

STRUTTURA E FUNZIONE. PER UNA REVISIONE EVOLUTIVA DELLA NEUROLINGUISTICA

Caterina Scianna - caterinascianna@gmail.com

Dipartimento di Scienze Cognitive, della Formazione e degli Studi Culturali - Università degli studi di Messina

Abstract

Recent results challenge and refine the prevailing view of the way language is represented in the human brain. Broca's area has been considered, for over a century, as the brain centre responsible for speech production. Modern neuroimaging and neuropsychological evidence have suggested a new view of the functional role of the left anterior cortex in language use. This cerebral region does have a role in syntactic processing, but a highly specific one: It is the neural home to receptive mechanisms involved in the computation of the relation between transformationally moved phrasal constituents and their extraction sites. In addition to the evidence that it is involved in syntactical analysis, it has recently been shown that Broca's area may play some role in complex hand movements and sensorimotor integration and it has been proposed that it may form a crucial node of a human mirror-neuron system. It was hypothesized that the complex pattern of abilities associated with Broca's area might have evolved from its premotor function of assembling individual motor acts into goal-directed actions. This capacity of dealing with complex motor hierarchical structures could have evolved into a polymodal syntax serving also higher cognitive functions.

Key words: Broca's area, neurolinguistics, Trace-deletion Hypothesis, language network, evolutionary neuroprocessor.

In questo articolo viene proposta un'ipotesi evolutiva sulle strutture neuroanatomiche che permettono produzione e comprensione linguistica, sulla base di dati di neurolinguistica e neuropsicologia. Vedremo come oggi vengono attribuite funzioni specifiche di alto livello a strutture anatomiche, quali le aree di Broca e di Wernicke, considerate sino a qualche tempo fa in maniera generica come aree di produzione e comprensione del linguaggio. Con il superamento del modello classico di funzionamento del linguaggio, il modello Wernicke-Geschwind, rivelatosi empiricamente inadeguato, è stata messa in discussione l'idea di localizzazione esclusiva delle aree del linguaggio e si è cercato di ridefinire il ruolo svolto da quelle che erano state indicate come uniche aree specifiche del linguaggio. Negli ultimi anni, tecniche di visualizzazione cerebrale sempre più sofisticate hanno rivelato che se le aree di Broca e di Wernicke svolgono effettivamente un ruolo importante, vi sarebbero anche altre parti del nostro cervello implicate nei processi linguistici. La tendenza attuale in ambito neuroscientifico non è quella di individuare un'area precisa per una singola funzione ma funzioni complesse sono considerate come regolate da network (Mesulam, 1998). Si ritiene cioè che il linguaggio sia un meccanismo complesso, il cui funzionamento è regolato da un'ampia rete di circuiti nervosi, un network di interazione tra aree corticali e aree sottocorticali, aree dell'emisfero sinistro ma anche aree dell'emisfero destro (Lieberman, 2000; Grodzinsky e Friederici, 2006). Un insieme di reti nervose distribuite in zone diverse del cervello, che possono essere pensate come un doppio network di funzioni cerebrali stratificate: da una parte strutture profonde, quali i gangli basali, connesse ai comportamenti più primitivi come la fonazione e il controllo motorio, dall'altra un livello corticale superiore, responsabile delle operazioni astratte connesse alle funzioni secondarie superiori.

Discuteremo nello specifico di una nuova ipotesi che individua la precisa funzione linguistica svolta dall'area di

Broca. Questa ipotesi attribuisce all'area di Broca una funzione più elevata rispetto alla tradizionale attività produttiva che le è stata attribuita. Nelle sue prime formulazioni, Chomsky (2001) pone una distinzione tra due diversi livelli della rappresentazione di una frase: il livello della struttura profonda e il livello della struttura di superficie. Grodzinsky (2000) rintraccia nell'area di Broca la struttura cerebrale che si occuperebbe di regolare il rapporto tra questi due livelli. L'area di Broca non regola l'intera produzione linguistica ma ha un compito particolarmente specifico, che riguarda esclusivamente le regole sintattiche legate ai movimenti trasformazionali delle strutture frasali. Le operazioni di movimento sintattico, o più precisamente le operazioni di indicizzazione delle tracce nel passaggio dalle strutture profonde a quelle superficiali, costituirebbero la funzione sintattica centrale dell'area di Broca.

Un'ipotesi che attribuisce una funzione così specifica all'area di Broca permette di riconsiderare *in toto* le teorie classiche sul funzionamento delle aree cerebrali del linguaggio, permette dunque una ricostruzione dei processi di funzionamento del linguaggio, non un elemento qualitativamente differente della storia evolutiva del *sapiens*, ma un insieme di capacità complesse e stratificate, che nel corso dell'evoluzione sono state soggette a modifiche e specializzazioni e che si trovano in aree cronologicamente sovrapposte e diversamente funzionalizzate del nostro cervello. L'ipotesi di Grodzinsky permette di riconsiderare il ruolo svolto dall'area di Broca in chiave evolutiva: questa area costituirebbe così un processore specifico dell'*Homo sapiens*, che regola dei meccanismi astratti.

Dal modello Wernicke-Geschwind ai network del linguaggio

Negli ultimi decenni è cambiato profondamente il modo di intendere le aree cerebrali del linguaggio: se per larga parte del secolo scorso la tendenza è stata quella di

attribuire determinate funzioni a singole aree del cervello, oggi si parla piuttosto di rete neurale del linguaggio. Si è compreso cioè come una funzione complessa, quale il linguaggio umano, faccia affidamento non su poche e ben delimitate aree del nostro cervello bensì su una rete, su larghe porzioni del cervello strettamente collegate tra loro. Il linguaggio viene quindi inteso come una facoltà regolata non da singole aree ma da diversi centri in collegamento tra di loro, da un insieme di aree cerebrali complesse ed evolutivamente stratificate (Pennisi, 2006).

L'individuazione dei corrispettivi neurali del linguaggio comincia con gli studi di Paul Broca che, nella seconda metà dell'800, individua nella porzione posteriore del giro frontale inferiore dell'emisfero sinistro l'area che regolerebbe interamente la produzione linguistica. Successivamente viene delineato un modello di funzionamento del linguaggio, che individua, in maniera semplicistica, due aree precise dedicate ai processi linguistici, area di Broca e area di Wernicke, pensate regolare rispettivamente l'una gli aspetti di produzione linguistica e l'altra gli aspetti di comprensione linguistica. A metà del 900 questo modello viene rielaborato dall'anatomista Geschwind, che ne reimposta l'inquadramento teorico generale. Geschwind propone un modello dell'organizzazione anatomo-funzionale del linguaggio nell'emisfero sinistro, in cui vengono enfatizzate le capacità comunicative: il linguaggio è inteso come una serie di attività al servizio della comunicazione, ed ognuna di queste attività è connessa con un loco cerebrale. Secondo la versione finale di questo modello, durante la comprensione uditiva, i suoni percepiti vengono elaborati dalla corteccia uditiva primaria (BA 41/42) e da qui, passando per la corteccia uditiva associativa (BA 22), giungono all'area di Wernicke, dove è possibile accedere alla rappresentazione acustica della parola udita, che attiva concetti ad essa collegati in modo che la parola venga compresa. Per ripetere la parola udita, le informazioni vengono inviate, attraverso il fascicolo arcuato, all'area di Broca, dove vengono attivate le informazioni che riguardano le modalità di pronuncia dei suoni. Queste informazioni vengono infine inviate alle porzioni della corteccia motoria (BA 4) responsabili dei movimenti dell'apparato articolatorio.

Il modello Wernicke-Geschwind è stato accettato come valido e mantenuto per larga parte del secolo scorso. Sebbene alcune intuizioni e l'intelaiatura generale di questo modello siano tuttora valide e utili, negli ultimi decenni è stato dimostrato come questo sia in realtà empiricamente inadeguato. È stato cioè messo in luce come la teoria neuroanatomica classica sulla localizzazione e sulle funzionalità delle aree cerebrali dedicate al linguaggio sia fallace da diversi punti di vista (Dronkers, 2000; Friederici, 2002). Innanzitutto le funzioni di area di Broca e area di Wernicke non sono così facilmente individuabili: non si tratta cioè genericamente di area di produzione e area di comprensione del linguaggio (Stowe et al., 2005). Queste aree cerebrali svolgono sicuramente delle funzioni linguistiche fondamentali, ma ad oggi è ancora molto controversa la comprensione della precisa funzione che svolgerebbero. Inoltre è apparso evidente come il linguaggio coin-

volga una parte più vasta del cervello rispetto a quanto presupposto dalla precedente visione. Le aree di Broca e Wernicke svolgono certamente un ruolo importante nei processi linguistici ma non sono gli "organi" esclusivi del linguaggio. La facoltà di linguaggio non riguarda infatti soltanto la componente corticale, ma implica il coinvolgimento di una più ampia parte del cervello (Lenneberg, 1982). La corteccia è integrata con il resto del cervello e funziona in coordinazione con le altre strutture cerebrali, tessuti periferici e centrali del cervello si influenzano reciprocamente. Nel cervello non vi sono parti indipendenti o componenti autonome, dunque un comportamento specifico non ha mai un equivalente neuroanatomico unico e preciso (Hickok e Poeppel, 2000). Il network del linguaggio consiste di aree del cervello che hanno ognuna multiple specializzazioni e che collaborano tra loro (Denes, 2009; Keller et al., 2001).

Nelle neuroscienze cognitive contemporanee è dunque cambiato il modo di intendere il binomio struttura-funzione. Si è compreso come i comportamenti complessi siano regolati da sistemi neurali funzionali che collegano attività in differenti strutture neuroanatomiche. Alla precedente concezione statica di una localizzazione spaziale delle funzioni cognitive è stato sostituito un nuovo modo di intendere la localizzazione in chiave dinamica. I modelli che collegano una determinata funzione con una struttura cerebrale si basano sull'assunto che le mappe corticali non sono rappresentazioni statiche, fisse e immutabili (Dehaene, 2009; Morabito, 2009). Alla visione modulare classica si sono gradualmente sostituiti modelli distribuiti, secondo i quali il linguaggio è espressione di un network neurale specializzato, è il prodotto dell'elaborazione compiuta da diversi circuiti neurali che collegano molte strutture neuroanatomiche per tutto il cervello (De Vincenzi & Di Matteo, 2004).

Ciò che si cerca allora di stabilire è quali siano le aree che con precisione rientrano all'interno del network linguistico e quali tra queste svolgano funzione di epicentro. Numerosi studi (Hickok, 2001; Indefrey & Levelt, 2004) mostrano innanzitutto come non sarebbe possibile tracciare una netta separazione tra regioni specializzate per la produzione e regioni specializzate per la comprensione linguistica. Sembrerebbe infatti che sia in compiti di produzione che di comprensione si attivi lo stesso network di aree. Nel complesso sarebbero tre gli epicentri del linguaggio individuati nell'emisfero sinistro che dovrebbero essere considerati essenziali per il linguaggio: parte opercolare e triangolare del giro frontale inferiore, quindi BA44/45 (area di Broca); le porzioni posteriori del giro temporale superiore, con inclusione dell'area di Wernicke (BA21/22) e con esclusione del giro angolare (BA39) e del giro sovramarginale (BA40) nel lobo parietale inferiore; le aree posteriori della corteccia temporale inferiore (BA37, giro temporale inferiore, giro fusiforme) definite come area basilare del linguaggio (basal language area). In questo network sarebbe inoltre incluso anche un quarto epicentro, corrispondente alla parte inferiore e laterale della corteccia cerebellare destra (Papathanassiou et al., 2000). Nella produzione e nella comprensione di sequenze linguistiche sono coinvolte

anche le aree premotorie e l'area motoria primaria. L'area motoria primaria (BA4) si attiva in compiti di produzione e di discriminazione uditiva di sillabe. La corteccia premotoria (BA6) si attiva durante compiti di ascolto (Marini, 2008).

Processi sintattici e semantici

Uno dei modelli neuroanatomici ritenuto più valido è quello individuato da Friederici (2002). La neuroanatomia della comprensione del linguaggio viene descritta come un network in cui le regioni temporali sinistre supporterebbero i processi che identificano elementi fonetici, lessicali e strutturali e la corteccia frontale sinistra sarebbe coinvolta nella formazione di relazioni strutturali, semantiche e tematiche. Mentre l'informazione sintattica e semantica è processata dall'emisfero sinistro, i processi di informazione prosodica occorrono nell'emisfero destro: la regione temporale destra si occuperebbe dell'identificazione di parametri prosodici e la corteccia frontale destra sarebbe coinvolta nel processamento della melodia della frase (Friederici, 2006). Processi semantici e sintattici sarebbero quindi supportati da un complesso network bilaterale temporo-frontale con aree specializzate per la sintassi e aree specializzate per la semantica. Vi sarebbero dunque un network semantico che comprende la porzione posteriore del giro temporale superiore, il giro temporale medio e la porzione ventrale del giro frontale inferiore (BA45-47), e un network dei processi sintattici che invece comprende la porzione anteriore del giro temporale superiore, l'area di Broca (BA44/45), ovvero parte triangolare/ parte opercolare e l'opercolo frontale adiacente, e gangli basali (Friederici *et al.*, 2003).

Grodzinsky e Friederici (2006) individuano due sotto-network sintattici, in cui accanto all'area di Broca entrano in gioco altre regioni nella regolazione dei processi sintattici: mentre l'area di Broca si occuperebbe della costituzione delle relazioni di dipendenza tra i costituenti della frase, il giro temporale superiore posteriore sarebbe responsabile dell'integrazione finale. L'area di Broca e il giro temporale superiore posteriore sono collegati tramite il fascicolo longitudinale superiore. Il giro frontale inferiore dell'emisfero sinistro sarebbe coinvolto anche nel network semantico. Durante l'esecuzione di compiti semantici vi è infatti un'attivazione preferenziale in tre porzioni specifiche del giro frontale inferiore sinistro: la porzione dorsale della parte opercolare (BA44), che si attiva in compiti di categorizzazione semantica o giudizio semantico, di decisione lessicale, di generazione di aggettivi, di nomi di colori e di verbi; porzioni diverse della parte triangolare (BA45), ovvero la parte dorsale che è coinvolta nel mantenimento di informazioni di natura verbale nella memoria di lavoro fonologica, la porzione superiore della parte ventrale che svolge una funzione semantica e la porzione inferiore che svolge invece una funzione prevalentemente sintattica, legata all'elaborazione delle strutture frasali; infine la parte orbitale (BA47), associata al recupero di informazioni semantiche (Marini, 2008). L'elaborazione semantico-lessicale sarebbe quindi il prodotto di un vasto network di epicentri neurali distribuiti nei lobi temporali, frontali e

parietali (Vigneau *et al.* 2006). Nell'organizzazione neurale del sistema semantico un ruolo chiave viene svolto dai lobi temporale e parietale inferiore dell'emisfero sinistro. Le porzioni posteriori del giro temporale superiore (BA21/22) svolgono certamente un ruolo critico per la rappresentazione semantica delle parole, ma queste porzioni del lobo temporale non sono comunque le uniche interessate da un'elaborazione di tipo semantico (nei pazienti con afasia di Wernicke l'accesso alle informazioni semantiche delle parole non è completamente interrotto, ma vi è un accesso parziale alla rete dei significati lessicali). Dunque anche l'area di Wernicke svolgerebbe il suo ruolo in collegamento al network in cui è inserita: quest'area non sarebbe il centro dei concetti delle parole ma soltanto uno degli epicentri di un più ampio network semantico-lessicale.

Area di Broca e teoria della cancellazione della traccia

Siamo arrivati al punto centrale della nostra discussione. Da adesso in poi cercheremo di comprendere nello specifico qual è il ruolo che svolgerebbe, all'interno della rete neurale del linguaggio, l'area di Broca. Ricordiamo che con il termine "area di Broca" ci si riferisce precisamente alle aree 44-45 della classificazione di Brodmann. Queste aree coincidono con la parte opercolare (BA44) e la parte triangolare (BA45) della terza circonvoluzione frontale (Aboitiz & Garcia, 1997). Abbiamo visto come, con gli studi di Paul Broca e successivamente con il modello Wernicke-Geschwind, l'area di Broca sia stata intesa come unico centro di produzione del linguaggio e, in quanto tale, si è creduto che questa regione regolasse tutti i meccanismi sintattici che entrano in gioco nella costruzione e nella comprensione delle frasi. Ciò su cui ci soffermeremo adesso è invece una nuova visione, che assegna all'area di Broca una funzione molto più ristretta e astratta rispetto a quella attribuitole sinora. Questa ipotesi è proposta dallo psicolinguista Grodzinsky che, partendo dalla constatazione del fatto che i pazienti afasici di Broca conservano la maggior parte delle loro capacità sintattiche, mostra come, in caso appunto di afasia di Broca, gli elementi funzionali non siano tutti danneggiati ma il deficit sia altamente selettivo (Grodzinsky, 1995), riguardando tutte e soltanto le frasi che contengono movimento sintattico, le strutture quindi che contengono operazioni trasformazionali tra costituenti frasali mossi e i loro siti d'estrazione (Grodzinsky, 2000). Secondo questa ipotesi l'area di Broca, all'interno del dominio linguistico, svolgerebbe quindi una funzione specifica: regolerebbe le trasformazioni tra i due livelli della struttura profonda e della struttura di superficie. L'area di Broca si occuperebbe quindi di una funzione teorizzata da Chomsky nelle sue prime formulazioni sulla struttura sintattica delle lingue. Chomsky (2001) ipotizza l'esistenza di due livelli ben distinti: la struttura di superficie, concretamente osservabile a livello fonetico e la sottostante struttura profonda, che permette l'interpretazione semantica ma che non è ricavabile immediatamente dall'analisi dei dati linguistici concreti. Ciascuna frase di ogni lingua è intesa come un accoppiamento specifico di una rappresentazione fonetica con un struttura astratta. Il

movimento sintattico è l'operazione che cambia il relativo ordine sequenziale degli elementi in una frase, è una relazione astratta tra due posizioni: la posizione originale che l'elemento occupa nella struttura profonda e la posizione dove l'elemento si viene a trovare nella struttura di superficie (Chomsky, 1995). La necessità di soddisfare a tutti i livelli la specificazione di un'entrata lessicale rende indispensabile il ricorso alle categorie vuote per rappresentare sia nella struttura-P che nella struttura-S gli elementi mancanti. La trasformazione grammaticale consiste quindi nel copiare un costituente in un'altra posizione della frase e porre nella sua posizione originale una traccia, una categoria foneticamente vuota ma sintatticamente attiva. Le tracce sono elementi presenti nelle rappresentazioni mentali degli individui, che non contengono tratti fonetici, quindi non inviano segnali ai meccanismi vocali e non vengono così pronunciate, ma sono comunque ben visibili ai meccanismi della mente (Chomsky, 2008). Il movimento di un elemento in una frase implica che questo abbia una doppia esistenza: come entità fonetica, è posto nella frase nel *landing site*, la posizione dove si viene a trovare dopo il movimento; come interpretazione semantica, si trova in un altro punto, nella posizione originale, che dopo il movimento è foneticamente vuota ma tematicamente attiva. È grazie al collegamento tra il costituente e la sua traccia che viene trasmesso il ruolo tematico.

Diversi studi mostrano come le difficoltà degli afasici di Broca riguardino proprio le frasi che contengono movimento sintattico (Nicol & Love, 2000; Pinango, 2000): la maggior parte dei danneggiamenti riguardano produzione e comprensione di frasi passive, mentre intaccano solo marginalmente le frasi attive. Nella struttura di superficie delle frasi passive l'ordine degli elementi all'interno della frase non è quello canonico, in questo tipo di frasi gli elementi che ricoprono il ruolo di agente e tema non si trovano nelle loro posizioni canoniche, nelle posizioni cioè che occupano a livello della struttura profonda: ciò comporta delle difficoltà da parte dei pazienti afasici nell'assegnamento dei ruoli tematici (Bastiaanse & Edwards, 2004). In questo tipo di frasi gli afasici non riescono a rappresentarsi la relazione tra la traccia e l'antecedente, la presenza della traccia viene cioè cancellata, di conseguenza i pazienti afasici non riescono ad attribuire il ruolo tematico all'elemento che ha subito lo spostamento e non si trova nella sua posizione canonica. L'assegnamento del ruolo tematico nelle frasi attive non comporta invece alcuna difficoltà, perché in questo caso il sintagma nominale non subisce movimento e rimane sempre nella sua posizione tematica.

Naturalmente vi sono delle differenze tra le lingue. Le difficoltà nel testare l'ipotesi di Grodzinsky stanno proprio nel fatto che le regole del movimento sintattico variano da una lingua all'altra. Gli studi che hanno portato alla formulazione dell'ipotesi di Grodzinsky sono effettuati con pazienti afasici: si è risaliti alla funzione dell'area di Broca osservando quali sono le strutture danneggiate dopo una lesione a questa area. Da studi su afasici parlanti lingue diverse risulta che il deficit riguarda sempre strutture che comportano movimento sintattico. Si riscontrano quin-

di delle difficoltà nella produzione di frasi interrogative che comportano lo spostamento di un morfema interrogativo all'inizio della frase, come le interrogative inglesi (Friedmann, 2006). Sono danneggiate le strutture che contengono movimento verbale: nella lingua olandese vi sono problemi nella produzione e comprensione di frasi a cui è applicata la regola del *verb second* e nella lingua inglese sono danneggiate le interrogative in cui vi è movimento dell'ausiliare (Bastiaanse & Thompson, 2003). Vi sono danneggiamenti anche nella produzione di frasi negative in quelle lingue in cui la negazione interferisce con il movimento verbale (Bastiaanse *et al.*, 2002) e infine vi sono difficoltà con lo spostamento del complemento oggetto in olandese (Burchert *et al.*, 2008). Per ciò che riguarda la lingua italiana gli studi volti a testare l'ipotesi di Grodzinsky sono sinora stati esigui e hanno riscontrato esclusivamente la differenza tra frasi attive e frasi passive di cui abbiamo parlato (Caramazza *et al.*, 2005).

Secondo la teoria della cancellazione della traccia di Grodzinsky dunque in caso di afasia di Broca vi è un danneggiamento degli specifici meccanismi che connettono l'antecedente alla sua traccia: il deficit starebbe nell'incapacità di rappresentare le tracce del movimento nelle rappresentazioni sintattiche. Come conseguenza la trasmissione del ruolo tematico al costituente mosso, normalmente mediato dal legame tra la traccia e il suo antecedente, non può avere luogo. Nella rappresentazione sintattica degli individui afasici, un qualsiasi sintagma mosso manca dunque del suo ruolo tematico. La conclusione cui arriva Grodzinsky è che le operazioni di movimento sintattico sono il cuore del deficit: esse costituiscono la funzione sintattica centrale dell'area di Broca. Le lesioni all'area di Broca non intaccherebbero dunque né abilità semantiche né abilità sintattiche di base: combinazione di significati lessicali in proposizioni, creazione e analisi di frasi con strutture abbastanza complesse e capacità di analizzare parole morfo-fonologicamente, negli afasici di Broca, si manterrebbero intatte. L'afasia di Broca sembrerebbe spiegabile in ogni caso come un fenomeno di perdita delle istruzioni di movimento nel corso della trasformazione (Grodzinsky & Finkel, 1998). Secondo Grodzinsky quindi l'area di Broca svolgerebbe una funzione avanzata, propriamente umana: si occuperebbe esclusivamente di regolare sintatticamente le costruzioni derivate da movimenti trasformativi.

Il neuroprocessore evolutivo delle attività cognitive superiori

In questo lavoro ci siamo proposti di mostrare quale sia la funzione svolta da un'area precisa del cervello umano, un'area cui per gran parte del secolo scorso è stato attribuito un ruolo generico che riguardava l'intera produzione linguistica. Nel far questo abbiamo da un lato cercato di mostrare perché il modello classico, che spiegava la correlazione tra linguaggio e cervello, si sia rivelato inadeguato e dall'altro lato abbiamo mostrato invece quali siano i principali modelli neuroanatomici individuati oggi. Nel discutere la funzione svolta dall'area di Broca ci è sembrato

opportuno sottolineare come sia fondamentale considerare il ruolo di questa regione inserendolo all'interno del complesso network cerebrale dedicato al linguaggio. Il quadro che viene fuori da questi studi mostra sempre più chiaramente come il modello classico fosse troppo semplicistico e come le aree che fanno parte del network linguistico si trovino in realtà in parti diverse del nostro cervello. All'interno delle scienze cognitive è oramai accertato che tutto il funzionamento del cervello, inclusi i processi che regolano il linguaggio, sia organizzato in una rete di aree interconnesse tra loro. Bisogna sottolineare l'importanza del ruolo svolto da aree che precedentemente, nel modello classico, erano escluse dalla regolazione del linguaggio, quali emisfero destro e zone sottocorticali come i gangli basali. Sarebbero proprio queste strutture primitive, infatti, a regolare l'articolazione linguistica, funzione che precedentemente veniva assegnata all'area di Broca. Grodzinsky attribuisce all'area di Broca una funzione elevata, specifica soltanto dell'uomo: questa area, ripetiamo, sarebbe deputata ad operazioni puramente astratte di tipo trasformazionale. Questo rappresenta una totale svolta rispetto alla funzione che per tutto il secolo scorso è stata attribuita a questa regione cerebrale. Ciò che viene dunque fuori dal quadro che abbiamo delineato è che l'articolazione, che è una sorta di funzione di base, è regolata da strutture antiche del cervello umano, strutture presenti anche nel cervello di altri animali, mentre l'area di Broca, struttura esclusiva del cervello umano, svolgerebbe una funzione specifica e particolarmente astratta, una funzione cognitivamente superiore presente soltanto nel linguaggio dell'uomo. Attribuire all'area di Broca una generica funzione articolatoria non rende ragione del percorso evolutivo che questa regione ha subito, del momento in cui si sviluppa e dei cambiamenti cui è soggetta. Una competenza funzionale elevata è invece coerente con la storia evolutiva dell'area di Broca, trattandosi di un'area comparsa recentemente, di un'area che ha subito notevoli rifunzionalizzazioni, che soltanto nel corso dell'evoluzione è venuta ad assumere una funzione elevata, astratta e particolarmente specifica.

Un vero e proprio sviluppo dell'area di Broca si ha con *Homo habilis*, successivamente, nel *Neanderthal*, quest'area raggiunge delle dimensioni simili a quelle attuali (Bradshaw, 2001). Questi ominidi non sono ancora in grado di produrre voce articolata: pur possedendo una sviluppata area di Broca, sono infatti privi di un tratto vocale sopralaringeo adeguato. Inizialmente quindi l'area di Broca regola funzioni non linguistiche (con molta probabilità si ritiene che nel *Neanderthal* si occupasse di funzioni motorie) e successivamente, nel corso dell'evoluzione, viene ad assumere la sua funzione linguistica. È importante porre una particolare attenzione al tipo di funzioni motorie regolate dall'area di Broca: pur trattandosi infatti di funzioni motorie, sono di tipo particolarmente specifico, sono funzioni che possono essere in qualche modo considerate esclusive dell'essere umano. L'area di Broca non regola infatti funzioni motorie "di base", ma si occupa di funzioni più particolari e specifiche: l'attivazione di questa area è provata durante l'esecuzione di movimenti orofac-

ciali e brachiomaneali (Binkofsky & Buccino, 2004), durante la rappresentazione di movimenti astratti o comunque durante compiti che necessitano di un alto controllo sensorimotorio (Binkofski *et al.*, 2000). L'area di Broca fa parte del sistema specchio dell'uomo, attivandosi durante l'osservazione e l'imitazione di alcuni tipi di movimento effettuati da un altro individuo, movimenti che hanno uno scopo preciso (Iacoboni, 2008). Tra questi rientrano anche i movimenti fini eseguiti con le mani (Buccino *et al.*, 2004). Sulla base di questi studi è stata sviluppata l'ipotesi che vi sia un legame evolutivo tra funzioni motorie e funzioni linguistiche dell'area di Broca: questa regione si sarebbe inizialmente specializzata nella composizione gerarchica di atti motori semplici in azioni complesse con un fine specifico. Queste regole pragmatiche successivamente sarebbero state applicate a domini più astratti, quale quello della sintassi linguistica (Fazio *et al.*, 2009). L'area di Broca si occuperebbe quindi di funzioni specifiche, sia linguistiche che non linguistiche, sarebbe un neuroprocessore evolutivo che permette di elaborare elementi complessi del linguaggio ed elementi complessi della cognizione umana.

Bibliografia

- ABOITIZ, F. & GARCIA, R. (1997), «The evolutionary origin of the language areas in the human brain. A neuro-anatomical perspective» in *Brain Research Reviews*, n.25, pp.381-396.
- BASTIAANSE, R. & EDWARDS, S. (2004), «Word order and finiteness in dutch and english Broca's and Wernicke's aphasia» in *Brain and language*, n.89, pp.91-107.
- BASTIAANSE, R., HUGEN, J., KOS, M. & ZONNEVELD, R. (2002), «Lexical, morphological, and syntactic aspects of verb production in agrammatic aphasics» in *Brain and Language*, n.80, pp.142-159.
- BASTIAANSE, R., & THOMPSON, C. (2003), «Verb and auxiliary movement in agrammatic Broca's aphasia» in *Brain and Language*, n.84, pp.286-305.
- BINKOFSKI, F., AMUNTS, K., STEPHAN, K., POSSE, S., SCHORMANN, T., FREUND, H., ZILLES, K., & SEITZ, R. (2000), «Broca's region subserves imagery of motion: a combined cytoarchitectonic and fMRI study» in *Human Brain Mapping*, n.11, pp.273-285.
- BINKOFSKI, F. & BUCCINO, G. (2004), «Motor functions of the Broca's region» in *Brain and language*, n.89, pp.362-369.
- BRADSHAW, J. L. (2001), *Evoluzione umana. Una prospettiva neuropsicologica*, Tr. it. Roma, Giovanni Fioriti Editore.
- BUCCINO, G., VOGT, S., RITZL, A., FINK, G., ZILLES, K., FREUND, H., & RIZZOLATTI, G. (2004), «Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event related fMRI study» in *Neuron*, n.42, pp.323-334.
- BURCHERT, F., MEIBNER, N., & BLESER, R. (2008), «Production of non-canonical sentences in agrammatic aphasia: limits in representation or rule application?» in *Brain and Language*, n.104, pp.170-179.
- CARAMAZZA, A., CAPASSO, R., CAPITANI, E., & MICELI, G. (2005), «Patterns of comprehension performance in agrammatic Broca's aphasia: A test of the trace deletion hypothesis» in *Brain and language*, n.94, pp.43-53.

- CHOMSKY, N. (1995), *The minimalist program*, Cambridge, MIT Press.
- CHOMSKY, N. (2001), *La grammatica trasformazionale*, Tr. it. Torino, Bollati Boringhieri.
- CHOMSKY, N. (2008), *Regole e rappresentazioni*, Tr.it. Milano, Baldini e Castoldi.
- DEHAENE, S. (2009), *I neuroni della lettura*, Tr. it. Milano, Raffaello Cortina.
- DENES, G. (2009), *Parlare con la testa. Le basi neurologiche e la struttura del linguaggio*, Bologna, Zanichelli.
- DE VINCENZI, M. & DI MATTEO, R. (2004), *Come il cervello comprende il linguaggio*, Roma-Bari, Laterza.
- DRONKERS, N. (2000), «The pursuit of brain-language relationship» in *Brain and Language*, n.71, pp.59-61
- FAZIO, P., CANTAGALLO, A., CRAIGHERO, L., D'AUSILIO, A., ROY, A., POZZO, T., CALZOLARI, F., GRANIERI E., & FADIGA, L. (2009), «Encoding of human action in Broca's area» in *Brain*, n.132, pp.1980-1988.
- FRIEDERICI, A.D. (2002), «Towards a neural basis of auditory sentence processing» in *Trends in Cognitive Sciences*, n.6, pp.78-84.
- FRIEDERICI, A.D. (2006), «The neural basis of sentence processing: inferior frontal and temporal contributions» in GRODZINSKY Y., AMUNTS K. (Eds), *Broca's region*, Oxford University press, pp.196-217.
- FRIEDERICI, A.D., RUSCHEMEYER, S.A., HAHNE, A., & FIEBACH, C.J. (2003), «The role of left inferior frontal and superior temporal cortex in sentence comprehension: localizing syntactic and semantic processes» in *Cerebral cortex*, n.13, pp.170-177.
- FRIEDMANN, N. (2006), «Speech production in Broca's agrammatic aphasia: syntactic tree pruning» in GRODZINSKY Y., AMUNTS K. (Eds), *Broca's region*, Oxford University press, pp.63-82.
- GRODZINSKY, Y. (1995), «A restrictive theory of agrammatic comprehension» in *Brain and Language*, n.50, pp.27-51.
- GRODZINSKY, Y. (2000), «The neurology of syntax: language use without Broca's area» in *Behavioral and Brain Sciences*, n.23, pp.1-71.
- GRODZINSKY, Y. & FINKEL, L. (1998), «The neurology of empty categories: Aphasics' failure to detect ungrammaticality» in *Journal of cognitive neurosciences*, n.10:2, pp.281-292.
- GRODZINSKY, Y. & FRIEDERICI, A. (2006), «Neuroimaging of syntax and syntactic processing» in *Current Opinion in Neurobiology*, n.16, pp.240-246.
- HICKOK, G. (2001), «Functional anatomy of speech perception and speech production: psycholinguistic implications» in *Journal of psycholinguistic research*, n.30, pp.225-235.
- HICKOK, G. & POEPEL, D. (2000), «Towards a functional neuroanatomy of speech perception» in *Trends in cognitive sciences*, n.4, pp.131-138.
- IACOBONI, M. (2008), *I neuroni specchio. Come capiamo ciò che fanno gli altri*, Tr. it. Torino, Bollati Boringhieri.
- INDEFREY, P. & LEVELT, W. J. M. (2004), «The spatial and temporal signatures of word production components» in *Cognition*, n.92, pp.101-144.
- KELLER, T., CARPENTER, P., & JUST, M. A. (2001), «The neural bases of sentence comprehension: a fMRI examination of syntactic and lexical processing» in *Cerebral Cortex*, n.11, pp.223-237.
- LENNEBERG, E. (1982), *I fondamenti biologici del linguaggio*, Tr. it. Torino, Boringhieri.
- LIEBERMAN, P. (2000), *Human language and our reptilian brain*, Harvard University Press.
- MARINI, A. (2008), *Manuale di neurolinguistica*, Roma, Carocci.
- MESULAM, M. (1998), «From sensation to cognition» in *Brain*, n.121, pp.1013-1052.
- MORABITO (2009), «Struttura e funzione nelle neuroscienze cognitive contemporanee» in (a cura di Cardella V. & Bruni D.), *Cervello, linguaggio, società. Atti del convegno 2008 CODISCO*, Roma, Squilibri, pp.48-62.
- NICOL, J. & LOVE, T. (2000), «Overarching agrammatism: when comprehension involves production» in GRODZINSKY Y., SHAPIRO L., SWINNEY D. (Eds.), *Language and the brain*, San Diego Academic Press, pp. 105-120.
- PAPATHANASSIOU, D., ETARD, O., MELLET, E., ZAGO, L., MAZOYER, B., & TZOURIO-MAZOYER, N. (2000), «A common language network for comprehension and production : a contribution to the definition of language epicentres with PET» in *Neuroimage*, n.11, pp.347-357.
- PENNISI A. (2006), «Patologie e psicopatologie del linguaggio» in PENNISI A., PERCONTI P. *Le scienze cognitive del linguaggio*, Bologna, Il Mulino, pp.193-258.
- PINANGO, M. (2000), «Syntactic displacement in Broca's agrammatic aphasia» in BASTIAANSE, R., GRODZINSKY Y. (Eds), *Grammatical disorders in aphasia. A neurolinguistic perspective*, London, Whurr publisher, pp.75-87.
- STOWE, L. A., HAVERKORT, M., & ZWARTS, F. (2005), «Rethinking the neurological basis of language» in *Lingua*, n.115, pp.997-1042.
- VIGNEAU, M., BEAUCOUSIN, V., HERVÈ, P.Y., DUFFAU, H., CRIVELLO, F., HOUDÈ, O., MAZOYER, B., & TZOURIO-MAZOYER, N. (2006), «Meta-analyzing left hemisphere language areas: phonology, semantics, and sentence processing» in *Neuroimage*, n.30, pp.1414-32.