

Vincoli biologici ed etologia sociale del linguaggio: i nuovi dati sulla corteccia uditiva

Alessandra Falzone

Università di Messina – Dipartimento di Scienze cognitive
amfalzone@unime.it

Abstract The morphological basis of language has been regarded as the core exclusivity of human language. According to this view, we can ground such a complex function as language on anatomical basis, but on the other hand this position collides with the evidences from evolutionary biology and psychobiology, that brought the speciality of human language back to a comparative level, proving that the brain primacy of the cognitive sciences' second phase was wrong. The model used to explain the biological nature of language regards thus the anatomical structures as a biological constraint that anchors to reality, an anatomical and functional ratchet effect rather than a guarantee of the presence of language. According to this perspective, the peripheral and central structures of language can't be trivially seen as the "biological basis" of language but they influence its realization in a qualitative way. The aim of this work is to inquire on the biological nature of language, more precisely on the auditory cortex specialization for language. Recent research on the auditory cortex showed that it plays a central adaptive role in primates and it thus shows a functional hyperspecialization. In primates the auditory perception would be connected to a core evolutionary role: intraspecies communication. Thus, the auditory perception has a central function for highly social species like primates: to recognize the biological meaning of communicative sounds. Moreover, psychobiological and neuroscientific data showed a hypersensitivity of the human auditory cortex for linguistic sounds, with a typical activation for consonant and words belonging to native language. This data would support the idea of an exaptation of the human auditory cortex for linguistic purposes, an exaptation grounded on an anatomical structure which has been originally selected for communication.

Keywords: biological constraints, auditory cortex, language species-specificity, exaptation, primate communication

1. Premessa: dai fondamenti ai vincoli biologici del linguaggio

Uno degli approcci classici allo studio del linguaggio, a partire dal naturalismo aristotelico, è quello che considera le componenti anatomiche come dei correlati, come delle strutture sulle quali viene implementata la funzione. Questo atteggiamento ha dato vita a posizioni opposte nel corso del secolo scorso: se da un lato, infatti, coloro che hanno indagato il linguaggio in ambito filosofico-linguistico

si sono occupati esclusivamente dei suoi aspetti funzionali (con una più o meno esplicita espunzione delle strutture biologiche, si pensi alle tesi chomskyane, per non risalire a Saussure e ai sostenitori dello strutturalismo), dall'altro alcuni studiosi di formazione multidisciplinare hanno privilegiato l'analisi strutturale, come contrassegno evolutivo della funzione linguistica, una sorta di garanzia della presenza unica del linguaggio nel *sapiens* (LENNEBERG 1967, LIEBERMAN 1975, etc).

L'atteggiamento delle scienze cognitive all'interno del dibattito sulla natura e la funzione del linguaggio umano era chiaro e in un certo senso estremo: accantonate le speranze formalizzanti e defisicizzanti della prima generazione di cognitivisti¹, infatti, le scienze cognitive hanno rivolto le loro attenzioni alle strutture neuroanatomiche, forti di una mole via via crescente di informazioni sul funzionamento del sistema nervoso centrale durante l'esecuzione di certi comportamenti. Per il paradigma cognitivista di seconda generazione, le strutture biologiche hanno costituito il reale oggetto di studio, perdendo a volte di vista la spiegazione della funzione in favore della individuazione di loci cerebrali attivati durante la messa in atto di compiti cognitivi (SWAAB 2010), soprattutto quelli linguistici, che conoscevano già una definita collocazione neuroanatomica. E questo sino a ridurre l'essenza della funzione linguistica all'uso di strutture centrali del linguaggio. Il modello proposto da una parte emergente delle discipline cognitive di seconda generazione, dunque, si basava sul "primato del cervello" nella spiegazione delle funzioni, senza considerare le relazioni che questo intrattiene con il resto dell'organismo: si considerava il cervello un organo speciale ("*brain is special*") assegnando così alle funzioni che esso controlla uno statuto "speciale", prima tra tutte il linguaggio (PENNISI e FALZONE 2011).

Gli studi evoluzionistici (cfr. JOHANSSON 2005, BOTHA-KNIGHT 2009a, BOTHA-KNIGHT 2009b) e comparativo-biologici (FITCH 2010, HAUSER 1997) in generale hanno incrinato questa impostazione spostando l'attenzione dalla descrizione dell'attività cerebrale in risposta a stimoli al significato che tale attività avrebbe in relazione al suo ruolo adattativo-ecologico (GOULD 2002): il linguaggio in tale prospettiva sarebbe non solo una funzione cognitiva complessa non riducibile né alla sola attività cerebrale né alla sola capacità comunicativa, ma anche una funzione centrale e specie-specifica per il *sapiens*. Il linguaggio, in sostanza, non sarebbe una tra le tante funzioni della cognitività umana da studiare indipendentemente dal suo ruolo adattativo, ma una funzione adattativamente centrale in quanto condiziona le attività cognitive umane al punto tale da costituire un vincolo, una "coercizione" funzionale e rappresentazionale. In questo senso il linguaggio viene considerato come una funzione cognitiva biologicamente condizionata, ancorata alla realtà (*grounded cognition*) tramite le strutture su cui è

¹ Per i primi anni dalla loro costituzione, le scienze cognitive si sono caratterizzate per la centralità del concetto di procedura formale: si pensava di poter descrivere i processi cognitivi come una serie di passi algoritmici, computazioni, simulabili su strutture non organiche. Il mancato raggiungimento di quest'obiettivo (almeno nella sua versione più ambiziosa di costruire una macchina che fosse in grado di eseguire computazioni tipicamente umane) e l'accumularsi di dati di *brain imaging* sul funzionamento del cervello hanno fatto sì che si passasse dalla centralità dei processi di computazione alla centralità dei processi di attivazione cerebrale. Questa seconda fase delle scienze cognitive ha visto il primato del cervello sulla funzione mentale e spesso la riduzione di quest'ultima ad attivazioni emodinamiche cerebrali. Per un ampio dibattito in merito, mi permetto di rimandare a FALZONE (in pubblicazione), *Incontro con le scienze cognitive*.

implementata e che ne dirigono la realizzazione (*language grounding*) (cfr. BARSALOU 2008, PULVERMÜLLER 2008).

Le strutture anatomiche del linguaggio umano determinano i modi di realizzazione di tale vincolo filtrando le informazioni presenti nel mondo e consentendo una modalità tipica di costruzione delle nostre rappresentazioni del mondo. I canali sensoriali del *sapiens* (così come, *mutatis mutandis*, quelli delle altre specie animali), infatti, sono costruiti in maniera tale da essere colpiti solo da una certa tipologia di stimoli e questi ultimi vengono riconosciuti, categorizzati ed elaborati sulla base di strutture cognitive tipicamente umane. Siamo cognitivamente ciechi agli infrarossi, così come siamo “cognitivamente orientati” a classificare gli oggetti che riconosciamo come simili nella forma o negli usi all’interno di una stessa categoria, o ad apprendere informazioni culturalmente determinate sulla base delle esperienze quotidiane all’interno di una determinata comunità linguistica (HAGOORT et al. 2004).

Non siamo noi a scegliere, siamo costretti a conoscere il mondo sulla base dei vincoli biologico-cognitivi che la storia evolutiva ci ha consegnato. Sono tali vincoli a determinare la costruzione della *Umwelt* di ogni specie animale (von UEXKÜLL 1934), consentendo di differenziarle non solo biologicamente ma cognitivamente.

In questo lavoro si vuole sostenere la tesi secondo cui i vincoli biologici del linguaggio, nel senso sopra discusso di condizionamenti biologico-cognitivi, consentono la modalità tipica del *sapiens* di utilizzare il linguaggio per costruire e decodificare rappresentazioni dell’ambiente materiale e relazionale. Questo significherebbe che la funzione linguistica è specie-specifica per il *sapiens*, una capacità che l’uomo non può non mostrare e che influenza le altre attività conoscitive. Questa coercizione si manifesta già nelle strutture biologiche deputate alla decodifica uditiva, specializzate in compiti linguistici e cognitivamente complessi. La corteccia uditiva, infatti, presenterebbe un’organizzazione specie-specifica nel *sapiens* che la renderebbe “sensibile” (e, dunque, specializzata) alle informazioni di tipo linguistico a vari livelli di competenza.

1.1. Specie-specificità linguistica e uditiva

Prima di proseguire nella descrizione delle ragioni che spingono a sostenere la specie-specificità della corteccia uditiva umana è necessario precisare che la nozione “tecnica” di *specie-specificità* cui si fa riferimento in questo lavoro appartiene alla tradizione etologica classica secondo cui è specie-specifico quel comportamento cui un individuo, in quanto appartenente a una specie, non può sottrarsi. Nessuna valutazione circa la spettacolarità o l’esclusività di una manifestazione comportamentale può essere dedotta dalla sua specie-specificità: formulato in ambito biologico, questo concetto indicherebbe il fatto che certi organismi sarebbero attivi solo verso una determinata specie animale o vegetale (si pensi a quei parassiti che vivono esclusivamente in determinate specie di animali o piante). Lorenz ha mutuato questo concetto biologico assegnandolo a una sfera più alta rispetto alla semplice compatibilità chimica, quella del comportamento, che segue leggi di funzionamento differenti rispetto a quelle della biologia animale o vegetale.

La componente centrale della nozione di specificità che Lorenz intendeva applicare al comportamento animale era l’elemento costrittivo: i parassiti che non possono scegliere quale pianta infestare, ma possono anzi devono attaccare, per la loro sopravvivenza e riproduzione, una sola specie, presentano *Speziesspezifität*. Così il padre fondatore dell’etologia ha impiegato questa nozione di coercizione funzionale applicandola al comportamento animale. Nell’etologia contemporanea, infatti, si

parte dal presupposto secondo cui «il comportamento è determinato in gran parte da adattamenti filogenetici sotto forma di coordinazioni ereditarie e di meccanismi scatenanti innati» (EIBL-EIBESFELDT 1987: 382): è quest'accezione a definire l'uso tecnico del termine "specie-specificità".

La componente naturale del comportamento risiede, così, proprio nel gradiente di specie-specificità che una specie animale mostra: più è alto questo gradiente, più i comportamenti dei singoli membri sono vincolati e la loro esecuzione, data una certa condizione ambientale, pare inarrestabile.

Ovviamente si tratta di una definizione generale applicabile a qualsiasi manifestazione comportamentale con la cautela, però, di considerare la complessità funzionale del comportamento preso in considerazione. Se un comportamento è specie-specifico vuol dire che esso si realizza attraverso dei filtri selettivi che condizionano la sua esecuzione.

Nel caso del linguaggio umano appare evidente che tali filtri siano costituiti dalle strutture biologiche centrali e periferiche del linguaggio che, come dimostrano una serie copiosa di dati scientifici, condizionano, sia nella realizzazione della funzione comunicativa che nelle relazioni che il linguaggio intrattiene con le altre funzioni ad esso connesse, la tipologia di rappresentazione del mondo (HAGOORT 2003).

Sono noti, ormai, gli studi che dimostrano il coinvolgimento dell'area di Broca sia nei compiti di percezione visiva con descrizione delle azioni (PAPAFRAGOU et al. 2006, 2008), sia nei compiti cognitivi complessi che implicano il coinvolgimento di funzioni non direttamente linguistiche (compiti motori associati alla comprensione delle azioni altrui, anche se si tratta di un'attivazione bilaterale, cfr. GALLESE 2006). Sebbene costituisca un nodo centrale nel circuito cerebrale del linguaggio, pare ormai assodato che l'area di Broca non gestisca da sola la generica produzione del linguaggio (come previsto dal modello neuroanatomico classico Wernicke-Geschwind): interventi chirurgici in cui viene rimossa, per ragioni cliniche, tutta l'area di Broca non producono effetti negativi duraturi sulla capacità produttiva (PENFIELD e ROBERTS 1959). Dopo interventi di questo tipo, spesso i soggetti presentano difficoltà nell'eloquio che vengono, però, presto recuperate: il decorso temporale suggerisce, infatti, che tali deficit siano probabilmente prodotti più dall'edema che si forma in corrispondenza della regione asportata che dall'asportazione dell'area di Broca in sé. Casi analoghi di recupero funzionale sono stati analizzati anche per l'asportazione del fascicolo arcuato (RASMUSSEN e MILNER 1975) e dell'area di Wernicke (OJEMANN 1979). Il recupero delle capacità linguistiche quando ad essere danneggiata è solo la componente corticale delle regioni linguistiche risulta più semplice (LIEBERMANN 2003). Paradossalmente il danno corticale, quello alle aree deputate al linguaggio, produce deficit meno severi rispetto ad uno subcorticale. È evidente, allora, che il funzionamento complessivo della capacità linguistica dipende non solo dall'integrità delle cosiddette aree del linguaggio, ma dalla corretta connessione tra regioni corticali e subcorticali, queste ultime responsabili sia della selezione e del pre-processamento degli stimoli linguistici in entrata, sia dell'effettiva realizzazione dei movimenti orofacciali che producono l'atto articolatorio (si vedano, a riguardo, i lavori illustrativi sul caso della *KE family*, in cui una mutazione genetica rarissima ha prodotto un'alterazione nella funzionalità dei gangli basali, strutture subcorticali ancestrali, con conseguente disprassia orofacciale fine: LAI et al. 2001; cfr. FALZONE 2006).

Secondo le recenti prospettive interazioniste, l'area di Broca costituirebbe il luogo di integrazione delle informazioni semantiche, sintattiche e delle conoscenze sul

mondo. In questo modo, essa costituirebbe il centro di confluenza e di integrazione tra significati già acquisiti e immagazzinati nella propria memoria a lungo termine e quelli nuovi, derivanti dalla interazione continua del soggetto con il mondo. L'area di Broca sarebbe una sorta di neuroprocessore multimodale, una "super-area" di associazione, in grado di mantenere on line le informazioni provenienti da elaborazioni sensoriali differenti per consentirne la categorizzazione e l'inserimento all'interno delle proprie conoscenze enciclopediche. Questa posizione si appellerebbe al ruolo di produttore di rappresentazioni e di procedure tipicamente linguistiche svolto dall'area di Broca, ruolo che influenza e codetermina anche la realizzazione delle altre funzioni elevate (programmazione delle azioni, categorizzazione degli oggetti, memorizzazione delle esperienze di vita, e così via) vincolando, così, l'intera cognizione umana al linguaggio (per una disamina approfondita sul ruolo multifunzionale dell'area di Broca si rimanda a PENNISI e FALZONE 2011).

I dati che verranno illustrati in questo lavoro, invece, riguardano una struttura corticale con compiti linguistico-percettivi: la corteccia uditiva. Dai dati pare emergere un ruolo particolare attribuibile a quest'area: essa presenterebbe una specializzazione funzionale nel riconoscimento di suoni linguistici, cioè presenterebbe una maggiore attività in presenza di stimoli che appartengono alla lingua parlata. In particolare studi recenti dimostrerebbero la specializzazione di una porzione della corteccia uditiva per un compito altamente adattativo come l'identificazione dei singoli individui sulla base dell'emissione di suoni vocalici. Questi dati, affiancati agli ormai classici lavori comportamentali sul feedback udito-voce nella instaurazione delle relazioni primarie (MEHLER e DUPOUX 2006), indicherebbero la specializzazione della corteccia uditiva nella costruzione di relazioni sociali primarie.

2. Adattatività e specializzazione della corteccia uditiva

La corteccia uditiva umana presenta un'organizzazione funzionale specifica, con una sensibilità tonotopica: la corteccia primaria, infatti, è organizzata in colonne di associazione che rispondono in maniera specifica alle frequenze udite con una specializzazione per le frequenze più alte nelle regioni posteriori, mentre quelle più basse nelle regioni rostrali (anteriori) (HUDSPETH 2003). Tali mappe tonotopiche rappresentano l'intero spettro delle frequenze udibili.

Gli stimoli linguistici, però, rappresentano per la corteccia uditiva umana una sorta di "input privilegiati". Alcuni studi (cfr. FECTEAU et al. 2004, ZATORRE et al. 1996, ZATORRE in pubblicazione) hanno messo in evidenza come la corteccia uditiva umana sia particolarmente sensibile ai suoni linguistici rispetto ai suoni non linguistici (ad esempio, quelli musicali) o a versi di altri animali. In particolare ci sarebbero prove sperimentali della specie-specificità di una porzione particolare della corteccia uditiva, il Solco Temporale Superiore, che presenta un'attivazione media nei casi di stimoli non linguistici o appartenenti ad altre specie, mentre produrrebbe una fortissima attivazione (quasi il doppio dell'attività BOLD) in relazione a vocalizzazioni umane.

Il dato risulta etologicamente rilevante: quest'area, infatti, pare sia sensibile in maniera specie-specifica per il linguaggio in quanto la sua attivazione risulta alta per i suoni linguistici e media, invece, anche in seguito a stimoli ecologicamente rilevanti come suoni associati a pericoli. La maggiore sensibilità del Solco Temporale Superiore per stimoli linguistici rispetto a suoni che indicano pericoli (come rumori improvvisi, o molto forti) sarebbe indice della specializzazione di una

parte della corteccia uditiva per le vocalizzazioni specie-specifiche, anch'esse fondamentali per la sopravvivenza della specie (cfr. ANDREW 1963, ALTMANN 1967, PETERSEN 1982, SEYFARTH et al. 1980, TIAN-RAUSCHECKER 1998, van LAWICK e GOODALL 1968). In sostanza una porzione delle strutture cerebrali che elaborano i dati uditivi sarebbe selettivamente sensibile alle vocalizzazioni umane: una struttura specie-specifica che filtra le informazioni del mondo esterno e orienta la nostra "preferenza" verso input percettivi linguistici. Inoltre, studi condotti su neonati di 7 mesi dimostrano una "preferenza" di strutture del planum temporale per i suoni linguistici della lingua di appartenenza (GROSSMANN et al. 2010), con una tipica attivazione per unità di consonanti/vocali e parole appartenenti alla lingua nativa. In particolare i neonati mostrano un interesse particolare per stimoli uditivi linguistici rispetto ad altri stimoli sensoriali (come quelli tattili o visivi) se questi vengono prodotti dalla madre o da persone con cui hanno instaurato relazioni primarie (ZATORRE-GANDOUR 2008). La preferenza per gli input di tipo uditivo rispetto ad altre tipologie sensoriali dimostrerebbe, già in età precoce (almeno da 7 mesi di vita) la specializzazione delle vie uditive periferiche e centrali per i suoni di tipo linguistico, indipendentemente dalla lingua cui i neonati sono esposti. Le produzioni vocali, dunque, presentano una porzione delle aree uditive dedicata alla loro decodifica.

Se passiamo a stimoli linguistici appartenenti ad una data lingua le evidenze sulla specializzazione della corteccia uditiva diventano ancora più stringenti. Il sistema uditivo dell'uomo, infatti, non solo è altamente specializzato per la percezione delle frequenze uditive tipiche del linguaggio umano (si pensi alla organizzazione tonotopica già della coclea e alla precisione con cui consente la trasduzione delle informazioni analogicamente udite in segnali elettrici attraverso il nervo uditivo), ma si caratterizza a livello centrale proprio per la possibilità di percepire e decodificare suoni linguistici. In particolare proprio nella corteccia uditiva si realizzerebbero processi di integrazione delle informazioni acusticamente carenti a livello periferico: la capacità di riuscire a percepire le parole di una lingua nonostante l'imprecisione della produzione (sempre rispetto a un modello "cibernetico" secondo cui l'unità minima di produzione sarebbe il fonema, modello ampiamente messo in crisi dai dati della fonetica articolatoria, teorizzata da BROWMAN e GOLDSTEIN 2000) sarebbe consentita proprio della corteccia uditiva e dai processi di integrazione biologicamente garantiti.

Interessanti per valutare la specie-specificità della corteccia uditiva umana risultano, inoltre, diversi studi condotti da BELIN e collaboratori (2004) secondo cui la voce umana non solo è il veicolo del linguaggio articolato ma costituisce anche una sorta di "volto uditivo" che conferisce importanti informazioni affettive e identitarie e sul ruolo relazionale che l'individuo che produce parole svolge nei confronti di colui che le percepisce. Queste informazioni verrebbero elaborate in maniera specifica da aree specializzate (la cosiddetta Temporal Voice Area costituita dalla componente centrale e anteriore del Solco Temporale Superiore) e avrebbero lo stesso valore adattativo delle strutture corticali deputate al riconoscimento dei volti (Face Area, cfr. BRUCE-YOUNG 1986). BELIN et al. (2011) propongono un interessante modello di interazione tra la Temporal Voice Area e la Face Area per il riconoscimento dei conspecifici che nel caso degli esseri umani sono principalmente "conspecifici parlanti".

Studi da tempo consolidati hanno messo in evidenza come la corteccia uditiva dell'emisfero sinistro complessivamente, in particolare la parte posteriore del Giro Temporale Superiore e del Solco Temporale superiore, sia sensibile ai suoni

linguisticamente intellegibili (SAMSON et al. 2011), cioè alle parole appartenenti ad una data lingua. Il linguaggio articolato, invece, viene associato ad una maggiore sensibilità delle aree uditive non primarie (BA22, area di Wernicke) e associative (BA29), del Giro Temporale superiore del STS e del planum temporale dell'emisfero sinistro.

Questi ultimi dati sulla specializzazione della corteccia uditiva secondaria esclusivamente per compiti linguistici, in realtà, non stupiranno coloro che sono avvezzi agli studi neuropsicologici del linguaggio: le aree che risultano specializzate per i suoni linguistici intellegibili, infatti, corrisponderebbero a strutture note per il loro coinvolgimento nel modello classico di funzionamento neuroanatomico del linguaggio. In particolare il giro di Heschl e la parte posteriore della BA22 (area di Wernicke) sarebbero responsabili della decodifica linguistica e una loro alterazione comporta un danno proprio nella capacità di comprensione del linguaggio (famosa afasia di Wernicke).

L'aspetto interessante, però, è che queste aree pare siano connesse in un network cerebrale che unisce le aree uditive con quelle prefrontali. In particolare si è rintracciata una rete di attivazione che connette regioni uditive e non uditive: un modello gerarchico allargato del processamento del linguaggio che origina nella corteccia uditiva primaria e si estende in regioni non uditive, principalmente nella corteccia frontale, e una serie di regioni motorie, premotorie e prefrontali (DAVIS-JOHNSTRUDE 2003, HICKOK-POEPEL 2007, RAUSCHECKER-SCOTT 2009).

I modelli neuroscientifici più accreditati oggi, infatti, tendono a non individuare una singola area come responsabile di una data funzione, come postulato nelle ipotesi modulariste classiche (cfr. FODOR 1983), ma rintracciano network di funzionamento in cui sono presenti epicentri funzionali (MESULAM 1998). Tali epicentri sarebbero dei "nodi" in cui le informazioni decodificate assumono formati amodali e vengono categorizzate e riconosciute. Anche nel caso della corteccia uditiva, in particolare nella corteccia uditiva secondaria dove sarebbe locata l'area di Wernicke, è possibile rintracciare come appena descritto dei circuiti mielinizzati di attivazione. In particolare alcuni studi (RAUSCHECKER e TIAN 2000; ROMANSKI et al. 1999) hanno cercato di individuare nella corteccia uditiva l'esistenza di due vie di elaborazione: una via ventrale di riconoscimento di informazioni-*what* (network che consentirebbe l'elaborazione su "cosa" indicano i suoni, cioè la decodifica e il riferimento della parola a elementi del mondo esterno) e una via dorsale che gestisce le informazioni-*where* (cioè di localizzazione spaziale degli input prodotti).

Questi dati sulla specializzazione della corteccia uditiva secondaria per informazioni linguistiche "qualitative" relative al contenuto, inoltre, assegnerebbero all'area di Wernicke un compito cognitivo fondamentale: quello di elaborare informazioni che si riferiscono al mondo esterno in maniera polimodale, processando proprietà essenziali del linguaggio più astratte. Questo in parte spiegherebbe l'attivazione dell'area di Wernicke per la decodifica di informazioni linguistiche anche in soggetti sordi dalla nascita (PETITTO et al. 2000).

I dati fin qui esaminati dimostrerebbero una specializzazione della corteccia uditiva umana per i suoni linguistici con una spiccata preferenza già nei neonati per gli stimoli costituiti da parole, e comunque una generica preferenza per la voce nelle relazioni primarie. Studi condotti con tecniche di visualizzazione dell'attività cerebrale, inoltre, dimostrerebbero una competenza specifica del Solco Temporale Superiore e del Giro Temporale superiore dell'emisfero sinistro per le parole e

l'attivazione di un circuito temporale-frontale che connette la corteccia uditiva secondaria (area di Wernicke) a due circuiti funzionalmente differenziati.

Questi dati potrebbero far supporre che la decodifica dei suoni e la tipica organizzazione della corteccia uditiva caratterizzino in maniera "speciale" il *sapiens*. Ma la comparazione etologica, impietosa verso ogni forma di antropocentrismo, ha dimostrato come questa preferenza per la produzione di vocalizzazioni e la conseguente attivazione delle cortecce uditive, però, non costituisca una specialità tutta umana.

È indubbio, infatti, che il sistema percettivo uditivo umano sia caratterizzato da elementi omologhi a quelli dei primati non umani, ma è interessante notare come queste caratteristiche siano presenti solo in alcune specie animali in cui la produzione vocale viene impiegata a scopi comunicativi all'interno di gruppi sociali. L'organizzazione della corteccia dei primati non umani, più complessa anche rispetto ad altri mammiferi, infatti, sembra essere funzionale alla ricezione di suoni vocalici complessi tipici della comunicazione orale.

2.1. Comparazione etologica

Come per molti altri aspetti della funzione linguistica, aree specifiche del linguaggio comprese, anche nel caso della corteccia uditiva è stato possibile rintracciare precedenti evolutivi che ne giustificano la presenza in continuità evolutiva con i Primati non umani. Nella corteccia uditiva primaria umana, infatti, avverrebbero elaborazioni non solo sulla tipologia di stimolo, ma anche sulla localizzazione spaziale: il cervello per determinare la posizione spaziale della sorgente sonora utilizza le differenze di tempo con cui i suoni giungono alle due orecchie. La frequenza ed il tempo sono codificati da vie disposte in parallelo. Nella corteccia uditiva primaria, frequenza e tempo sono mappati lungo assi disposti ortogonalmente al fine di determinare la successione temporale degli stimoli acustici isofrequenti. Sulla base di queste differenze di tempo si determina la posizione della sorgente sonora (KELLY-PHILLIPS 1991).

La localizzazione dei suoni è una delle funzioni principali dei sistemi uditivi presenti in un gran numero di animali non umani. Sembra, infatti, che una delle prime funzioni evolutive dell'udito, presente anche nell'essere umano, sia la comprensione della provenienza del suono in maniera tale da mettere in atto risposte comportamentali adeguate (KAAS 2011). Come sappiamo, però, la provenienza del suono non è l'unica informazione ricavabile dalla percezione uditiva: diversi autori (EGGERMONT-WANG 2011) hanno messo in evidenza, infatti, come la corteccia sia impegnata anche in compiti di codifica temporale (avanzata soprattutto nei primati). In sostanza sulla base della percezione della lontananza dello stimolo sarebbe possibile individuare il tempo di distanza dello stesso. La corteccia uditiva (nel suo complesso), dunque, sarebbe impegnata in compiti non banali di percezione dello stimolo ma di elaborazione delle componenti spazio-temporali dell'ambiente circostante.

Nei primati, inoltre, è possibile rintracciare una funzionalità comune per la corteccia uditiva. La percezione uditiva sarebbe associata, come pare evidente, a un compito evolutivo centrale: la comunicazione intraspecifica. La percezione uditiva, dunque, avrebbe un ruolo, fondamentale per le specie ad alta socialità come i primati, cioè quella di poter discriminare il significato biologico dei suoni comunicativi (COO, PETERSEN et al. 1978). Inoltre nel caso della corteccia uditiva esisterebbero

evidenze che dimostrano la presenza di regioni specializzate per la vocalizzazione, nel senso di produzione vocale indipendente dal contenuto.

In particolare studi condotti da PETKOV e colleghi (2008) del Max Plank Institute di Tübingen evidenzerebbero l'attività specifica di una regione corticale per le vocalizzazioni dei conspecifici. In sostanza questi macachi esposti a suoni ambientali producevano una risposta corticale bilaterale non specifica, mentre se gli si somministravano vocalizzazioni animali la risposta era forte e specializzata. Inoltre la regione corticale attivata pare rappresenti un omologo evolutivo della cosiddetta "TVA" (Temporal Voice Area) e pare sia anch'essa locata come nel caso umano nel lobo temporale anteriore. Dato questo che non stupisce data la natura "orale" delle comunicazioni tra i primati. La voce, infatti, come sottolineato da Petkov per i primati e da Belin per gli esseri umani, non è solo portatrice di contenuti linguistici, ma di informazioni paralinguistiche come l'identità di chi emette il suono e il suo stato emotivo. Informazioni queste centrali per la vita di comunità tipicamente realizzata nei gruppi di primati.

L'aspetto interessante di questi studi è che forniscono indicazioni sul precedente evolutivo della percezione dei suoni, ma contemporaneamente mettono in evidenza la specificità che tali aspetti condivisi possiedono in relazione alle singole specie in cui vengono analizzati. È indubbio, infatti, che la funzione uditiva e di conseguenza la corteccia in cui si realizza giuochino un ruolo centrale in tantissime specie animali (si pensi al riconoscimento di prede e predatori, ad esempio) ma nel caso dei primati la corteccia uditiva pare sia iperspecializzata per compiti principalmente sociali e connessi alla sopravvivenza, dunque altamente adattativi (FECTEAU et al. 2004). In ogni specie animale l'adattatività della funzione percettiva presa in considerazione dipende dal compito cognitivo che essa consente: non tutte le specie animali usano l'udito con funzione di riconoscimento dei conspecifici, ad esempio, o per segnalare la posizione di prede e predatori, pur essendo l'udito stesso presente come capacità percettiva (si pensi all'esempio classico di specializzazione comportamentale per compiti differenti nella chiocchia di Chauvin). Non stupisce, dunque, l'analisi dei risultati ottenuti in ambito psicobiologico da cui si comprende come la corteccia uditiva sia maggiormente specializzata per compiti uditivi solo in alcune specie animali. Per comprendere questa analisi possiamo riferirci agli studi condotti su cavie in cui l'asportazione delle cortecce uditive (in entrambi gli emisferi) portava a esiti differenti: mentre nei topi e nei gatti, infatti, il recupero delle abilità sensoriali uditive avveniva quasi in toto già quattro mesi dopo l'asportazione chirurgica, nei primati e nell'uomo, invece, l'asportazione bilaterale determina una perdita totale delle capacità uditive (cfr. HEFFNER e HEFFNER 1986, HARRINGTON 2002).

Questo spiegherebbe anche la diversità nella complessità dei segnali vocalici che le varie specie animali sono in grado di produrre e decodificare. Tecnicamente, infatti, produzione e decodifica sono evolutivamente connesse: se un individuo possiede certe strutture anatomiche che consentono di produrre certi suoni possiederà strutture periferiche e centrali in grado almeno di decodificare i suoni prodotti (KAAS 2011). La produzione e di conseguenza la decodifica dei segnali vocali di molti animali non umani, uccelli e primati compresi, sarebbe dunque olistica, cioè non verbalmente articolata: solo l'essere umano è in grado di articolare suoni e decodificarli e questo grazie alle possibilità che le strutture biologiche altamente specializzate gli offrono. Anche gli uccelli, infatti, a differenza di quanto sostenuto nei modelli classici di comparazione etologica da Aristotele in poi, hanno una produzione tipicamente olistica, non articolata, almeno non nel senso dell'articolazione linguistica. E questo sarebbe determinato dalle possibilità offerte dalla costituzione biologica degli uccelli,

anche a livello di decodifica. Come appare evidente dalle indagini di tipo neuroanatomico, infatti, i sistemi di percezione uditiva in tutti gli animali sono tarati almeno per decodifica della tipologia di suoni emessi dal sistema vocale di riferimento (l'udito umano è tarato almeno per la decodifica di suoni tipicamente prodotti dall'apparato fonatorio umano, e dunque anche per i suoni articolati; così vale per altri animali non umani).

Se confrontiamo già il sistema periferico di percezione uditiva degli uccelli, infatti, non possiamo non notare delle differenze significative, non solo banalmente per la struttura del condotto uditivo e per la conduzione dei suoni al suo interno (gli uccelli hanno un "foro uditivo" spesso ricoperto da peli recettoriali), ma proprio nelle possibilità di precisione e ampiezza del range di percezione. Le coclee degli uccelli, infatti, funzionano in modo diverso e sembrano ottimizzate per la percezione di cinguettii, fischi, melodie canore ecc. Questi animali, a causa della rigidità del becco, non sono in grado, in genere, di modulare come gli esseri umani le frequenze di risonanza della cavità orale. Le cellule ciliate delle loro coclee non sono dotate di motilità, ma le stereocilia subiscono l'azione di microfibre contrattili simili ai muscoli degli insetti. In pratica, non sono le oscillazioni della membrana basilare, ma quelle della membrana tectoria ad essere direttamente amplificate (ELLIOT e THEUNISSEN 2011).

Studi ormai classici hanno, inoltre, dimostrato la "olisticità" di produzione e conseguente decodifica dei suoni vocalici dei primati (si ricordi che nel caso dei primati riuscire a dimostrare la discretezza delle produzioni vocaliche era sembrato fin dagli studi pionieristici di Sayfarth e Ceney un lavoro molto difficile).

3. Conclusioni: exaptation dei circuiti cerebrali del linguaggio

Questi dati supporterebbero l'idea che le strutture corticali uditive, ereditate filogeneticamente da specie precedenti, nel *sapiens* sono state rifunzionalizzate per scopi linguistici, un'exaptation realizzata su una struttura anatomica selezionata in prima istanza per scopi adattativo-comunicativi. Nel caso dell'essere umano, invece, pare sia presente già a livello corticale una specializzazione per le componenti prosodiche del linguaggio umano e per i suoni linguistici sia significativi che non significativi.

L'idea, infatti, che esista un modello formale di produzione del linguaggio esterno alla biologia del parlante (e dell'udente) mette tra parentesi una spiegazione centrale e scientificamente fondata su come l'essere umano produce linguaggio.

L'udito e la corteccia uditiva, dunque, non sarebbero più considerate come "basi biologiche" per la funzione linguistica, ma vincoli che condizionano qualitativamente la sua realizzazione funzionale ed evolutiva, sia nell'individuo che nelle comunità in cui è inserito.

Nell'uomo questo vincolo biologico però non riguarda solo la capacità di riconoscere l'identità del soggetto dalla produzione vocale o la possibilità di individuare il livello emotivo tramite la voce, ma la decodifica sequenziata di strutture linguistiche. Esisterebbe proprio una sensibilità specifica per tipologie fonemiche, sebbene non tutti gli studi concordino su questi risultati e di certo è risaputo come la parte posteriore della BA22 nella corteccia uditiva primaria sia responsabile in maniera specifica dei processi di decodifica linguistica: si tratta dell'area di Wernicke, classicamente ritenuta l'area della decodifica linguistica, oggi oggetto di interesse per la capacità di decodificare categorizzazioni di informazioni sul mondo e le relazioni che il soggetto intrattiene con esso. Non è ancora chiaro se è possibile assegnare

all'area di Wernicke competenze di decodifica che riguardano compiti complessi come la decodifica di informazioni categorizzate e non soltanto compiti di decodifica linguistico-verbale. Ciò che, invece, appare chiaro è che la corteccia uditiva (in articolare STG, STS, e planum temporale) e la corteccia frontale posteriore sinistra costituiscono dei vincoli biologici che condizionano le modalità (di realizzazione della funzione linguistica nella costruzione di rappresentazioni del mondo) specifica del sapiens di costruire rappresentazioni, una modalità evoluta filogeneticamente per aspetti comunicativi intraspecifici ed esattata a scopi linguistico-rappresentazionali.

Bibliografia

ANDREW, Richard J. (1963), «The origins and evolution of the calls and facial expressions of the primates», in *Behaviour*, n. 20, pp. 1–109.

ALTMANN, Stuart A. (1967), «The structure of primate communication», in Altmann, S.A. [a cura di,] *Social Communication Among Primates*, Chicago, Chicago University Press, pp. 325–362.

BARSALOU, Lawrence W. (2008), «Grounding symbolic operations in the brain's modal systems», in Semin & Smith, *Embodied grounding: Social, cognitive, affective and neuroscientific approaches*, New York, Cambridge University Press, pp. 9-42.

BELIN, Pascal, FECTEAU, Shirley, BÉDARD Catherine (2004), «Thinking the voice: neural correlates of voice perception», in *Trends in Cognitive Sciences*, vol.8, n. 3, pp. 129-135.

BELIN, Pascal, BESTELMEYER, Patricia E.G., LATINUS, Marianne, WATSON, Rebecca (2011), «Understanding Voice Perception», in *British Journal of Psychology*, n. 1, pp. 1-15.

BOTHA, Rudolf, KNIGHT, Chris (2009a), [a cura di,] *The Prehistory of Language. Studies in the Evolution of Language*, New York, Oxford University Press.

BOTHA, Rudolf, KNIGHT, Chris (2009b), [a cura di,] *The Cradle of Language*, New York, Oxford University Press.

BROWMAN, Catherine P., GOLDSTEIN, Louis (2000), «Competing constraints on intergestural coordination and self-organization of phonological structures», in *Bulletin de la Communication Parlée*, n. 5, pp. 25-34.

BRUCE, Vicki, YOUNG, Andy (1986), «Understanding face recognition», in *British Journal of Psychology*, n. 77, pp. 305-327.

DAVIS, Matthew H., JOHNSRUDE, Ingrid S. (2003), «Hierarchical processing in spoken language comprehension», in *Journal of Neuroscience*, n. 23, pp. 3423-3431.

EGGERMONT Jos J., WANG Xiaoqin (2011), «Temporal Coding in Auditory Cortex», in J.A Winer, C.E. Schreiner[a cura di,] *The Auditory Cortex*, New York, Springer, pp. 309-328.

EIBL-EIBESFELDT, Irenäus (1987), *Grundriss der vergleichenden Verhaltensforschung*, München, Piper, trad. it. *I fondamenti dell'etologia. Il comportamento degli animali e dell'uomo*, Milano, Adelphi, 1995.

ELLIOT Taffeta M., THEUNISSEN Frédéric E. (2011), «The Avian Auditory Pallium», in J.A Winer., C.E. Schreiner [a cura di,] *The Auditory Cortex*, New York, Springer, pp. 429-442.

FALZONE, Alessandra (2006), «Biologia, linguaggio, evoluzione», in A. Pennisi, P. Perconti [a cura di,] *Le scienze cognitive del linguaggio*, Bologna, Il Mulino, pp. 61-92.

FALZONE, Alessandra (in pubblicazione), *Incontro con le scienze cognitive*, Bologna, Il Mulino.

FECTEAU, Shirley, ARMONY, Jorge L., JOANETTE, Yves, BELIN, Pascal (2004), «Is voice processing species-specific in human auditory cortex? An fMRI study», in *NeuroImage*, n. 23, pp. 840-848.

FITCH, W. Tecumseh (2010), *The evolution of language*, New York, Cambridge University Press.

FODOR, Jerry (1983), *The modularity of mind*, Cambridge (Mass.), MIT Press; trad. it. *La mente modulare*, Bologna, Il Mulino, 1988.

GALLESE, Vittorio (2006), «La molteplicità condivisa: dai neuroni specchio alle reazioni interpersonali», in *Frenis Zero*, <http://webtiscali.it/freniszero/galese.htm>.

GOULD, Stephen J. (2002), *The structure of Evolutionary Theory*, President and Yellow of Harvard College, trad. it. *La struttura della teoria dell'evoluzione*, Milano, Codice, 2003.

GROSSMANN, Tobias, OBERECKER, Regine, KOCH, Stefan P., FRIEDERICI, Angela D. (2010), «Developmental origins of voice processing in the human brain», in *Neuron*, n. 65, pp. 852-858.

HAGOORT, Peter (2003), «How the Brain Solves the Binding Problem for Language: A Neurocomputational Model of Syntactic Processing», in *NeuroImage*, n. 20, pp. S18-S29.

HAGOORT, Peter; HALD, Lea; BASTIAANSEN, Marcel, PETERSSON Karl M. (2004), «Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension», in *Science*, n. 304, pp. 438-441.

HARRINGTON Ian A. (2002), «Effect of auditory cortex lesions on discriminations of frequency change, amplitude change and sound location by Japanese macaques (*Macaca fuscata*)», Unpublished Doctoral Dissertation, University of Toledo.

HAUSER, Marc D. (1997), *The evolution of communication*, Cambridge (Mass), MIT Press.

HEFFNER Henry E., HEFFNER Rickye S. (1986), «Effect of unilateral and bilateral auditory cortex lesions on the discrimination of vocalizations by Japanese macaques», in *Journal of Neurophysiology*, n. 56, pp. 683-701.

HICKOK, Gregory, POEPEL, David (2007), «The cortical organization of speech processing», in *Nature Neuroscience*, vol. 8, pp. 393-402.

HUDSPETH A. J. (2003⁵), «Sensory Transduction in the ear», in E.R. Kandel, J.H. Schwartz., T.M. Jessell, [a cura di,] *Principles of Neural Science*, McGraw-Hill, pp. 614-624.

JOHANSSON, Sverker (2005), *Origins of Language. Constraints on hypotheses*, Amsterdam, John Benjamins Publishing Company.

KAAS John H. (2011), «The Evolution of Auditory Cortex: The Core Areas», in J.A. Winer, C.E. Schreiner, [a cura di,] *The Auditory Cortex*, New York, Springer, pp. 407-428.

KELLY Jack B., PHILLIPS Dennis P. (1991), «Coding of interaural time differences of transients in auditory cortex of *Rattus norvegicus*: implications for evolution of mammalian sound localization», in *Hearing Research*, n. 55, pp. 39-44

LAI, Cecilia S.L., FISHER, Simon E., HURST, Jane A., VARGHA-KHADEM, Fareh, MONACO, Anthony P. (2001), «A Forkhead-domain Gene Is Mutated in a Severe Speech and Language Disorder», in *Nature*, IV, n. 13, pp. 519-523.

van LAWICK-GOODALL, Jane A. (1968), «A preliminary report on expressive movements and communication in the Gombe Stream chimpanzees», in Jay, P.C., [a cura di,] *Primates: Studies in Adaptation and Variability*, New York, Rinehart and Winston, pp. 313-374.

LENNEBERG, Erich H. (1967), *Biological Foundation of Language*, New York, John Wiley, trad. it. *Fondamenti biologici del linguaggio*, Torino, Boringhieri, 1971.

LIEBERMAN, Philip (1975), *On the origins of language: an introduction to the evolution of human speech*, New York, MacMillan, trad. it. *L'origine delle parole*, Torino, Einaudi, 1980.

LIEBERMAN, Philip (2003), «Motor Control, Speech, and the Evolution of Human Language», in M.H. Christiansen, S. Kirby, [a cura di,] *Language Evolution. The States of the Art*, Oxford, Oxford University Press, pp. 255-271.

BROWMAN, Catherine P., GOLDSTEIN, Louis, (2000), «Competing constraints on intergestural coordination and self-organization of phonological structures», in *Bulletin de la Communication Parlée*, n. 5, pp. 25-34

MEHLER, Jaques, DUPOUX, Emmanuel (2006³), *Naitre Humain*, Paris, Editions Odile Jacob.

MESULAM, Marsel (1998), «From Sensation to Cognition», in *Brain*, n. 121, pp. 1013-1052.

OJEMANN, George A. (1979), «Individual Variability in Cortical Localization of Language», in *Journal of Neurosurgery*, n. 50, pp. 164-169.

PAPAFRAGOU, Anna, HULBERT, Justin, TRUESWELL, John (2008), «Does Language Guide Event Perception? Evidence from Eye Movement», in *Cognition*, n. 108, pp. 155-184.

PAPAFRAGOU, Anna, MASSEY, Christine, GLEITMAN, Lila (2006), «When English Proposes What Greek Presupposes: The Linguistic Encoding of Motion Events», in *Cognition*, n. 98, pp. B75-B87.

PENFIELD, Wilder, ROBERTS, Lamar (1959), *Speech and Brain Mechanisms*, Princeton (N.J.), Princeton University Press.

PENNISI, Antonino, FALZONE, Alessandra (2011), *Le scienze della natura e la natura del linguaggio umano*, Modena, Mucchi.

PETERSEN, Michael R. (1982), «The perception of species-specific vocalizations by primates: a conceptual framework» in Snowdon, C.T., Brown, C.H., Petersen, M.R., [a cura di,] *Primate Communication*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, pp. 171–211.

PETERSEN, Michael R., BEECHER, Michael D., ZOLOTH, S.R., MOODY, David B., STEBBINS, William C. (1978), «Neural lateralization of species-specific vocalizations by Japanese macaques (*Macaca fuscata*)», in *Science*, n. 202, pp. 324-327.

PETITTO, Laura A, ZATORRE Robert J, GAUNA K, NIKELSKI EJ, DOSTIE D, EVANS AC. (2000), «Speech-like cerebral activity in profoundly deaf people processing signed languages: implications for the neural basis of human language», in *Proc. Natl. Acad. Sci.*, n. 25, pp. 13961-13966.

PETKOV, Christopher, KAYSER, Christoph, STEUDEL, Thomas, WHITTINGSTALL, Kevin, AUGATH, Mark, K. LOGOTHETIS, Nikos (2008), «A Voice Region in the Monkey Brain», in *Nature Neuroscience*, n. 3, pp. 367-374.

PULVERMÜLLER Friedemann (2008), «Grounding language in the brain», in Vega, Glenberg & Graesser, *Symbols and Embodiment: Debates on meaning and cognition*, Oxford, Oxford University Press, pp. 85-116.

RAUSCHECKER, Josef e SCOTT, Sophie (2009), «Maps and streams in the auditory cortex: nonhuman primates illuminate human speech processing», in *Nature Neuroscience*, n. 12 (6), pp. 718-724

RAUSCHECKER, Josef P., TIAN, Biao (2000), «Mechanisms and streams for processing of “what” and “where” in auditory cortex», in *Proc. Natl. Acad. Sci.*, n. 97, pp. 11800-11806.

RASMUSSEN, Theodore, MILNER, Brenda (1975), «Excision of Broca’s Area Without Persistent Aphasia», in K.J. Zulch, O. Creutzfeldt, G.C. Galbraith, [a cura di,] *Cerebral Localization*, New York, Springer, pp. 258-263.

ROMANSKI, Lizabeth M., TIAN, Biao, FRITZ J., MISHKIN, Mortimer, GOLDMAN-RAKIC, Patricia S., RAUSCHECKER Josef P. (1999), «Dual streams of auditory afferents target multiple domains in the primate prefrontal cortex», in *Nature Neuroscience*, n. 2, pp. 1131-1136.

SAMSON, Fabienne, ZEFFIRO, Thomas A., TOUSSAINT Alain, BELIN, Alain (2011), «Stimulus complexity and categorical effects in human auditory cortex: an Activation Likelihood Estimation meta-analysis» in *Frontiers in Psychology*, n. 241, pp. 1-23.

SEYFARTH, Robert M., CHENEY, Dorothy L., MARLER, Peter (1980), «Monkey responses to three different alarm calls: evidence of predator classification and semantic communication», in *Science*, n. 210, pp. 801-803.

SWAAB, Dick (2010), *Wij zijn ons brein*, Uitgeverij, Contact, trad. it. *Noi siamo il nostro cervello. Come pensiamo, soffriamo e amiamo*, Roma, Elliot, 2011.

TIAN, Biao, RAUSCHECKER, Josef P. (1998), «Processing of frequency-modulated sounds in the cat’s posterior auditory field» in *Journal of Neurophysiology*, n. 79, pp. 2629-2642.

UEXKÜLL, Jacob von (1934), *Streifzüge durch die Umwelten von Tieren und Menschen: Ein Bilderbuch unsichtbarer Welten*, Berlin: J. Springer; trad. it. *Ambienti animali e ambienti umani. Una passeggiata in mondi sconosciuti e invisibili*, Macerata, Quodlibet, 2010.

ZATORRE, Robert J. (in pubblicazione), «Sound analysis in auditory cortex» in *Trends in Neurosciences*.

ZATORRE, Robert J., MEYER, Ernst, GJEDDE, Albert, EVANS Alan C. (1996), «PET Studies of Phonetic Processing of Speech: Review, Replication, and Reanalysis», in *Cerebral Cortex*, n. 6, pp. 21-30.

ZATORRE, Robert J., GANDOUR, Jackson T. (2008), «Neural specializations for speech and pitch: moving beyond the dichotomies», in *Philosophical Transaction of the Royal Society B*, n. 363, pp. 1087-1104.