate. Tutto ciò fa crescere notevolmente questa parte della corteccia.

Il linguaggio nasce dall'esigenza di esprimere, attraverso simboli, costrutti il cui significato non si vede né si ascolta o si sente. Ritornando all'esempio precedente, il leone vede la zebra e ne osserva la fuga. La stessa consapevolezza è degli altri felini presenti. Se però il leone vuole esprimere qualcosa che non si osserva o si tocca emette dei segnali che sono compresi dai suoi conspecifici.

L'enorme ampliamento di costrutti, quali *vita*, *speranza*, *amore*, che non appartengono alla sfera sensitiva spinge l'uomo a costruire dei simboli per poterli esprimere e comunicarli ai suoi simili. Da questa esigenza nasce il linguaggio.

A livello di psicostati cosa è la *parola*?

Possiamo distinguere il *segno/parola* dal *significato/parola*. Il *segno/parola* è il suono o il grafo che ci consente di comunicare. Il *significato/parola* è il significato di quella parola. Se il segno è dato da un suono abbiamo la *parola detta*, se il segno è un grafo abbiamo la *parola scritta*.

Affinché la *parola/segno* acquisti significato è necessario che ad essa sia associato lo psicostato che corrisponde a quel preciso significato.

L'associazione avviene attraverso un ulteriore psicostato che correla i due costrutti: *segno* e *significato*. Facciamo un esempio. Noi pronunciamo la parola/segno *sedia* essa viene costruita nell'area di Wernicke, però per comprenderne il significato dobbiamo associarvi l'immagine a cui si riferisce. Questa associazione è realizzata tramite un correlatore (sempre lo stesso per tutte le parole), il quale prende il significato come riferito ed il segno come riferito.

Allo stesso modo se leggiamo la *parola/segno* "*speranza*", essa viene costruita nelle aree visive superiori del lobo occipitale, per comprenderne il significato dobbiamo associarla allo *psicostato* "*speranza*", costruito probabilmente nel lobo temporale. L'associazione avviene attraverso un terzo psicostato che ha la funzione di collegare il *segno/parola* con il *significato/parola*.

Anche le preposizioni, le congiunzioni, i pronomi si possono distinguere in *parole/segni* e *parole/significati*. La preposizione "*di*" come *parola/segno* è un *grafo* o un *suono* che utilizziamo per comunicare; la stessa preposizione "*di*" come *parola/significato* è uno psicostato con una certa struttura diverso da altri quali "*con*", "*per*", ecc. Un terzo psicostato (lo stesso per tutte le parole) correla la *parola/segno* "*per*" con la *parola/significato* "*per*". Questo collegamento ci fa capire il significato della *parola/segno* "*per*" che leggiamo o ascoltiamo.

Le *parole dette* in tal modo si collegano ai rispettivi significati. Lo stesso accade per le *parole scritte*. Anch'esse si collegano ai propri significati.

Una facoltà che noi umani abbiamo è quella di leggere ad alta voce una parola senza comprenderne il significato.

Ciò è possibile in quanto il *grafo* viene associato con il *suono*. Senza questa associazione non sarebbe possibile leggere, per esempio, in una lingua straniera senza comprendere il significato di ciò che si legge. L'associazione tra *grafo* e *suono* avviene tramite lo stesso correlatore che collega le *parole/segno* con le *parole/significato*.

Avremo quindi che partendo dalla *parola scritta* si può accedere direttamente al suo significato oppure si può associare la *parola scritta* alla *parola pronunciata* e giungere al significato tramite la *parola pronunciata*.

In base a quanto finora scritto sul linguaggio, nell'emisfero sinistro vi sono numerose aree che esplicano sei importanti funzioni.

- 1) aree dei *significati*, sparse dappertutto nella corteccia. Sono gli psicostati o meglio i *blocchi* che riguardano persone, eventi, oggetti, verbi, correlatori, ecc.;
- 2) aree dei *suoni/segni*. Si tratta di psicostati presenti soprattutto nell'area di Wernicke, che costruiscono *segni* dai *suoni* provenienti dall'esterno;
- 3) aree dei *grafi/segni*. Si tratta di psicostati presenti nelle aree visive secondarie che costruiscono *segni* dai *grafi* letti.
- 4) aree dei *correlatori grafi/segni/significati*. Si tratta di psicostati che consentono di associare le *parole lette* con i loro *significati*
- 5) aree dei *correlatori suoni/segni/significati*. Si tratta di psicostati che consentono di associare le *parole dette* con i loro *significati* (come struttura si tratta di un unico psicostato)
- 6) aree dei *correlatori suoni/grafi*. Si tratta di psicostati che consentono di associare le *parole lette* alle *parole dette* (Come struttura è sempre lo stesso psicostato).

Consideriamo adesso l'emisfero destro ed il suo rapporto con il linguaggio

Gli studi sul flusso ematico indicano che durante l'elaborazione del linguaggio vi è un notevole afflusso di sangue nell'emisfero destro. Sappiamo pure però che un danno all'emisfero destro non produce i gravi disturbi prodotti da lesioni all'emisfero sinistro. Ciò pone il problema del ruolo svolto dall'emisfero destro nell'elaborazione del linguaggio. Si è già parlato degli aspetti emozionali del linguaggio elaborati da questo emisfero. Si è inoltre constatato che la capacità di percepire l'umorismo e le allusioni rientrano nelle funzioni dell'emisfero destro. Questo emisfero sa pure svolgere delle interpretazioni non letterali del linguaggio che possono essere importanti per la comprensione del sarcasmo e della metafora. I pazienti con danni all'emisfero destro tendono a dare interpretazioni più letterali del linguaggio e manifestano dei disturbi fini di comunicazione. Talvolta i pazienti con danni all'emisfero destro sono descritti come persone che hanno un linguaggio piuttosto scialbo, non interessante. L'emisfero destro può anche intervenire nel fornire il contesto generale in cui è espresso il linguaggio.

E' possibile da questi dati indicare quali sono le differenze fondamentali che contraddistinguono i ruoli svolti dai due emisferi nell'elaborazione del linguaggio? E' possibile risalire ad una specifica differenza funzionale? Secondo noi sì.

La differenza è probabilmente questa. *Nell'emisfero dominante (quasi sempre il sinistro) si associa il suono e lo scritto al significato, nell'emisfero non dominante (quasi sempre il destro) si associa il significato al suono e allo scritto*

Nel primo caso si costruisce il *simbolo* nel secondo caso il *senso*.

L'emisfero destro costruisce il *senso* di una parola, di una frase. Esso cerca subito il significato e poi vi associa il suono e il grafo. L'emisfero sinistro costruisce il simbolo. Parte dal suono o dal grafo e poi vi associa un significato. L'emisfero dominante dà una interpretazione letterale del linguaggio in quanto trasforma *segni* in *simboli*. L'emisfero destro, non dominante, costruisce il significato di una frase e poi lo trasforma in qualcosa che ha un *senso*

Ricordiamo che G. Frege parlava di un rapporto ternario tra segno (*Zeichen*), significato (*Bedeutung*) e senso (*Sinn*).

Partendo da questi dati occupiamoci adesso delle *dislessie*.

Possiamo definire la dislessia una patologia nella quale si manifestano difficoltà nella lettura o nella comprensione di ciò che si legge. Le dislessie possono essere acquisite in seguito a traumi che colpiscono varie parti del cervello.

Le dislessie acquisite si possono spiegare con la distruzione di aree che consentono le varie associazioni tra *parole scritte, dette e psicostati significativi*.

Consideriamo la *dislessia profonda*. (o *dislessia semantica*)

I pazienti affetti da questa patologia quando leggono una parola ne dicono un'altra simile per significato, ma differente per caratteristiche visive ed uditive. Per esempio leggono la parola "gnomo" dicendo al suo posto "folletto", oppure "bianco" al posto di "nero", "demone" per "satana". Questi errori sono chiamati paralessie semantiche perché vi è una relazione nel significato fra lo stimolo (la parola presentata) e la risposta (la parola letta). I pazienti con dislessia profonda, inoltre, quando leggono parole che hanno desinenze tendono ad ometterle o a sostituirle con altre. Così potrebbero leggere la parola governante come governa. Inoltre tendono a scambiare tra di loro le parole brevi con funzioni grammaticali. Ad esempio potrebbero leggere "con" invece di "per" ed "io" invece di "tu".

Inoltre i pazienti con dislessia profonda non riescono a leggere ad alta voce le parole non familiari o le non parole facilmente pronunciabili come ad esempio "stip" o "pert".

Si è constatato che le prestazioni nella lettura di questi pazienti dislessici sono molto simili a quelle dei soggetti con cervello diviso quando leggono con l'emisfero destro.

La somiglianza tra prestazione nella lettura da parte dell'emisfero destro isolato dei pazienti con cervello diviso e prestazione dei pazienti con dislessia profonda ha portato Coltheart a ipotizzare che quest'ultimi pazienti leggano mediante il loro emisfero destro. Questa teoria è confermata da alcuni studi su pazienti sottoposti ad emisferectomia. Nell'emisferectomia sinistra, almeno due terzi dell'emisfero sinistro sono rimossi chirurgicamente a fini terapeutici per forme di epilessia non curabili in altro modo. Talvolta l'emisfero destro, rimasto integro, è capace di leggere e il suo modo di leggere è molto simile a quello di pazienti con dislessia profonda.

Concordiamo con l'ipotesi di Coltheart.

La dislessia profonda nasce dall'impossibilità per il cervello sinistro di associare i suoni ed i segni ai significati. Esso viene allora sostituito dall'emisfero destro che associa i significati ai suoni ed ai segni.

Consideriamo adesso la *dislessia superficiale* (o *dislessia fonetica*)

Nei pazienti affetti da dislessia superficiale sono distrutte alcune aree che consentono il collegamento tra la parola scritta ed il significato. Per tale motivo essi quando leggono dapprima associano la parola scritta al suono e successivamente collegano il suono al significato. Accade quindi che due parole scritte in modo diverso ma pronunciate allo stesso modo vengono confuse dai soggetti affetti da dislessia superficiale. In inglese, per esempio le parole "sail" (vela) e "sale" (vendita) vengono pronunciate allo stesso modo. Se si chiede ad un paziente affetto da dislessia superficiale di dire il significato della parola "sale" egli a volte dirà che è "qualcosa dove si vende a costo ridotto e si può fare un affare", a volte dirà invece che è "qualcosa che aiuta la barca ad andare con il vento".

Quando vi sono lesioni nelle aree che collegano il grafo con il suono si ha la *dislessia fonologica*. Le persone affette da tale disturbo hanno difficoltà a leggere le non parole. Tendono pure a fare delle paralessie morfologiche in cui la base di una parola è letta in modo corretto, ma è omesso, aggiunto o sostituito un affisso. Ciò dipende dal fatto che queste persone leggono usando il collegamento tra parola scritta e significato.

Una dislessia particolare che colpisce le persone affette da demenza è la *dislessia diretta*. Vi sono persone che, pur colpite da demenza, riescono a leggere le parole irregolari in inglese (si tratta di quelle parole che nella pronuncia non seguono le regole e per essere pronunciate è necessario che si conosca il loro significato). Tuttavia se si chiede a questi pazienti il significato delle parole irregolari lette essi non sanno esplicitarlo. Sanno leggere parole irregolari il cui significato non è noto. Sembra una contraddizione. Questa particolare forma di dislessia acquisita può nascere in seguito ad una distruzione dei centri dei significati posti nell'emisfero sinistro, rimanendo però abbastanza efficienti i centri dei significati nell'emisfero destro. Questi pazienti quando leggono le parole irregolari, con l'emisfero destro ne interpretano il significato. Se viene loro chiesto di esprimere questo significato, essi, utilizzando l'emisfero sinistro, hanno difficoltà ad esplicitarlo.

Le afasie

Nell'area di Wernicke si costruiscono i *suoni/segni*. Siamo certi che nella stessa area ed in zone limitrofe vengono costruiti anche molti *psicostati significativi*. A tal proposito c'è da fare un'importante considerazione. Gli psicostati significativi costruiti dal cervello sono decine di migliaia e ad ognuno di essi corrisponde un suono/segno ed un grafo/segno. Si pensi solo ai verbi. Con ognuno di essi il cervello può costruire un centinaio di psicostati. (*corro, corri, avevano corso, corsero*, ecc) Sappiamo inoltre che da uno psicostato significativi, per esempio "verde", si può costruire "inverdire" (con tutti i modi e i tempi); analogamente da "rosso" si può ottenere "arrossire", "arrossare"; da "crudel" si ricava "crudeltà", "incrudelire"; da "pensare" si ottiene "pensiero", "pensato". E' probabile che gli psicostati evolutivamente nuovi vengano costruiti nell'area di Wernicke o in prossimità di essa in modo che sia più semplice associarli con i *suoni/segni* corrispondenti. Essi si strutturano in blocchi sull'esempio fatto con i volti dell'area inferotemporale. Anche i suoni/segni ed i grafi/segni si strutturano in blocchi. Quest'ultimi, come già detto, vengono costruiti nelle aree visive secondarie

Cosa avviene nell'area di Broca e nelle zone vicine? Quasi certamente vengono costruiti gli psicostati che corrispondono a tutte le preposizioni ed alle congiunzioni. Si tratta di correlatori la cui funzione è sia quella di collegare le parole all'interno di una proposizione. (logica intraproposizionale) sia quella di collegare più proposizioni tra di loro (logica interproposizionale). Attenzione! Nell'area di Broca si costruiscono gli psicostati; i suoni/segni e, *con, di, da, prima, dopo, affinché*, ecc. quasi certamente vengono costruite nell'area di Wernicke, mentre i grafi/segni e, *con, di, da, prima, dopo, affinché*, ecc. vengono costruiti nelle aree visive secondarie

Da cosa nasce questa nostra convinzione? Nell'area di Broca sono stati trovati neuroni che si attivano quando il soggetto osserva il movimento di altri esseri umani. (i neuroni specchio o mirror neuron). Chiaramente a questo livello di elaborazione il cervello costruisce pensieri del tipo "Giovanni beve acqua". Se così è, abbiamo che gli psicostati *Giovanni* ed *acqua* sono costruiti nell'area inferotemporale. Lo psicostato *beve* viene probabilmente costruito nell'area mediotemporale superiore. E' logico supporre che

nell'area di Broca si costruisca lo psicostato "correlatore implicito" che collega direttamente Giovanni con beve e beve con acqua.

E' nostra opinione che nelle aree premotorie si costruiscono numerosi psicostati che nel linguaggio corrispondono a congiunzioni e preposizioni. Una lesione nell'area di Broca impedisce la comprensione di questi psicostati, nonché il loro collegamento con le parole corrispondenti provenienti dall'area di Wernicke. (Ricordiamo che se l'emisfero destro non ha subito alcuna lesione esso è attivo nel cogliere il significato globale di una parola, di una frase o di un periodo).

Adesso riportiamo la descrizione delle principali afasie tratta dal testo "Principi di neuroscienze" e per ognuna di esse prospettiamo, tra parentesi, un'interpretazione in base alla nostra teoria.

Si possono distinguere sette tipi di afasie che sono in rapporto con sistemi anatomici diversi

1) *Afasia di Wernicke*. E' caratterizzata da evidenti deficit della comprensione del linguaggio. La lesione interessa principalmente la parte posteriore del lobo temporale sinistro, o area 22 di Brodmann, ma si estende spesso anche alla parte superiore del lobo temporale (area 40 e 39) e inferiormente all'area 37. Se la lesione è estesa la comprensione del linguaggio sia visto sia udito è seriamente compromessa. La parola al contrario è fluente. Il linguaggio appare normale come velocità, ritmo ed intonazione anche se i pazienti usano parole sbagliate o combinazioni di parole sbagliate (*parafasie*). I pazienti tendono ad aggiungere sillabe addizionali alle parole e parole in più alle frasi; inventano anche nuove parole. Le distorsioni del linguaggio dovute ai neologismi e alle parafasie riguardano soprattutto gli elementi fondamentali del lessico (sostantivi, verbi, aggettivi, avverbi) e specialmente i sostantivi.

I pazienti sono spesso molto loquaci (*logorrea*); questo fenomeno viene talvolta indicato come ansia di parlare. Essi non riescono ad esprimere le idee che hanno in testa, o come si dice parlano a vuoto. Questi soggetti in generale non si rendono conto delle loro limitazioni, probabilmente proprio perché la loro comprensione del linguaggio è seriamente compromessa. Per questa stessa ragione essi non riescono a ripetere parole e frasi. I soggetti affetti da afasia di Wernicke hanno inoltre gravi difficoltà nella lettura e nella scrittura.

.A parte questi sintomi, possono non esistere altri segni neurologici, anche se talvolta si osservano deficit del campo visivo destro.

(Nell'afasia di Wernicke si distrugge il centro di costruzione delle *suoni/segni* e se la lesione è estesa vengono interessati centri di costruzione di *psicostati significativi*, nonché *aree di correlazione*. La lettura e la scrittura sono rese difficili perché il paziente si ritrova scompigliata la memoria semantica delle parole ascoltate e la memoria semantica di numerosi psicostati associati con le parole. Il linguaggio è fluente e l'intonazione ed il ritmo e la velocità sono normali, in quanto l'emisfero destro è integro. E' probabile che in questa zona vengono costruiti psicostati derivati (non ci riferiamo a parole). Si pensi solo al fatto che dallo psicostato "grande" si possono costruire come psicostati derivati "*grandezza, ingrandire* (con tutte le sue ripartizioni: *ingrandisco, ingrandirò, ha ingrandito, furono ingranditi, ecc.*), *grandioso, grandiosità*" ed altri. Il fatto che i pazienti affetti dall'afasia di Wernicke non si rendono conto dei loro errori lascia supporre che in questa afasia sono distrutti molti centri di costruzione di psicostati significativi non solo di *parole*)

2) *Afasia di Broca*

Nell'afasia di Broca la comprensione del linguaggio è generalmente ben conservata ma l'emissione del discorso non è fluente. I pazienti soffrono di una lesione della corteccia associativa motoria del lobo frontale, che in generale arriva ad interessare la parte posteriore del terzo giro frontale (aree 44 e 45 di Brodmann) che forma parte del 1° opercolo frontale (area di Broca). Nei casi più gravi, il danno si estende alle regioni premotorie e prefrontali circostanti (aree 6, 8, 9, 10 e 46). I deficit del linguaggio possono variare da un mutismo quasi completo a forme contraddistinte da un linguaggio rallentato e incerto che fa uso di strutture grammaticali estremamente semplici. I pazienti di afasia di Broca usano solo poche parole chiave. In generale, i sostantivi vengono usati solo al singolare, i verbi all'infinito o al participio e spesso vengono eliminati gli articoli, gli aggettivi e tutti gli avverbi. Per esempio, se si chiede a un paziente con afasia di Broca di dire «il grande gatto grigio», la sua risposta probabilmente sarà «gatto grigio». Queste omissioni sono tanto più evidenti quanto più complesse sono le frasi. Possiamo qui vedere la seconda caratteristica di questa lesione: un'alterazione della costruzione e del coordinamento delle frasi che costituiscono il discorso. Prendiamo, per esempio, la frase: «Ora tutte le signore e i signori sono invitati a prendere posto nella sala da pranzo». Un paziente affetto da afasia di Broca potrà essere al massimo in grado di dire «Signore, uomini, sala». Un postino affetto da afasia di Broca, al quale era stato richiesto di dire quale fosse la sua occupazione, disse «Posta... Posta... P...». Oltre a questo tipo di linguaggio telegrafico e non grammaticale i pazienti affetti da afasia di Broca trovano sempre difficoltà a ripetere le parole, mentre la capacità di denominare gli oggetti può essere alterata in modo moderato o lieve. A differenza dei pazienti di afasia di Wernicke, i pazienti affetti da afasia di Broca si rendono conto dei propri errori. Sebbene l'emissione del linguaggio sia seriamente compromessa, la comprensione del linguaggio parlato e scritto è in generale ben conservata in quanto l'area di Wernicke è indenne. Tuttavia, i pazienti affetti da afasia di Broca hanno difficoltà a leggere ad alta voce e anche la scrittura (come il linguaggio) è anormale. Inoltre, i lavori di Rita Berndt e di Alfonso Caramazza fanno pensare che gli afasici del tipo Broca possano avere anche qualche difficoltà a capire gli aspetti sintattici che non riescono a proferire.

(In questa afasia sono distrutti i centri di produzioni degli psicostati che consentono la costruzione di pensieri, inoltre sono interrotti i collegamenti che consentono ai neurostati dall'area di produzione delle parole di giungere all'area motoria preposta alla loro pronuncia. Non dimentichiamo che nessuna area riceve informazioni significative da un'altra area. Per ripetere una parola ascoltata è necessario che un collegamento diretto tra il centro di ascolto ed il centro di produzione sia attivato tramite neurostati.)

3) Afasia globale

I pazienti di afasia globale non sono in grado nè di parlare nè di capire il linguaggio e non possono leggere, scrivere, ripetere parole e frasi o denominare oggetti. Le lesioni che determinano l'afasia globale comprendono, in generale, l'intera regione perisilviana e compromettono perciò sia l'area di Broca che quella di Wernicke nonché il fascicolo arcuato.

(Ci sono poche considerazioni da fare su questa afasia. Chiaramente la distruzione di aree così ampie preposte alla funzione linguistica determina questo tipo di afasia)

4) Afasia di conduzione

Come è già stato sottolineato, l'esistenza di una afasia di conduzione era stata prevista da Wernicke. Wernicke aveva infatti ipotizzato che nel lobo temporale vi fosse un'area, implicata con la comprensione del linguaggio, che proiettava all'area di Broca mediante un fascio nervoso che connetteva le due regioni. Egli aveva perciò dedotto che avrebbero potuto verificarsi delle lesioni che lasciavano indenni sia l'area di Broca che quella di Wernicke mentre interrompevano le connessioni fra l'una e l'altra. Studi clinici successivi verificarono l'esattezza di questa previsione. Le lesioni del fascicolo arcuato che connette l'area di Wernicke con quella di Broca, determinano afasia di conduzione. La compromissione del fascicolo è dovuta, in generale, a lesioni del giro sopramarginale del lobo parietale e, meno frequentemente, a lesioni della superficie postero-superiore del lobo temporale sinistro. Perciò la lesione non è limitata alla sostanza bianca ma interessa anche il tessuto corticale. Analogamente ai pazienti con afasia di Wernicke, anche i pazienti di afasia di conduzione hanno un linguaggio fluente ma intercalato da molti errori di tipo parafasico caratterizzati dalla pronuncia di parole o suoni sbagliati. Il grado di fluidità del discorso può essere un po' minore di quello osservato nell'afasia di Wernicke ma la comprensione del linguaggio, in generale, è buona. La lesione della via che conduce dall'area di Wernicke a quella di Broca altera notevolmente, invece, la capacità di ripetere parole e frasi. Anche altre caratteristiche dell'afasia di conduzione sono in buon accordo con l'ipotesi che le aree di Broca e di Wernicke siano state funzionalmente separate. La capacità di denominare gli oggetti è gravemente alterata. La lettura ad alta voce è anormale, mentre i pazienti sono in grado di leggere mentalmente con buona comprensione del testo. Anche la scrittura può essere alterata; la capacità di compitare è scarsa e avviene con omissioni, inversioni e sostituzioni delle lettere. Molti pazienti di afasia di conduzione presentano anche qualche deficit del movimento volontario.

(In questa afasia si distruggono molte informazioni che dall'area di Wernicke giungono all'area di Broca a livello di neurostati. La compromissione del tessuto corticale oltre che della sostanza bianca determina la distruzione degli psicostati che si costruiscono in quest'area, probabilmente legati al movimento volontario).

5) Afasia anomica

Nell'afasia anomica l'unico tipo di alterazione presente consiste nella difficoltà di trovare le parole esatte. E' una forma non consueta di afasia, che in generale insorge in seguito a lesioni della superficie posteriore del lobo temporale inferiore sinistro, in prossimità del confine temporo-occipitale. Talvolta, i pazienti affetti da afasia anomica presentano anche difetti nel campo visivo superiore destro.

(In questa afasia vengono distrutti i centri che collegano aree dove si costruiscono oggetti con aree dove si costruiscono suoni/segni.)

6) Le afasie transcorticali

Le afasie transcorticali presentano due caratteristiche importanti:

- 1) i pazienti conservano la capacità di ripetere il linguaggio parlato
- 2) le lesioni sono localizzate al di fuori dei centri perisilviani del linguaggio. Queste afasie sono molto spesso la conseguenza di lesioni vascolari localizzate al punto di giunzione dei territori di irrorazione delle arterie cerebrali media, anteriore e posteriore, in una zona nota come *zona marginale* o *zona dello spartiacque*. Questa zona marginale comprende sia aree associative importanti per ricordare il significato delle parole che l'area motrice supplementare che controlla l'esecuzione dei movimenti fini.

L'*afasia transcorticale motoria* insorge in seguito a lesioni che interrompono le connessioni fra l'area di Broca e l'area motrice supplementare. In generale, la lesione ha sede nel lobo frontale, anteriormente all'area di Broca. La lesione dà origine a una afasia nella quale il paziente non è in grado di organizzare un discorso fluente e creativo. Il paziente tenta di iniziare una conversazione ma riesce ad emettere solo poche sillabe. In stridente contrasto con ciò, i pazienti sono capaci di ripetere bene frasi e parole. La comprensione

del linguaggio è poco disturbata così come è buona la lettura (sia mentale che ad alta voce) mentre possono essere presenti alterazioni della scrittura.

(Abbiamo già detto che nell'area di Broca e nelle zone limitrofe si producono psicostati quali *e, con quindi* ecc. per la costruzione di pensieri. La distruzione di quest'area distrugge gli psicostati in essa prodotti nonché impedisce che neurostati provenienti dall'area di Broca giungano all'area motrice. Il soggetto, per tal motivo non riesce a formulare discorsi complessi pur riuscendo a pensarli. Il fatto che possa ripetere frasi e parole fa supporre che i *suoni/segni* provenienti dall'area di Wernicke come neurostati raggiungano senza interruzione la corteccia motrice e possano essere ripetute.)

L'afasia transcorticale sensoriale consegue all'interruzione delle connessioni fra l'area di Wernicke e l'area associativa parieto-temporale-posteriore. Questa forma è caratterizzata da discorso fluente con difetti della comprensione del linguaggio e dalla difficoltà di trovare o ricordare il significato delle parole e dei gesti. Il paziente non è in grado di leggere e scrivere e incontra notevoli difficoltà a trovare le parole adatte, mentre è in grado di ripetere parole e frasi con facilità e in maniera fluente. Questo tipo di afasia, in generale, dipende da lesioni localizzate a livello della giunzione parieto-temporo-occipitale. La combinazione di una afasia transcorticale motoria e di una afasia transcorticale sensoriale determina l'*afasia transcorticale mista* o sindrome di *isolamento delle aree del linguaggio*. Si tratta di un disturbo particolarmente raro. Il paziente non è in grado di parlare a meno che non gli si rivolga la parola e, anche in questo caso, le risposte sono soltanto l'eco delle parole dell'esaminatore; questo comportamento prende il nome di *ecolalia*. Il paziente per lo più ha perso ogni altra facoltà relativa al linguaggio.

(Le lesioni localizzate nella giunzione parieto-temporo-occipitale impedisce che gli psicostati costruiti dalle aree preposte ai vari sistemi sensitivi possano collegarsi con i *suoni/segni* corrispondenti costruite nell'area di Wernicke. Ciò impedisce l'associazione fra parole e alcuni significati)

Il movimento volontario

Analizzeremo il movimento volontario nell'uomo e negli animali riportando, come al solito, quanto è scritto nel testo "Principi di neuroscienze" a proposito di questo argomento

Gli eventi nervosi che conducono all'esecuzione di un movimento semplice, come prendere un bicchiere d'acqua, comprendono tre processi complessi: l'identificazione e la localizzazione dell'oggetto da afferrare (area V4, inferotemporale e V7), un piano d'azione (aree premotorie) e l'esecuzione del movimento (corteccia motrice primaria).

Innanzitutto viene identificato il bicchiere e viene determinata la sua localizzazione nello spazio.

Successivamente viene selezionato un piano d'azione per portare il bicchiere alla bocca. Per specificare quali parti del corpo bisogna muovere e in quale direzione debbano essere mosse occorre stabilire la collocazione del bicchiere rispetto alla posizione della mano e del corpo. Queste informazioni permettono ai sistemi motori di determinare la traiettoria del movimento della mano. Infine viene eseguita la risposta motoria. Particolari comandi vengono inviati, attraverso le vie discendenti dalla corteccia e dal tronco dell'encefalo alla via finale comune, i motoneuroni. Questi comandi specificano la sequenza temporale dell'attività motoria, le forze da sviluppare e le variazioni da apportare agli angoli articolari. Inoltre, la mano che il braccio si porta verso il bicchiere, la mano e le dita si orientano per adattarsi al profilo del bicchiere, attraverso movimenti coordinati della spalla, del braccio, del polso e delle dita, in modo tale che il bicchiere possa essere prontamente preso una volta toccato con le dita.

Queste tre fasi, identificazione del bersaglio da raggiungere, piano d'azione ed esecuzione del movimento, sono guidate da tre regioni diverse della corteccia cerebrale: *la corteccia parietale posteriore, le aree premotorie della corteccia frontale e la corteccia motrice primaria*.

Cominceremo prendendo in esame l'organizzazione di queste tre aree corticali. Ognuna di esse contiene mappe motorie organizzate in maniera somatotopica. Successivamente esamineremo come la corteccia motrice primaria codifica le caratteristiche del movimento e come le aree premotorie prendono parte alla pianificazione e alla programmazione delle varie componenti dell'atto motorio.

Le ricerche cliniche di Penfield e le indagini condotte da Clinton Woolsey nella Scimmia hanno permesso di scoprire che la corteccia motrice primaria contiene una mappa motoria del corpo. Il capo è rappresentato in prossimità del solco laterale; al di sopra vi sono le rappresentazioni dell'arto superiore, del tronco e dell'arto inferiore. Al pari di quanto avviene nelle mappe sensitive, non tutte le parti del corpo hanno un'uguale rappresentazione a livello della mappa motoria.

Le ricerche di Penfield e Woolsey portarono alla scoperta che anche la stimolazione dell'area 6 di Brodmann, disposta anteriormente alla corteccia motrice primaria, provocano la comparsa di effetti motori..

Alle aree che fanno parte di questa suddivisione citoarchitettonica è stato dato il nome di *aree premotorie*.

Gli assoni dei neuroni delle aree premotorie, oltre che a strutture sottocorticali e al midollo spinale proiettano anche alla corteccia motrice primaria. Mentre il rapporto tra le dimensioni della corteccia motrice primaria ed il peso corporeo è rimasto costante nel corso della filogenesi dei primati, le dimensioni delle aree premotorie sono aumentate di ben sei volte passando dal Macaco all'Uomo. Si distinguono due principali aree premotorie: l'*area motrice supplementare* (a volte denominata *area motrice secondaria* o MII), disposta in corrispondenza della parte superiore e mediale dell'emisfero e la *corteccia premotoria*, disposta sulla

superficie laterale dell'emisfero. I movimenti prodotti dalla stimolazione dell'area motrice supplementare e della corteccia premotoria sono più complessi di quelli evocati dalla stimolazione della corteccia motrice primaria e compaiono a seguito di stimoli elettrici più intensi. In generale la stimolazione delle aree premotorie evoca contrazioni coordinate di muscoli che agiscono su articolazioni diverse e, nel caso dell'area motrice supplementare, di muscoli di entrambi i lati del corpo. Anche l'area motrice supplementare e le aree premotorie sono organizzate in maniera somatotopica. Ricerche neuroanatomiche hanno condotto all'identificazione di altre aree premotorie; fra queste va segnalata quella disposta a livello del giro del cingolo (Area 24) che può essere importante ai fini dell'influenza che la motivazione esercita direttamente sulla pianificazione motoria.

L'organizzazione citoarchitettonica delle tre aree corticali motrici è diversa da quella delle aree sensitive, disposte posteriormente, e prefrontali, disposte anteriormente. Il IV strato, che è il principale strato a livello del quale terminano le afferenze alle cortecce sensitive, è assente nelle aree motrici, e per tale ragione prendono il nome di *corteccia agranulare*

Le aree motrici della corteccia cerebrale ricevono afferenze da tre fonti. In primo luogo, dalla periferia. I segnali provenienti dalla periferia vengono ritrasmessi o direttamente alla corteccia motrice primaria, attraverso il talamo e la corteccia somatosensitiva, o indirettamente alle aree premotorie, attraverso le aree associative sensoriali. In secondo luogo, le aree motrici ricevono afferenze dal cervelletto e dal globus pallidus dei nuclei della base.

Le aree corticali motrici ricevono anche cospicue afferenze dalla corteccia somatosensitiva e dalle aree associative sensoriali. Nella Scimmia sono ben sviluppate le proiezioni alla corteccia motrice primaria provenienti dalla corteccia somatosensitiva primaria, area 2 di Brodmann, e dall'area associativa parietale posteriore, area 5 di Brodmann. Queste proiezioni sono organizzate in maniera somatotopiche: l'area della corteccia motrice in cui è rappresentata una data parte del corpo riceve afferenze da quella regione della corteccia somatosensitiva a livello della quale è rappresentata la medesima parte del corpo. Inoltre, afferenze intracorticali alla corteccia motrice primaria provengono anche dall'area premotoria laterale e dalla corteccia motrice supplementare, che, a loro volta, vengono influenzate da afferenze provenienti dalla corteccia associativa parietale posteriore e dalla corteccia associativa prefrontale. La scoperta dell'esistenza di una mappa motoria organizzata in maniera somatotopica a livello della corteccia motrice primaria ha spinto negli anni '60, Hiroshi Asanuma e coll. A porsi il seguente quesito: quanto è dettagliata questa mappa? Asanuma scoprì che i siti la cui stimolazione provoca la contrazione di un dato muscolo hanno una disposizione radiale, simile alle colonne di neuroni delle cortecce somatosensitiva e visiva.

Nonostante la presenza di una fine organizzazione topografica, accurati studi della mappa della corteccia motrice, condotti con l'ausilio di microelettrodi, hanno dimostrato che certi muscoli, segnatamente quelli distali, sono rappresentati in più zone distinte della corteccia motrice. Di converso, zone corticali la cui stimolazione attiva un particolare muscolo influenzano anche vari altri muscoli. Ma, ciò che è ancora più importante, Eberhard Fetz e Paul Cheney hanno scoperto che singoli assoni di neuroni del tratto corticospinale frequentemente sono in grado di influenzare monosinapticamente i motoneuroni che innervano diversi muscoli. Tuttavia, per la maggior parte delle fibre corticospinali, deputate al controllo dei muscoli distali delle dita il grado di divergenza è modesto.

Le ricerche basate sull'ablazione e sulla stimolazione della corteccia cerebrale, pur avendo dimostrato che particolari aree corticali motrici controllano i movimenti del lato controlaterale del corpo, non hanno potuto fornire indicazioni sul modo in cui queste aree prendono parte al processo d'avvio e al controllo del movimento. Per rispondere a questo interrogativo bisogna sapere come viene modulata l'attività dei neuroni corticali durante l'esecuzione di un compito motorio. Edward Evarts è stato il primo ricercatore che ha affrontato questo problema, registrando da *singoli* neuroni della corteccia motrice primaria di scimmie addestrate ad eseguire semplici compiti motori. Egli era interessato allo studio dei meccanismi di modulazione dell'attività dei neuroni dell'area del polso della corteccia motrice primaria nel corso di movimenti di flessione ed estensione del polso stesso ed osservò che le popolazioni di neuroni che diventano attivi durante l'esecuzione di questi due movimenti erano diverse. In generale, la modulazione dell'attività di questi neuroni avveniva *prima* della contrazione dei muscoli pertinenti. Queste osservazioni hanno fornito una prova diretta della partecipazione della corteccia motrice primaria al *processo d'avvio* del movimento. Quale aspetto del movimento viene controllato dall'attività dei neuroni del tratto corticospinale? Evarts dimostrò che la frequenza di scarica dei neuroni del tratto corticospinale codifica la *forza* da sviluppare per muovere l'arto piuttosto che il cambiamento di posizione dell'arto stesso. Oltre a neuroni che codificano la forza che viene esercitata, alcuni neuroni della corteccia motrice primaria codificano la velocità di variazione della forza. E' possibile che questi neuroni codifichino la velocità del movimento.

L'osservazione che i movimenti di flessione e di estensione del polso o del gomito sono associati con una scarica di popolazioni diverse di neuroni corticali è in accordo con l'ipotesi dell'esistenza, a livello della corteccia motrice primaria, di una mappa in termini di rappresentazione di muscoli. Tuttavia, poiché i singoli neuroni della corteccia motrice primaria influenzano i vari muscoli, si pone il problema di come può venir codificata dai neuroni corticali la direzione dei movimenti che interessano più articolazioni. Questo problema è stato affrontato da Apostolos Georgopoulos e coll. Essi osservarono che l'attività dei neuroni varia con la direzione del movimento: essi scaricano molto vivacemente per movimenti eseguiti in una specifica direzione e cessano di scaricare per movimenti eseguiti in direzione opposta. Inoltre le direzioni elettive dei neuroni

disposti all'interno di una colonna corticale sono molto simili tra loro. Tuttavia la sensibilità direzionale dei neuroni studiati risulta piuttosto ampia. I neuroni variano la loro frequenza di scarica non solo per movimenti in una determinata direzione, ma anche in misura minore per movimenti in altre direzioni. Come può venir codificata con precisione la direzione del movimento da neuroni che possiedono una sensibilità direzionale così ampia?. Georgopoulos scoprì che il movimento in una particolare direzione viene determinato non tanto dall'azione di singoli neuroni, ma dall'attività complessiva di un'estesa popolazione di neuroni. Il contributo di ogni neurone al movimento in una particolare direzione può essere rappresentato come un vettore la cui lunghezza dipende dal grado di attività che esso presenta durante il movimento in quella direzione. I contributi di singole cellule si sommano vettorialmente, generando un vettore di popolazione. A determinare la direzione del movimento è la direzione del vettore di popolazione.

Sebbene i neuroni della corteccia motrice primaria codifichino la direzione del movimento e la forza che viene esercitata, tuttavia il loro contributo al movimento non è fisso, ma dipende dalla natura del compito da eseguire. Per esempio, Roger Lemon ha osservato che i neuroni che scaricano quando una scimmia comprime un piccolo trasduttore posto tra l'indice ed il pollice, sviluppando particolari livelli di forza, restano silenti quando l'animale sviluppa la medesima forza nell'atto di afferrare un bastoncino con tutte le dita. Analogamente, mentre i neuroni della corteccia motrice possono controllare il movimento del braccio eseguito per prendere un oggetto, un movimento simile del braccio può essere eseguito durante un accesso d'ira o in una condizione di turbamento emotivo senza che si abbia alcun cambiamento dell'attività dei neuroni della corteccia motrice.

I neuroni della corteccia motrice primaria ricevono informazioni sensitive sulla posizione dei segmenti corporei e sulla velocità del movimento. Al pari dei neuroni della corteccia somatosensitiva, i neuroni della corteccia motrice sono dotati di campi recettivi periferici. Alcuni di questi neuroni vengono attivati da stimoli tattili, altri dal movimento delle mani ed altri ancora dallo stiramento dei muscoli o da rotazioni articolari.

Quale relazione esiste tra la sede dei campi recettivi di una zona circoscritta della corteccia motrice e i gruppi muscolari controllati da tale zona corticale? Asanuma e coll., hanno osservato che alcuni neuroni della corteccia motrice ricevono afferenze propriocettive dal muscolo al quale proiettano, mentre altri neuroni ricevono afferenze da regioni cutanee situate nella traiettoria del movimento indotto dalla contrazione del medesimo muscolo. Queste informazioni sensitive vengono trasmesse alla corteccia motrice sia attraverso connessioni cortico-corticali provenienti dalla corteccia somatosensitiva che da proiezioni dirette provenienti dal talamo.

Nuove ipotesi sulle funzioni della corteccia motrice

Perché i neuroni delle colonne si attivano *prima* che il movimento sia eseguito?

A nostro avviso ciò avviene perché essi costruiscono un *significato*, uno *psicostato*. Dopo che lo psicostato è stato costruito i neuroni possono inviare il messaggio ai motoneuroni per far muovere i muscoli in una certa direzione

Risulta evidente da quanto riportato sopra che le colonne della corteccia motrice primaria costruiscono lo psicostato *direzione* del movimento

Il vettore di popolazione che raggruppa e determina quali colonne sono appropriate per codificare una specifica direzione di movimento si determina attraverso l'organizzazione somatotopica delle tre aree. (Area 2, 5, corteccia motrice primaria).

Abbiamo già detto che l'organizzazione somatotopica consente di trasmettere da un'area all'altra informazioni sulla posizione e la provenienza di determinati stimoli a livello inconsapevole di neurostati.

Si è visto che l'attivazione dei neuroni di una data colonna non dipende dalla forza con cui essi scaricano. Ciò è dovuto ovviamente al fatto che l'intensità è un neurostato e noi sappiamo che le colonne costruiscono psicostati.

Inoltre gli esempi che dimostrano che soltanto i movimenti consapevoli determinano l'attivazione delle colonne confermano che la loro funzione è quella di costruire gli psicostati atti a determinare *dove* muovere le parti del corpo

Le aree corticali premotorie

Le lesioni della corteccia premotoria laterale, dell'area motrice supplementare e delle aree parietali posteriori provocano la comparsa di disturbi del movimento più complessi di quelli causati dalla lesione della corteccia motrice primaria. Mentre le lesioni della corteccia motrice primaria provocano paresi, le lesioni delle aree premotorie riducono la capacità di sviluppare strategie adeguate ai movimenti da eseguire. Quando a scimmie con lesioni di queste aree viene presentato del cibo posto al di là di uno schermo trasparente provvisto lateralmente di un foro che permette di prendere il cibo, si osserva che questi animali non sono in grado di infilare il braccio nel foro aggirando l'ostacolo costituito dallo schermo, ma cercano invece di raggiungere direttamente il cibo e vanno ad urtare con le mani sullo schermo

L'area motrice supplementare

L'area motrice supplementare svolge un importante ruolo funzionale nella programmazione di sequenze complesse di movimenti. Le risposte evocate con la stimolazione di quest'area sono costituite da movimenti

complessi, come la rotazione del corpo ovvero l'apertura e la chiusura della mano. Molti movimenti sono bilaterali.

Il ruolo dell'area motrice supplementare nella programmazione piuttosto che nell'esecuzione di complesse sequenze di movimenti è stato scoperto da Pert Roland e coll. nel corso di ricerche sul flusso ematico cerebrale in soggetti che eseguivano compiti motori di complessità crescente. Nel corso dell'esecuzione di compiti motori semplici si aveva un notevole aumento del flusso ematico in corrispondenza dell'area di rappresentazione della mano della corteccia motrice primaria e di quella somatosensitiva primaria controlaterali, senza alcun aumento significativo a livello dell'area premotoria laterale. Durante l'esecuzione di una sequenza complessa di movimenti di tutte le dita l'aumento del flusso ematico cerebrale interessava anche l'area motrice supplementare. Quando veniva chiesto ai soggetti sotto esperimento di ripetere mentalmente la sequenza di movimenti delle dita, senza eseguirla, si aveva un aumento del flusso ematico *soltanto* in corrispondenza dell'area motrice supplementare.

Cobie Brinkman ha dimostrato che nella Scimmia, a seguito della lesione dell'area motrice supplementare, si osservano due deficit rilevanti. I risultati di queste ricerche sono in accordo con l'ipotesi della partecipazione di quest'area alla programmazione ed alla coordinazione di movimenti complessi. Innanzitutto, le scimmie lesionate, poste davanti al compito di prendere un'arachide posta in un piccolo contenitore, non sono in grado di orientare in maniera appropriata le mani e le dita, che invece assumono posizioni incongrue mano a mano che si avvicinano all'arachide. In secondo luogo, questi animali presentano gravi deficit nella capacità di utilizzare entrambe le mani per prendere un pezzetto di cibo infilato in un foro praticato in una piastra di plastica trasparente

La corteccia premotoria

Sebbene la corteccia premotoria laterale sia la meno nota tra le regioni corticali che proiettano alla corteccia motrice, alcune indicazioni preliminari sulle funzioni che essa svolge sono emerse correlando tra loro i risultati di anatomia, di indagini sulle attività di singole cellule e di studi del comportamento. La corteccia premotoria riceve le afferenze più rilevanti dalla corteccia parietale posteriore ed invia numerose proiezioni alle regioni del tronco dell'encefalo da cui si originano i sistemi discendenti mediali (in misura considerevole al sistema reticolospinale) e alle regioni del midollo spinale che controllano i muscoli prossimali ed assiali. L'esistenza di queste connessioni ha indotto Hans Kuypers ad ipotizzare che la corteccia premotoria svolga un ruolo di primaria importanza nel controllo dei muscoli prossimali ed assiali e nelle fasi iniziali di orientamento del corpo e del braccio verso un oggetto. Molti neuroni della corteccia premotoria scaricano quando un animale riceve una istruzione che specifica di compiere un movimento in una particolare direzione in risposta alla presentazione di un secondo stimolo che funge da segnale di inizio del movimento. Questi neuroni sono stati denominati set-related (cioè la loro attività è correlata con l'atteggiamento o la posizione da assumere) a significare che la loro attività è in rapporto con ciò che l'animale si sta preparando a fare ed indicano che l'area premotoria laterale prende parte al processo di preparazione del movimento.

Studi recenti sull'area F4 della corteccia premotoria del macaco hanno consentito l'individuazione di neuroni bimodali. Si tratta di neuroni che si eccitano sia quando viene sfiorata una specifica parte (braccio, gamba, volto) del corpo dell'animale, sia quando questo vede un oggetto a portata di mano.

Uno studio dettagliato dell'attività di tali neuroni bimodali ha rivelato cose molto interessanti riguardo all'estensione del campo ricettivo tattile e del corrispondente campo ricettivo visivo di ciascuno di essi. I due campi si presentano spazialmente connessi. Quello visivo infatti è centrato su quello tattile e si proietta nello spazio a partire dal campo tattile stesso, per una profondità di tre quattro decine di centimetri. Inoltre i due campi si spostano insieme se si sposta la parte del corpo, testa o braccio, sulla quale si trova localizzato il campo ricettivo tattile. Se la scimmietta sposta verso destra il braccio che contiene il campo ricettivo tattile di un dato neurone bimodale si osserverà che si sposta più a destra anche il corrispondente campo visivo, che si trova quindi qui ad essere centrato su una parte del corpo, e non, come di solito, sulla direzione dello sguardo. Da notare infine che il neurone in questione resta attivo per un po' di tempo anche se si spegne la luce e l'animale non può vedere l'oggetto-stimolo.

In quest'area avviene senza dubbio una integrazione senso-motoria. Tutti gli oggetti che sono a portata di mano e che possono essere afferrati o ai quali ci si può afferrare, rappresentano istante per istante un mondo a parte, ben distinto dall'insieme degli oggetti che si trovano magari in vista, ma a rispettosa distanza. Questo spazio, detto spazio *peripersonale*, è un tutt'uno con una parte del nostro corpo, con la sua sensibilità tattile e con il suo movimento e ne costituisce una sorta di prolungamento.

Nell'area F5 della corteccia premotoria sono presenti altre due classi di neuroni: i neuroni canonici ed i neuroni specchio (mirror neurons).

I neuroni canonici hanno un'attività correlata con l'organizzazione di quei movimenti della mano e della bocca che consentono di afferrare un oggetto. Una caratteristica di questi neuroni è quella di essere attivati non solo immediatamente prima e durante l'esecuzione del movimento, ma anche quando il soggetto, guarda gli oggetti.

Anche nell'uomo avviene un fenomeno simile: mostrando ad un individuo oggetti di uso comune che possono essere afferrati con due dita o con tutta la mano, si attivano le relative aree motorie, anche in assenza di movimento degli arti.

I neuroni specchio sono praticamente identici ai neuroni canonici: anch'essi si attivano quando l'animale muove la mano per prendere un oggetto,, anch'essi non inviano semplicemente comandi per far contrarre i muscoli, ma piuttosto per uno "scopo" che richiede l'impiego coordinato di parecchi muscoli. Praticamente identici dal punto di vista motorio, questi neuroni si differenziano dai neuroni canonici in quanto non è la visione di un oggetto da afferrare ad attivarli, ma l'osservare un altro soggetto che compie un'azione. Non sono neuroni che pianificano un'azione, ma neuroni che rispecchiano un movimento

Nuove ipotesi sulle aree corticali premotorie

A noi sembra possibile che tanto nell'area motrice supplementare quanto nella corteccia premotoria si costruiscono psicostati, la cui funzione è quella di associare oggetti, qualità ed azioni allo scopo di elaborare pensieri. Tali costrutti, a livello linguistico corrispondono a preposizioni e congiunzioni. Si tratta appunto di correlatori. In queste aree i correlatori sono collegati con azioni, oggetti e qualità (verbi, nomi, aggettivi, avverbi) in funzione motoria.

Per esempio si può supporre che nell'area motrice supplementare si costruiscano gli psicostati "prima" e "dopo". Essi potrebbero essere associati ai movimenti volontari dei muscoli. In quest'area, quindi, si potrebbe decidere la successione temporale dei movimenti muscolari. (*Prima* muovo la mano, *dopo* giro il braccio,...)

Nella corteccia premotoria i neuroni set-related potrebbero far parte di colonne nelle quali, per esempio, si costruisce lo psicostato *se...allora* o qualcun altro simile

E' ovvio che lo psicostato *se...allora* si applicherebbe non solo ad immagini associate alla preparazione di movimenti da compiere, ma anche a suoni, odori, sapori, stimoli tattili associati alla preparazione di movimenti da compiere. (Se si accende la luce *allora* sposto il braccio)

Consideriamo adesso i neuroni bimodali e i neuroni specchio.

Possiamo ipotizzare che i neuroni bimodali attivino colonne che costruiscono lo psicostato "vicino a". Se l'oggetto sfiora una parte del corpo si attivano le colonne che costruiscono questo psicostato, la stessa cosa avviene se un oggetto viene visto in una certa posizione ed a una certa distanza da uno specifico punto del corpo. L'associazione tra la parte del corpo ed il campo visivo avviene a livello di neurostati. L'associazione tra parte del corpo e campo visivo unita alla consapevolezza della vicinanza data dallo psicostato "vicino a", consente al cervello di individuare gli oggetti vicini alle varie parti del corpo.

Le colonne dei neuroni specchio e dei neuroni canonici potrebbero costruire il correlatore implicito. Si tratta di quel costrutto funzionale che consente di associare in un pensiero del tipo "Giovanni mangia la mela", "Giovanni" con "mangia" e "mangia" con "mela". Consideriamo il caso dei neuroni specchio. Quando l'animale vede un uomo che mangia una banana, ne potrebbe costruire il pensiero relativo. Nell'area inferotemporale costruisce "uomo" e "banana" nell'area mediotemporale superiore costruisce "mangia" nell'area F5 i neuroni bimodali si attivano all'interno delle colonne e costruiscono il correlatore implicito. Prima di compiere un'azione analoga l'animale formula il pensiero "Io mangio la banana"; i neuroni bimodali in tal caso attivano le colonne che costruiscono il correlatore implicito che consente la costruzione del pensiero. A livello di neurostati si può pensare che siano associate azioni quali "mangiare", "prendere", "afferrare" compiute da una persona o animale osservati con le stesse azioni compiute dal soggetto stesso. Perché accade questo? Questa associazione consente a chi guarda di emulare il comportamento che vede negli altri.

I neuroni canonici, abbiamo detto si attivano quando l'animale prende un oggetto e quando guarda un oggetto che può essere preso. Nel primo e nel secondo caso l'animale può formulare il pensiero "C'è una mela". Successivamente decide se afferrarla o meno. Anche in questi due casi le colonne possono costruire il correlatore implicito che contribuisce alla costruzione del pensiero. A livello di neurostati l'associazione avverrebbe tramite l'oggetto osservato "mela".

Chiaramente stiamo formulando ipotesi che a prove oggettive si riveleranno imprecise. Il nostro scopo è comunque quello di tracciare una strada da percorrere. L'idea, comunque che nelle aree premotorie si costruiscono psicostati atti alla costruzione di pensieri ci appare probabile.

La laterizzazione

Sulle funzioni dei due emisferi cerebrali riportiamo una sintesi di quanto Michael S. Gazzaniga ha scritto di recente su Scientific American

Studiando tre pazienti sottoposti nel 1967 a resezione del corpo calloso fu possibile constatare che cosa avveniva quando gli emisferi destro e sinistro non erano più in condizione di comunicare. Fu subito chiaro che l'informazione visiva non passava da un lato all'altro. Se si proiettava un'immagine alla parte destra del campo visivo, vale a dire all'emisfero sinistro, dove viene elaborata l'informazione, i pazienti erano in grado di descrivere ciò che vedevano. Ma quando la stessa immagine veniva presentata al campo visivo sinistro, i pazienti dicevano di non essere in grado di vedere alcunché. Se si chiedeva loro di indicare un oggetto simile a quello che veniva proiettato in quel momento, lo potevano fare con facilità. Il cervello destro vedeva l'immagine e poteva suscitare una risposta non verbale, ma non era in grado di parlare di ciò che vedeva.

Lo stesso tipo di scoperta si ripropose per sensazioni tattili, olfattive e uditive. Inoltre, ogni metà del cervello poteva controllare i muscoli superiori di entrambe le braccia, ma i muscoli che presiedono ai movimenti delle mani e delle dita potevano essere orchestrate solo dall'emisfero controlaterale. In altre parole l'emisfero destro poteva controllare solo la mano sinistra, e l'emisfero sinistro solo la mano destra.

In definitiva, si è scoperto che i due emisferi controllano aspetti assai differenti del pensiero e dell'azione.

Ogni metà ha la propria specializzazione, e pertanto presenta limiti e vantaggi. Il cervello sinistro è predominante per il linguaggio ed il discorso. Quello destro eccelle nei compiti di tipo visivo-motorio.

E' stato constatato nel corso degli anni che gli emisferi destri della maggior parte delle persone non sono in grado di gestire neppure le forme più rudimentali del linguaggio. Esiste comunque da un individuo all'altro una notevole variabilità nella plasticità. Un paziente sviluppò la capacità di parlare "con l'emisfero destro" a distanza di 13 anni dall'intervento chirurgico. Una paziente mancina parlò col cervello sinistro dopo l'intervento di resezione, fatto di per sé non troppo sorprendente. Ma la paziente poteva scrivere solo con l'emisfero destro, quello non parlante. Questa dissociazione conferma l'idea che la capacità di scrivere non debba essere necessariamente associata alla capacità di rappresentazione fonologica. In altri termini, la scrittura sembra riguardare un sistema differente, un'invenzione della specie umana. Essa può andare per proprio conto e non fa necessariamente parte del sistema del linguaggio parlato.

Nell'ambito del sistema modulare, con cui funziona il cervello, l'emisfero sinistro si è dimostrato del tutto dominante per le maggiori attività cognitive, come la risoluzione di problemi. La resezione dei collegamenti interemisferici non sembra avere effetti su queste funzioni. L'emisfero destro, dal canto suo, è fortemente carente nella risoluzione di problemi di una certa difficoltà.

Una scoperta interessante è stata quella che il cervello sinistro tende a costruire falsi ricordi, mentre l'emisfero destro fornisce resoconti veridici. Ciò accade perché il cervello sinistro ha la capacità di sviluppare schemi su un episodio accaduto e retrospettivamente adatta a questi schemi eventi non veri, ma nondimeno consistenti con essi. Inoltre si è appurato che l'emisfero sinistro ha la capacità di determinare la fonte di un ricordo, sulla base del contesto degli eventi circostanti. L'emisfero sinistro colloca attivamente le proprie esperienze in un contesto più ampio, mentre l'emisfero destro assiste semplicemente agli aspetti percettivi dello stimolo. E' stato pure dimostrato che le regioni prefrontali sinistre di soggetti normali si attivano mentre vengono rievocati falsi ricordi.

Queste scoperte suggeriscono concordemente che il meccanismo interpretativo dell'emisfero sinistro sia sempre al lavoro, cercando il significato degli eventi. Esso è perennemente in cerca di un ordine di una ragione, anche quando ordine e ragione non ci sono, e ciò lo espone di continuo ad errori. L'emisfero sinistro tende a generalizzare eccessivamente, costruendo spesso un passato fittizio in opposizione al passato reale.

Il cervello umano, come ogni cervello, è una collezione di adattamenti neurologici stabiliti nel corso dell'evoluzione naturale. Ognuno di questi adattamenti ha la sua propria rappresentazione, vale a dire, può essere lateralizzato a specifiche regioni o reti del cervello. In tutto il regno animale, comunque, le capacità generalmente non sono lateralizzate: esse tendono infatti a risiedere in entrambi gli emisferi in grado pressoché equivalente. E per quanto le scimmie mostrino alcuni segni di specializzazione laterale, essi sono rari e poco univoci.

Per questa ragione, sembra che la laterizzazione riscontrabile nel cervello umano sia un'aggiunta evolutiva.

Ipotesi sulle funzioni dei due emisferi

Consideriamo per il momento il cervello degli animali e chiediamoci: come è possibile che i due emisferi hanno le stesse capacità? Per quanto riguarda le aree primarie della corteccia visiva, olfattiva, somatosensitiva, uditiva sappiamo che la laterizzazione ha la precisa funzione di trasmettere le sensazioni provenienti dalla metà controlaterale del corpo o del campo visivo, dell'udito o dell'olfatto. Lo stesso si può dire per quanto riguarda le aree preposte al movimento. Gli animali debbono muovere tutto il corpo ed è logico che vi sia un emisfero preposto al movimento di una parte del corpo ed un altro emisfero preposto al movimento dell'altra parte. Lo stesso si può dire della memoria procedurale. E' evidente che essa debba essere ripartita nei due emisferi. Ma per quanto riguarda la memoria semantica è illogico che il cervello ne conservi una doppia copia. Che senso ha, per il topo, conservare due memorie del labirinto attraversato, una nell'emisfero destro e l'altra nell'emisfero sinistro? Cosa dire della Scimmia che riconosce le facce e le varie figure tanto con l'emisfero destro quanto con quello sinistro?

Anche nell'uomo è presente un fatto analogo. Abbiamo constatato che i due emisferi riconoscono senza problemi figure e disegni che sono loro presentati.

Ci saremmo aspettati il contrario. Nel cervello dove il problema dello spazio è fondamentale, vi è una doppia copia di tutti gli oggetti osservati e toccati.

Deve pur esserci una spiegazione.

Si può supporre che l'emisfero destro coglie alcuni aspetti di una figura osservata, mentre l'emisfero sinistro ne coglie altri. Ciò però dovrebbe creare problemi ai pazienti con resezione del corpo calloso nel riconoscere figure con un emisfero o l'altro. Il riconoscimento dell'immagine è però immediato ed è indubbio che l'oggetto viene visto nella sua interezza sia dall'emisfero sinistro che da quello destro.

E' come se il cervello costruisse due oggetti uguali e diversi nello stesso tempo. Uguali in quanto riconoscibili immediatamente da ambedue gli emisferi; diversi in quanto è impossibile che in mancanza di spazio si costruisca una doppia copia dello stesso oggetto.

L'unica spiegazione che siamo riusciti a trovare è la seguente. A noi sembra che il cervello quando costruisce gli oggetti visivi nel lobo inferotemporale e gli oggetti tattili nell'area SII, li ripartisca in due grandi categorie speculari l'una all'altra, proprio come sono speculari la destra e la sinistra.

Quali possono essere queste due ripartizioni speculari? Sappiamo che l'emisfero destro eccelle nei compiti spaziali. Si può pensare che nell'emisfero destro si costruiscano gli oggetti fisici legati allo spazio, mentre nell'emisfero sinistro si costruiscano gli oggetti psichici legati al tempo.

A noi sembra che vi sia un grado maggiore di generalizzazione. E' possibile che l'emisfero destro costruisca gli oggetti in chiave "oggettiva", l'emisfero sinistro in chiave "soggettiva". L'emisfero destro colloca gli oggetti al di fuori di sé nello spazio esterno, l'emisfero sinistro interiorizza gli oggetti. Avremo in tal modo i due mondi riconosciuti da filosofi e psicologi. Il mondo dello psichico e delle sensazioni ed il mondo fisico e della percezione. Si percepisce per esempio un "giallo" attribuendolo ad un oggetto mentre si ha la sensazione di "giallo" da parte del soggetto. L'emisfero sinistro in tal modo sarebbe legato al mondo della coscienza, del sentimento, quello destro al mondo dell'obiettività dell'esterno, del fisico, dello spaziale.

E' possibile che questa iniziale laterizzazione tra il soggettivo e l'oggettivo presente nell'uomo e negli animali con l'incremento degli psicostati si sia accentuata. L'emisfero destro si è specializzato in compiti "oggettivi" quali quelli visivo-motori; l'emisfero sinistro si sia specializzato in compiti "soggettivi" quali quelli legati ai ricordi ed all'interpretazione di fatti accaduti.

Se ciò è vero possiamo dire che il soggettivo predomina sull'oggettivo, che per noi è dominante la sfera psichica sulla sfera fisica, il mondo interno su quello esterno.

Come si costruiscono gli psicostati

Abbiamo detto che gli psicostati sono costruiti dalle colonne. Siamo però convinti che a questo processo di costruzione abbia un ruolo attivo il talamo e forse i nuclei della base. Per costruire gli psicostati, infatti sono necessari alcune funzionalità che le colonne da sole non possono attuare.

Consideriamo adesso il talamo e le sue funzioni.

Come al solito riportiamo una sintesi su questo argomento tratta dal testo "Principi di neuroscienze" Il talamo ritrasmette informazioni sensoriali alle aree sensoriali primarie della corteccia cerebrale ed informazioni sul comportamento motorio alle aree motorie corticali. Esso è costituito, almeno in parte, da nuclei sensoriali distinti che ricevono afferenze di modalità sensoriali diverse, come per esempio quelle somatiche, uditive e visive. Esso ha anche funzioni motorie in quanto ritrasmette informazioni provenienti dal cervelletto e dai nuclei della base alle regioni motorie del lobo frontale: la corteccia motrice primaria e le aree motorie di ordine superiore.

Inoltre, prende parte all'elaborazione delle risposte del sistema nervoso autonomo ed al mantenimento dello stato di coscienza. Quasi tutti i nuclei talamici proiettano alla corteccia cerebrale e ricevono afferenze da essa. Le proiezioni talamocorticali decorrono nella *capsula interna*, che è un cospicuo fascio di fibre che contiene quasi tutte le fibre da e per gli emisferi cerebrali. Nella capsula interna decorrono non solo le fibre che costituiscono la continuazione rostrale della via afferente somatica e quelle dei neuroni di altri nuclei talamici che proiettano nella corteccia cerebrale, ma anche le fibre discendenti dalla corteccia cerebrale destinate al tronco dell'encefalo ed al midollo spinale. Dapprima prenderemo in esame una classificazione funzionale dei nuclei talamici basata sui sistemi sensoriali e motori di cui essi fanno parte e, poi, esamineremo la classificazione topografica di questi nuclei.

I nuclei talamici vengono classificati in due grandi gruppi funzionali: i *nuclei di ritrasmissione* e i *nuclei a proiezione diffusa*.

I *nuclei di ritrasmissione* presentano tre caratteristiche:

- 1) elaborano informazioni di una singola modalità sensoriale o provenienti da parti distinte del sistema motorio;
- 2) proiettano ad una regione circoscritta della corteccia cerebrale;
- 3) ricevono proiezioni dalla regione della corteccia alla quale proiettano.

Queste connessioni di tipo ricorrente probabilmente permettono alla corteccia di regolare l'afflusso dei segnali che riceve sulla base dell'attività che sta elaborando.

I nuclei a proiezione diffusa hanno proiezioni più divergenti di quelle dei nuclei a proiezione specifica ed influenzano non solo l'attività delle cellule della corteccia cerebrale ma anche quella dei neuroni dello stesso talamo. Si ritiene che questi nuclei facciano parte di un sistema che regola il livello di eccitabilità cerebrale.

Ciascuna delle principali suddivisioni funzionali della corteccia cerebrale - sensoriale, motoria, associativa, motivazionale - riceve proiezioni da un particolare tipo di nuclei *talamici di ritrasmissione*. I nuclei talamici sensoriali ritrasmettono informazioni di una particolare modalità sensoriale a regioni circoscritte della corteccia cerebrale. Da queste informazioni prende origine il processo di elaborazione che conduce alla percezione sensoriale. Altri *nuclei di ritrasmissione* inviano informazioni alle aree associative della corteccia

cerebrale, a livello delle quali le afferenze provenienti da diversi sistemi sensoriali vengono integrate per promuovere varie forme di comportamento. I *nuclei motori* talamici inviano alla corteccia motrice informazioni sull'attività di altre regioni cerebrali, come il cervelletto, implicate nel controllo delle uscite motorie. Anche il sistema motivazionale riceve afferenze dirette da particolari nuclei di ritrasmissione. Inoltre, tutte le suddivisioni funzionali della corteccia cerebrale ricevono afferenze dai nuclei a proiezione diffusa. Ogni nucleo a proiezione diffusa può inviare proiezioni a suddivisioni funzionali diverse della corteccia cerebrale, delle quali si ritiene regoli il livello globale di eccitabilità

Tra i nuclei a proiezione diffusa ricordiamo il *nucleo reticolare* che ricopre l'intera superficie laterale del talamo. Le cellule di questo nucleo proiettano allo stesso *nucleo di ritrasmissione* dal quale ricevono afferenze. Il nucleo reticolare è l'unico nucleo talamico la cui uscita è inibitoria ed è anche l'unico nucleo talamico che non proietta alla corteccia cerebrale.

Costruzione degli psicostati

Sappiamo che quando siamo coscienti i neuroni del talamo scaricano alla frequenza di 40 Hz cioè ad un ritmo di 40 cicli al secondo. Le cellule della corteccia che ricevono proiezioni dal talamo sono collegate a tutti i due tipi di nuclei talamici, quelli di ritrasmissione e quelli a proiezione diffusa. Ciascuna di esse quindi scarica quando riceve un potenziale d'azione da un neurone dei nuclei di ritrasmissione e da un neurone dei nuclei a proiezione diffusa, sempre alla stessa frequenza di 40 Hz.

L'attivazione delle cellule che ricevono proiezioni dal talamo (in prevalenza cellule stellate del IV strato) attiva tutte le cellule della colonna che scaricano contemporaneamente. La colonna quindi viene a trovarsi in uno stato bimodale attiva/inattiva oppure 0/1.

Possiamo chiamare lo stato di attivazione di un gruppo di colonne con funzioni simili "*quanto di coscienza*" riprendendo una definizione di Rodolfo Llinas.

Possiamo ripartire i quanti di coscienza in due tipi: *sensitivi e puri*

Quando sono attivate colonne di aree secondarie ed associative che non ricevono afferenze dai recettori sensoriali abbiamo "*quanti di coscienza puri*". Se ad essere attivate sono le colonne delle aree sensitive primarie possiamo avere "*quanti di coscienza sensitivi*" oppure "*quanti di coscienza puri*" a seconda di quale nucleo di ritrasmissione prevale. Indichiamo un "quanto di coscienza sensitivo" con S ed un "quanto di coscienza puro" con P. Indichiamo con 0 lo stato di inibizione di ciascuna colonna.

Le colonne delle aree associative e secondarie nel momento in cui vengono eccitate dal talamo costruiscono sequenze del tipo P0P0P, dove P è il "quanto di coscienza puro" e 0 è lo stato di inibizione che segue lo stato eccitatorio delle cellule delle colonne.

Le colonne delle aree sensitive primarie costruiscono sequenze del tipo S0P0P, dove P è il "*quanto di coscienza puro*", 0 è lo stato di inibizione e S è il "*quanto di coscienza sensitivo*".

La costruzione degli psicostati avviene attraverso la memoria strutturante che associa psicostati costruendo blocchi sempre più complessi.

Postuliamo che si possano associare non più di tre elementi o blocchi. Postuliamo inoltre che per essere significativi gli psicostati devono contenere una sequenza che inizia e finisce con un quanto di coscienza ed inoltre che essa deve alternare stati di attività con stati di inibizione. Per esempio lo psicostato (0P0) non è significativo in quanto inizia e finisce con uno stato di inibizione; lo psicostato (PP0) non è significativo in quanto la sequenza non è corretta perché non alterna stati di attività con stati di inibizione.

I più semplici costrutti mentali delle colonne saranno il quanto di coscienza puro "P", il quanto di coscienza sensitivo "S" e lo stato di inibizione "0".

Da questi costrutti si ricavano i seguenti blocchi strutturando insieme i quanti di coscienza e lo stato di inibizione. Avremo: (P0), (0P), (P0P), (0P0). L'unico significativo di essi, per gli assiomi suesposti, sarà (P0P). Attraverso la memoria strutturante si otterranno ulteriori costrutti significativi: (P(0P)), ((P0)P), (P(0P0)P).

In che modo il cervello costruisce i blocchi?

Il cervello dopo aver costruito lo psicostato (P0P), lo memorizza in tal modo e nel passaggio ad un costrutto più complesso di cui questo è una componente lo prende in blocco come fatto mnemonico. Come abbiamo in precedenza detto a proposito della corteccia inferotemporale e alla sua costruzione del blocco "faccia", un gruppo di colonne costruisce il blocco "naso", un altro gruppo costruisce il blocco "occhi" e questi verranno associati nel blocco "faccia" attraverso la memoria strutturante. Lo stesso accade con i costrutti più semplici. Per esempio il blocco ((P0)P) viene così costruito. Un gruppo di colonne costruisce il blocco (P0) un altro gruppo costruisce il quanto di coscienza "P". Quest'ultimo viene strutturato assieme al blocco (P0) formando il blocco ((P0)P). La successione di scarica delle colonne del primo gruppo e del secondo determinerà il blocco più complesso. Analoga cosa accadrà per la costruzione del blocco (P(0P)). In questo caso le colonne che costruiscono il quanto di coscienza "P" (le stesse che prendono parte alla costruzione del blocco precedente) saranno associate a quelle colonne che costruiscono il blocco (0P) e insieme formeranno il blocco (P(0P)). In tal modo ogni costrutto ed ogni blocco sarà inserito in numerosi altri blocchi ed associato a tanti altri costrutti. Con lo stesso procedimento avremo costrutti del tipo (P(0P)(0P)), ((P0P)(0P)), (((P(0P))(0P0)P), (((P0)P)(0P)).

In che modo il cervello scompone i blocchi?

Quando da un blocco complesso si vuole analizzarne alcune componenti forse interviene il *nucleo reticolare* che inibisce le componenti superflue cancellandole momentaneamente dalla coscienza. In tal modo possiamo dire che la capacità analitica è una capacità di cancellazione di costrutti associati a ciò che a noi in quel momento interessa analizzare.

Sono state realizzate ricerche sull'analisi dei significati degli psicostati. In particolare il professor Giuseppe Vaccarino, docente di filosofia della scienza dell'università degli studi di Messina, nel suo libro "Prolegomeni" ne analizza alcune centinaia.

Secondo i suoi studi, i quanti di coscienza sensitivi vengono strutturati nei seguenti costrutti ((S(OP)) e ((PO)S), dove S è un quanto di conoscenza primario. Essi determinano il significato di "dolce", "duro", "molle", costruiti in chiave soggettiva ed oggettiva nelle aree sensitive primarie del cervello.