



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione**

**Corso di laurea triennale in Scienze psicologiche dello sviluppo, della personalità e  
delle relazioni interpersonali**

**Elaborato finale**

**Il ruolo dei neuroni specchio nella comunicazione verbale**

**The role of mirror neurons in verbal communication**

*Relatrice*

**Prof.ssa Begliomini Chiara**

*Laureando/a: Fallucchi Anna Sofia*

*Matricola: 1229705*

Anno Accademico 2021/2022

# INDICE

<i>Cenni introduttivi</i> .....	1
CAPITOLO UNO: LA COMUNICAZIONE VERBALE .....	3
1.1 <i>Filogenesi e ontogenesi del linguaggio verbale</i> .....	3
1.2 <i>Correlati anatomo-funzionali del linguaggio verbale</i> .....	7
CAPITOLO DUE: I NEURONI SPECCHIO .....	13
2.1 <i>I neuroni specchio nel primate non umano: scoperta, concettualizzazione e prime ipotesi</i> .....	13
2.2 <i>Dai neuroni specchio al meccanismo specchio nell'uomo</i> .....	15
CAPITOLO TRE: NEURONI SPECCHIO E COMUNICAZIONE VERBALE.....	18
3.1 <i>Il meccanismo specchio come “ponte” tra azione e comunicazione: la teoria motoria della percezione del linguaggio parlato</i> .....	18
3.2 <i>Il passaggio dall'area F5 del macaco all'area di Broca dell'essere umano: l'inclusione delle vocalizzazioni da parte del sistema specchio umano</i> .....	20
CONCLUSIONI .....	222
BIBLIOGRAFIA .....	224

## *Cenni introduttivi*

Per comunicazione si intende il processo e le modalità di trasmissione di un'informazione da un individuo a un altro, attraverso lo scambio di un messaggio elaborato secondo le regole di un determinato codice comune (Anolli, 2006). La comunicazione è una prerogativa non solo dell'essere umano ma anche di tutti gli esseri viventi, in quanto permette di mettere insieme qualcosa (dal latino "communicare" cioè mettere in comune), condividere bisogni, riconoscere i propri simili, riprodursi, difendersi dai predatori. Gli animali sono in grado di portare avanti uno scambio di informazioni di diverso tipo e tramite una grande varietà di modi: gli uccelli comunicano per mezzo di segnali acustici, le zebre ritraggono le orecchie e aprono la bocca per comunicare un pericolo, il pavone comunica l'intenzione di accoppiarsi dispiegando la sua coda colorata, l'ape bottinatrice comunica l'ubicazione esatta del nettare alle altre api tramite due tipi di danza, diverse in base a quanto è distante la fonte di cibo dall'alveare (von Frisch, 1965). A questo proposito, secondo il linguista francese Emile Benveniste (2010) la comunicazione umana possiede alcuni elementi che la distinguono dal ristretto "codice di segnali" utilizzato dagli animali per comunicare, il cui scopo principale è la soddisfazione di bisogni primari legati alla sopravvivenza. Gli esseri umani, infatti, non si scambiano informazioni solo per sopravvivere, ma anche per soddisfare bisogni secondari legati alla socialità: ottenere qualcosa, informare, manifestare emozioni, socializzare, persuadere. Comunicare indica quindi il mettere in atto un comportamento osservabile da altre persone, e la semplice osservabilità influenza a sua volta i comportamenti delle persone presenti in quel luogo e in quel momento. In sintesi, non si può non comunicare (Warzlawick et al., 1971). Questo è il primo assioma della comunicazione: non comunicare è impossibile, anche qualora vi sia mancanza di intenzionalità, verbalizzazione o espressività, la comunicazione è presente.

Per comprendere come avviene un processo comunicativo è utile analizzarne gli elementi caratterizzanti. A questo proposito, Jakobson (2002) individua sei elementi basilari sottostanti a qualsiasi tipo di comunicazione:

1. l'emittente: la fonte da cui ha origine la comunicazione;
2. il destinatario: colui a cui è diretta la comunicazione condivisa dall'emittente;
3. il messaggio: l'informazione messa in comune dall'emittente per il destinatario;
4. il contesto: l'ambiente in cui avviene la comunicazione;

5. il codice: l'insieme di elementi che, combinati, strutturano il messaggio. È necessario che emittente e destinatario utilizzino lo stesso codice di codifica e decodifica del messaggio perché il processo di comunicazione tra le due parti abbia esito positivo;
6. il canale: la modalità attraverso il quale è veicolato il messaggio.

Se l'interazione tra individui prevede l'uso di parole e suoni siamo in presenza di una comunicazione *verbale*; al contrario, se tale processo si effettua per mezzo di gesti, segni, mimiche facciali allora parliamo di comunicazione *non verbale*. Il linguaggio verbale è quindi “*un sistema per rappresentare e comunicare informazioni tramite l'uso di parole combinate secondo regole grammaticali*” (Bear et al., 2016) ed è ciò che permette essenzialmente di differenziare la comunicazione verbale da quella non verbale. Ci sono però altre caratteristiche che consentono una distinzione tra le due modalità di comunicazione: la comunicazione verbale è caratterizzata da una rapidità nello scambio di informazioni che quella non verbale non possiede. Le parole, infatti, sono messe insieme tramite regole ben definite e per questo motivo la possibilità di comprensione immediata tra interlocutori è più probabile rispetto a una comunicazione non verbale, che non segue nessuna regola rigida. Quest'ultima, inoltre, è meno riconducibile ad un significato univoco dal momento che uno stesso gesto, ad esempio, può avere significati diversi a seconda del contesto, oppure una stessa espressione può essere interpretata in maniera diversa da due interlocutori che non condividono uno stesso codice di interpretazione del messaggio. Infine, la comunicazione non verbale si utilizza maggiormente in contesti di prossimità fisica ed è meno controllabile di quella verbale dal momento che solitamente veicola reazioni maggiormente emotive.

La comunicazione verbale, secondo la definizione di linguaggio che abbiamo dato precedentemente, può avvenire in forma orale (l'eloquio) ma anche scritta. La maggior parte delle volte ci riferiamo alla comunicazione verbale per indicare l'eloquio, che si definisce come “*una forma udibile di comunicazione costruita intorno ai suoni che gli esseri umani possono produrre*” (Bear et al., 2016). L'eloquio prevede quindi l'utilizzo del condotto uditivo, elemento non necessario invece per una comunicazione di tipo non verbale. Nella comunicazione verbale definita in questi termini quello che si verifica è la “conversione” dei pensieri di colui che parla in una successione di suoni (le parole) in modo che l'ascoltatore sia in grado di decodificare e comprendere, tramite la condivisione di un codice linguistico comune (il linguaggio), il messaggio veicolato da colui che parla. In questo elaborato, ci riferiremo alla comunicazione verbale in questi termini.

## CAPITOLO UNO: LA COMUNICAZIONE VERBALE

### *1.1 Filogenesi e ontogenesi del linguaggio verbale*

Ad oggi, molti sono ancora i dibattiti aperti circa l'esistenza di una forma di comunicazione negli animali che sia simile al linguaggio umano, ma non ci sono dubbi nell'affermare che la flessibilità, la complessità e la creatività del sistema di comunicazione umano siano qualcosa di assolutamente unico (Bear et al., 2016). Per capire come si è sviluppato il linguaggio verbale nell'essere umano, tanto da diventare la principale forma con la quale comunichiamo, è necessario adottare una prospettiva sia filogenetica che ontogenetica. La filogenesi del linguaggio verbale indica la ricostruzione delle tappe evolutive riguardanti le capacità linguistiche umane, evidenziando la loro continuità o discontinuità rispetto a quelle delle specie precedenti. Il dibattito più significativo nel panorama scientifico è quello tra l'ipotesi discontinuista dello sviluppo del linguaggio nell'essere umano portata avanti da Chomsky (1988), e la posizione evolucionista neodarwiniana, che trova i suoi principali sostenitori in Pinker e Bloom (1990). Secondo la prima teoria, la distanza tra la comunicazione animale e quella umana sarebbe troppo ampia per ipotizzare un continuum tra le due, mentre sarebbe più plausibile pensare che le facoltà linguistiche umane siano innate. Proprio partendo dall'idea di complessità del linguaggio umano invece, per i neodarwiniani l'unico modo per contemplare l'origine di un sistema tanto articolato di comunicazione è concepirlo come il risultato di un processo di adattamento degli esseri umani, i quali avrebbero modificato le proprie modalità comunicative a seconda delle richieste e delle pressioni dell'ambiente circostante. Questa posizione ha visto poi la nascita di due scuole di pensiero che attribuiscono origini diverse al linguaggio: un'origine vocale o un'origine gestuale. L'assunto alla base dei sostenitori dell'ipotesi dell'origine vocale del linguaggio nell'uomo è che questo si sia evoluto partendo dalle produzioni sonore degli animali, in particolare dalle vocalizzazioni delle scimmie. I cercopiteci verdi, ad esempio, comunicano tramite richiami costituiti da un insieme di vocalizzazioni che variano in numero e complessità a seconda del messaggio che si vuole comunicare (Struhsaker, 1967). L'ipotesi secondo cui questi tipi di richiami potrebbero essere i precursori delle parole del linguaggio umano fa riferimento al carattere referenziale (Slocombe & Zuberbuhler, 2005) e manipolativo (Wray, 2002) che entrambi i sistemi di comunicazione condividono. Per "carattere referenziale" si intende che lo scopo della produzione di vocalizzazioni è quello di comunicare messaggi riferiti a oggetti o eventi della realtà

esterna, con “carattere manipolativo” intendiamo la capacità degli animali, tramite questo tipo di comunicazione, di influenzare e modulare il comportamento dei propri conspecifici. Anche l’archeologo Steven Mithen (2005) sostiene l’ipotesi di un’origine vocale del linguaggio umano e ritiene che i primi ominidi abbiano ereditato dalle scimmie questa modalità di comunicazione, ampliando però il repertorio delle vocalizzazioni, possibile grazie alla diminuzione della dimensione di denti e mascella, che avrebbero portato alla modificazione della forma e dell’estensione del tratto vocale degli ominidi. Le posizioni dei muscoli della lingua, delle labbra e della mascella sono infatti responsabili dei gesti articolatori necessari per produrre i suoni, essendo ogni produzione sonora dipendente dalla configurazione del tratto vocale e dal controllo del flusso dell’aria da parte dei muscoli della cassa toracica. Questi cambiamenti anatomici, insieme all’abbassamento della laringe negli esseri umani rispetto agli scimpanzé, costituirebbero un’ulteriore prova a sostegno dell’evoluzione del tratto vocale umano e del conseguente ampliamento del repertorio fonetico umano (Marshall, 1989). Negli scimpanzé, infatti, la laringe è posizionata in alto nella gola, vicino alla base della mandibola e permette alle scimmie di respirare e ingoiare contemporaneamente. Negli esseri umani invece, la laringe si trova in una posizione più bassa, andando a costituire l’ultimo tratto delle vie aeree superiori. Dopo essa infatti, troviamo la trachea, i bronchi e i polmoni, che costituiscono le vie aeree inferiori da dove proviene il flusso d’aria necessario alla produzione del suono. Gli studi del biologo Fitch assieme allo scienziato Reby (2001) riportano come l’abbassamento della laringe non si sia verificato unicamente nell’essere umano ma anche in altri mammiferi come i cervi e i daini. Ciò per gli autori significherebbe ipotizzare che questi cambiamenti anatomici, più che essere funzionali alla nascita del linguaggio articolato, permetterebbero la produzione di vocalizzazioni più profonde affinché l’animale appaia più grande e spaventoso agli eventuali predatori: questa sembra essere una prima “fragilità” dell’ipotesi che il linguaggio umano si sia sviluppato dalle vocalizzazioni dei primati non umani. Studi successivi hanno portato alla luce ulteriori incongruenze: le scimmie antropomorfe hanno sistemi di richiami vocali molto limitati e questo repertorio è per lo più determinato geneticamente (Hammerschmidt, 2008), non vi è un processo di apprendimento linguistico come avviene nell’essere umano. Le vocalizzazioni sono inoltre legate a stati emotivi quali la paura, il richiamo di membri del gruppo e lo stato di eccitazione sessuale (Rizzolatti & Craighero, 2007) e non hanno carattere di volontarietà. Questo perché la regolazione del comportamento vocale nei primati è principalmente mediata dalle regioni limbiche

subcorticali (deputate alla regolazione delle emozioni), mentre negli esseri umani ciò avviene a livello neocorticale (Rizzolatti & Craighero, 2007). Pertanto, attribuire l'origine del linguaggio umano esclusivamente al medium sonoro sembrerebbe complesso da sostenere.

In alternativa o come complemento delle vocalizzazioni però, gli scimpanzé fanno anche uso di un medium visivo, costituito da espressioni facciali e gesti con un fine intenzionale, per inviare un messaggio ben specifico. I gesti, infatti, nei primati come negli esseri umani sono sottoposti al controllo corticale, ed hanno carattere di volontarietà (Gentilucci & Corballis, 2006). Hobaiter e Byrne (2014) sono riusciti a categorizzarne 66 e a riscontrare una continuità tra i gesti usati dalle scimmie e quelli usati dall'uomo: ad esempio il "rotolarsi" è un invito a giocare (Figura 1.1.1), il gesto di sollevare un braccio significa "andiamo a fare un giro" (Figura 1.1.2).



Figura 1.1.1: una scimmia si rotola, gesto di invito per i suoi simili al gioco.  
Credit: Catherine Hobaiter.

Fonte: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8325317/Eighty-gestures-decoded-scientists-discover-chimpanzees-secret-language.html>.



Figura 1.1.2: uno scimpanzé comunica tramite il sollevamento del braccio la volontà di fare un giro all'altro esemplare.  
Credit: Catherine Hobaiter.

Fonte: <https://www.dailymail.co.uk/news/article-8325317/Eighty-gestures-decoded-scientists-discover-chimpanzees-secret-language.html>.

Questa evidenza supporterebbe quindi l'ipotesi di un'origine gestuale del linguaggio umano. Secondo Corballis (2008), le prime forme di comunicazione di cui i primi esemplari del genere Homo si servivano erano i gesti manuali e le espressioni facciali, ai quali nel corso del tempo si sono aggiunti i suoni. L'articolazione vocale sarebbe stata possibile solo grazie all'ultima specie ominide, l'Homo sapiens (circa 170000 anni fa), in corrispondenza del quale le alterazioni del tratto vocale e del meccanismo di controllo

della respirazione necessarie per articolare il linguaggio sono datate (Gentilucci & Corballis, 2006). La modalità vocale, inizialmente usata come rinforzo per i gesti manuali, diventa gradualmente la forma di comunicazione prevalente per assecondare le richieste dell'ambiente, come ad esempio la comunicazione al buio o la necessità di "liberare" le mani dai gesti affinché potessero essere impiegate per l'utilizzo di strumenti. Quest'ipotesi oltre ad essere coerente con la prospettiva filogenetica, riuscirebbe anche a spiegare l'ontogenesi del linguaggio. Essa riguarda le modalità attraverso cui l'individuo acquisisce il linguaggio e il ruolo che all'interno di questo processo giocano le predisposizioni, esperienze e differenze individuali. L'ipotesi gestuale di Corballis (2008) suggerisce che il bambino stesso utilizzi come prime forme di comunicazione elementi gestuali piuttosto che vocali per esprimere i suoi bisogni nella relazione diadica con la madre. Se è vero da una parte che il primo sviluppo fonetico-articolatorio nel bambino è caratterizzato da pianti, versi e lallazioni, è altrettanto vero che la comunicazione intenzionale che precede le parole vere e proprie, si manifesta a partire dalla comparsa dei gesti (Caselli, 1983). Il gesto dell'indicare, che è il primo a manifestarsi, compare tra gli 8 e i 9 mesi e segnala l'acquisizione da parte del bambino della capacità di manipolare l'ambiente circostante: ottenere qualcosa dagli altri e dall'ambiente sarà la base per il successivo sviluppo della parola. A 12 mesi il gesto e la parola sono l'uno il supplemento dell'altro e vi è il passaggio dalla lallazione a forme "foneticamente stabili", le proto-parole, cioè parole formate da suoni e onomatopee che il bambino utilizza in modo sistematico per riferirsi a oggetti e persone del suo intorno. A 18 mesi si verifica il fenomeno dell'esplosione del linguaggio, caratterizzato da un aumento del ritmo di acquisizione e produzione delle parole: il vocabolario di un bambino a questa età comprende circa 150 parole. A circa due anni, la modalità vocale inizia a prevalere su quella gestuale, seppur quest'ultima non scompare mai del tutto.

Ma come imparano i bambini a riconoscere i suoni e le combinazioni dei suoni per la formazione di parole? Secondo Saffran et al. (1996) ciò avverrebbe a seguito di un apprendimento probabilistico: il bambino impara che ci sono, all'interno del repertorio di suoni a cui è esposto costantemente, alcune combinazioni di suoni più probabili di altre. Il caregiver, ovvero la figura che si prende cura del bambino, facilita questo processo di apprendimento servendosi di un linguaggio più lento e un'articolazione più accentuata di determinati suoni rispetto al linguaggio verbale dell'adulto. Questo utilizzo spontaneo del linguaggio con il fine di renderlo comprensibile al bambino prende il nome di "motherese" ed è composto da espressioni brevi ma ripetute più volte, pause lunghe e

onomatopee (Cooper et al., 1997). Il “motherese” ha la funzione non solo di facilitare l’acquisizione del linguaggio da parte del bambino, ma anche di instaurare un rapporto affettivo tra lui e il caregiver.

## 1.2 Correlati anatomo-funzionali del linguaggio verbale

Nel paragrafo precedente, si è sottolineato come il linguaggio verbale sia un sistema complesso in cui anche simboli e gesti sono utilizzati per la comunicazione (Bear et al., 2016). Ma nell’essere umano quali sono le aree e le strutture cerebrali coinvolte durante un processo di comunicazione che si attua attraverso il linguaggio verbale? In questo senso, il sistema uditivo modula l’accesso dell’informazione “linguaggio” al nostro cervello, mentre il sistema motorio in ultima battuta rende possibile il coordinamento dei muscoli dell’apparato fonatorio e di conseguenza la produzione del linguaggio. Tra questi due estremi avviene l’elaborazione del linguaggio grazie al coinvolgimento di aree cerebrali specifiche: l’area di Wernicke, nel giro temporale superiore dell’emisfero sinistro e l’area di Broca, nella circonvoluzione frontale inferiore del medesimo emisfero cerebrale (Bear, et al., 2016). La scoperta di tali aree va ricondotta agli studi effettuati dal neurologo e chirurgo francese Paul Broca (1861) e da Carl Wernicke (1874), psichiatra e neurologo tedesco. Nel 1861 Paul Broca per la prima volta descrisse il caso di un paziente, il “Signor Tan Tan”, che a seguito di una lesione della porzione ventrale del lobo frontale di sinistra era quasi del tutto incapace di parlare. Egli presentava una “*perdita parziale o completa delle capacità linguistiche senza perdita delle facoltà cognitive o delle capacità di muovere i muscoli necessari per l’eloquio*” (Bear et al., 2016). Tale condizione venne denominata come Afasia di Broca o afasia non fluente, la cui peculiarità risiede anche nel non essere causata da problematiche di natura articolatoria o uditiva, ma da alterazioni funzionali che interessano il sistema nervoso nella sua componente centrale di elaborazione linguistica (Adornetti, 2019). Studi successivi dello stesso autore su altri otto casi simili (1865) confermarono che le lesioni si localizzavano in un’area specifica nella terza circonvoluzione frontale inferiore della corteccia cerebrale di sinistra, che fu chiamata area di Broca. Nella moderna nomenclatura neuroanatomica, quest’area corrisponde alle aree di Brodmann (BA) 44 e 45. Data la natura dei deficit a livello di produzione del linguaggio, Paul Broca ipotizzò che l’afasia descritta potesse essere l’espressione di un problema in termini di organi fonatori che consentono l’articolazione delle parole (Bear et al., 2016): la vicinanza dell’area di Broca all’area supplementare

motoria (SMA), localizzata nella regione mediale del lobo frontale, con la funzione di contribuire al controllo dei movimenti della bocca e delle labbra, sembra dare sostegno a questa ipotesi. In realtà ricerche successive, hanno evidenziato come l'afasia di Broca comprenda difficoltà in termini di denominazione, ripetizione, lettura ad alta voce, scrittura (Benson & Ardila, 1996), nonché agrammatismo, ovvero la compromissione degli aspetti sintattico-grammaticali dell'eloquio (Adornetti, 2019). In questo tipo di afasia, tuttavia, la comprensione e la capacità di concettualizzare sono relativamente conservate.

Qualche anno più tardi, il neurologo tedesco Carl Wernicke (1874) descrisse un quadro di compromissione del linguaggio diametralmente opposto a quello descritto da Paul Broca: egli notò come in corrispondenza di una lesione al lobo temporale dell'emisfero sinistro, ad essere compromessa fosse la comprensione più che la produzione del linguaggio, che risultava essere relativamente scorrevole. La regione cerebrale interessata in questo caso si trova nella porzione superiore del lobo temporale, tra la corteccia uditiva e il giro angolare del lobo parietale, e prese il nome di area di Wernicke (BA 22). A seguito di una lesione dell'area di Wernicke, la regione deputata alla gestione semantica del linguaggio e quindi all'interpretazione del significato delle parole, la comprensione uditiva risultava la componente maggiormente compromessa (Adornetti, 2019). Questo perché l'area di Wernicke si trova al confine con la corteccia uditiva primaria, quella dove avviene il primo riconoscimento sonoro. Tuttavia, anche la produzione di frasi, pur risultando fluida, presenta delle anomalie: le frasi che compongono l'eloquio dei pazienti con afasia di Wernicke sono lunghe ma spesso formate da parole prive di nesso e carenti di regole sintattiche. Questi studi, uniti a quelli di Broca sopracitati, misero anche in luce l'importante scoperta che l'emisfero sinistro del cervello era l'emisfero dominante per la funzione linguistica.

Un modello di elaborazione del linguaggio che tiene conto di un secolo di studi in questo ambito è quello di Wernicke-Lichteim-Geschwind (1974). Questo modello attribuisce all'area di Wernicke e all'area di Broca un ruolo chiave circa il riconoscimento, la comprensione dei suoni del parlato e la produzione articolatoria. Oltre all'area di Broca e di Wernicke, cruciale per l'elaborazione del linguaggio sarebbe il fascicolo arcuato, un fascio di sostanza bianca che collega le due aree, la cui lesione si associa ad un quadro di afasia definito "di conduzione", caratterizzato da eloquio fluente ma privo di senso (come nell'afasia di Wernicke), una comprensione buona e una

compromissione nel compito di ripetizione di frasi. Secondo il modello Wernicke-Lichteim-Geschwind, il circuito dedicato all'elaborazione del linguaggio sarebbe quindi costituito da corteccia uditiva, area di Wernicke (la quale possedendo la memoria dei suoni, li elabora per dare significato alle parole udite), fascicolo arcuato, area di Broca (dove le parole sono trasformate in un codice di movimenti muscolari richiesti dal linguaggio) e corteccia motoria (la quale coordina i movimenti di labbra, lingua, bocca e laringe). Una lesione dell'area di Broca provocherebbe l'interruzione di segnali alla corteccia motoria e quindi una difficoltà nella produzione dell'eloquio (vedi Figura 1.2.1), mentre una lesione dell'area di Wernicke provocherebbe l'interruzione della trasformazione di suoni in parole e i conseguenti problemi di lettura e comprensione (vedi Figura 1.2.2).

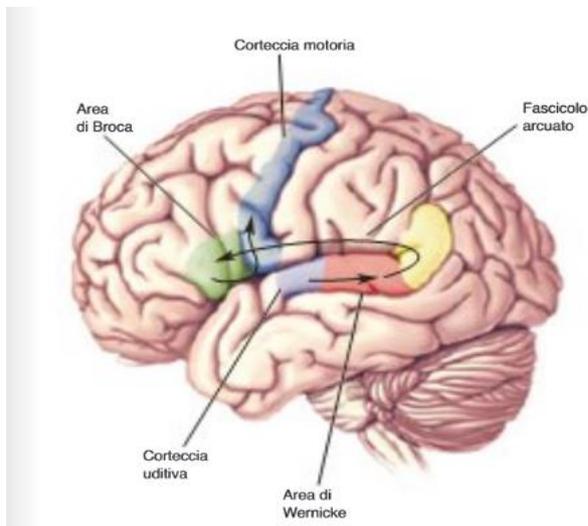


Figura 1.2.1: via neurale coinvolta nella ripetizione di una parola presentata in modalità uditiva secondo il modello Wernicke-Lichteim-Geschwind.

Fonte: Bear et al., 2017; Fig.20.7.

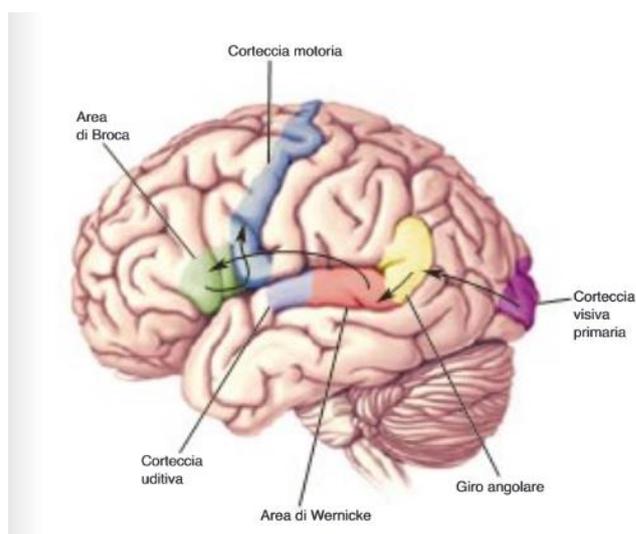


Figura 1.2.2: via neurale coinvolta nella lettura ad alta voce del linguaggio scritto secondo il modello di Wernicke-Lichteim-Geschwind.

Fonte: Bear et al., 2017; Fig.20.8.

Seppur ritenuto tutt'oggi un buon punto di riferimento per la classificazione dei quadri di afasia (Adornetti, 2019) questo modello presenta alcune criticità non trascurabili: a) non

tiene conto del ruolo di strutture sottocorticali come il talamo e il nucleo caudato che, se danneggiati, influenzano l'elaborazione del linguaggio provocando una condizione di afasia fluente-non fluente, caratterizzata da una comprensione variabile ed errori parafasici simili a quelli commessi da un paziente con afasia di Wernicke; b) non considera che l'informazione visiva può raggiungere l'area di Broca senza passare dal giro angolare e senza quindi necessariamente trasformare le parole lette in risposte pseudo-uditiva; c) non tiene conto della capacità del cervello di riorganizzarsi a seguito di danni e lesioni cerebrali (plasticità); d) non considera il fatto che molte afasie implicano entrambi i tipi di deficit del linguaggio.

Il più recente “modello a due vie” (Berwick et al., 2013) supera le incertezze del modello di inadeguatezze di Wernicke-Lichtheim-Geschwind. Gli autori ipotizzano tre vie di comunicazione tra l'area di Wernicke e l'area di Broca: due vie dorsali e una via ventrale (vedi Figura 1.2.3). La prima via dorsale coinvolgerebbe il giro temporale superiore (costituito dall'area di Wernicke e la corteccia uditiva) e la corteccia motoria: questa via sarebbe particolarmente coinvolta nella ripetizione di parole. Ciò avverrebbe perché l'informazione uditiva, dopo essere stata elaborata dall'area di Wernicke, che riconosce i suoni e ne estrae il significato, arriva alla corteccia motoria, la quale controlla, organizza e coordina i muscoli dell'apparato fonatorio necessari alla produzione del linguaggio parlato. La seconda via dorsale metterebbe in comunicazione il giro temporale superiore con l'area di Broca, e sarebbe coinvolta nell'analisi delle parole. La via ventrale invece connetterebbe la corteccia uditiva e l'area di Broca e sarebbe dedicata all'analisi dei suoni, estraendo da essi il significato.

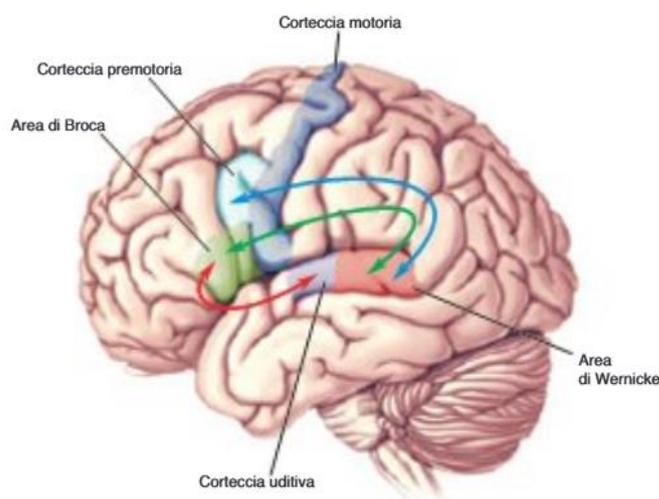


Figura 1.2.3: vie neurali parallele del linguaggio secondo il modello di Berwick et al. (2013).

Fonte: Bear et al., 2017; Fig.20.9.

Le conoscenze ottenute circa l'elaborazione del linguaggio attraverso la neuropsicologia sono state affiancate negli ultimi decenni da informazioni ricavate mediante studi condotti con tecniche di neuroimmagine funzionale e stimolazione cerebrale non invasiva. Queste tecniche hanno confermato in larga parte le nozioni sul ruolo centrale svolto dall'area di Broca e da quella di Wernicke nei processi linguistici (Gernsbacher & Kaschak, 2003). Tuttavia, sempre più evidenze riportano una dipendenza funzionale tra i circuiti cerebrali adibiti alla percezione del linguaggio parlato e quelli adibiti alla sua articolazione (Galantucci et al., 2006), che sono stati precedentemente descritti. A questo proposito, con l'utilizzo della stimolazione magnetica transcranica (TMS) sulle porzioni della corteccia motoria primaria (M1) predisposte al controllo dei muscoli delle labbra e della lingua, alcuni studiosi hanno osservato come queste parti fossero attive anche durante la discriminazione dei fonemi articolatori delle labbra e della lingua. (D'Ausilio et al., 2009). Ciò significherebbe che i sistemi motorio-articolatori sarebbero coinvolti almeno in parte anche nel processo di percezione dei suoni del linguaggio parlato (D'Ausilio et al., 2009): le aree motorie contribuirebbero quindi non solo ai processi motori di output del linguaggio come si è sempre pensato tradizionalmente, ma anche a quelli percettivi di input. Anche dati provenienti da studi effettuati tramite risonanza magnetica funzionale (fMRI) sull'area di Broca hanno provato che essa contribuisce in maniera significativa ai processi di percezione del linguaggio parlato (Kotz et al., 2010). In aggiunta a ciò, studi effettuati mediante tomografia a emissione di positroni (PET) sempre riguardanti l'area di Broca sembrano aver riscontrato l'attività di quest'area anche durante l'osservazione e l'esecuzione di movimenti delle braccia e della mano, che rappresentano risposte motorie di tipo non verbale (Schlau et al., 1994; Gallagher & Frith, 2004; Rizzolatti & Craighero 2004). Queste conoscenze sembrerebbero far emergere due questioni importanti: a) se è vero che i sistemi motorio-articolatori hanno un ruolo anche nei processi di percezione dei suoni del linguaggio, potrebbe esistere un meccanismo in grado di spiegare la sovrapposizione tra i processi motori e quelli percettivi?; b) dato che l'area di Broca, oltre ad avere un ruolo centrale nei processi di elaborazione del linguaggio, sembra implicata nell'esecuzione di movimenti della mano e delle braccia, è possibile ipotizzare che a partire da un'originale area di controllo motorio di movimenti gestuali, in accordo con l'ipotesi gestuale dell'origine del linguaggio verbale, essa si sia poi evoluta come regione cerebrale specializzata nell'elaborazione del linguaggio verbale?

In questo senso, la scoperta dei neuroni specchio, una classe di neuroni con proprietà senso-motorie trovati inizialmente nell'area F5 del macaco (di Pellegrino et al., 1992), potrebbe fornirci una possibile risposta ad entrambe le questioni sopracitate. I risultati ottenuti nel macaco mediante la registrazione di singole cellule nervose sono stati un punto di partenza per capire se sia possibile rintracciare nel cervello umano neuroni con proprietà analoghe. Partendo dall'assunto importante che nell'essere umano la registrazione di singole cellule nervose normalmente effettuata nel macaco è di difficile attuazione per molteplici ragioni (Gallese et al., 2004), un sistema di strutture cerebrali con proprietà specchio sovrapponibili a quelle riscontrate nel macaco, dove popolazioni di neuroni si attivano sia in risposta all'esecuzione di un'azione sia quando un'azione messa in atto da un altro individuo viene semplicemente osservata, è stato individuato anche nell'essere umano tramite soprattutto l'impiego di tecniche di neuroimaging funzionale (Molenberghs et al., 2012). Il settore caudale del giro frontale inferiore (IFG), corrispondente all'area di Broca (BA 44 – Gallese et al., 2004; Rizzolati & Sinigaglia, 2006), sembra far parte di questo circuito. Vedremo nei prossimi capitoli cosa sono più precisamente i neuroni specchio e perché sarebbero, almeno in parte, in grado di spiegare: a) la correlazione tra i processi percettivi e i processi motori; b) come è avvenuto il passaggio dal linguaggio in forma di gestualità al linguaggio verbale.

## CAPITOLO DUE: I NEURONI SPECCHIO

### *2.1. I neuroni specchio nel primate non umano: scoperta, concettualizzazione e prime ipotesi*

Con il termine “neuroni specchio” viene definito un gruppo di neuroni visuomotori scoperti per la prima volta nella corteccia premotoria ventrale del macaco (area F5 di PMv - di Pellegrino et al., 1992; Rizzolatti et al., 1996). A differenza dei neuroni motori detti “canonici”, la cui attività è legata all’esecuzione di uno specifico atto motorio finalizzato come l’“afferrare”, lo “strappare” e il “tenere” (Rizzolatti et al., 1999), i neuroni specchio di quest’area presentano una proprietà peculiare: si attivano sia quando il macaco esegue un’azione diretta a uno scopo, sia quando osserva un altro individuo mettere in atto un’azione simile (Rizzolatti et al., 1996). In altre parole, alla vista di un individuo che esegue un’azione, nel cervello del primate non umano viene reclutato un circuito nervoso analogo a quello coinvolto nel caso in cui fosse stato il macaco stesso ad eseguire l’azione di cui è invece stato solo spettatore. L’aggettivo “specchio” attribuito a questi neuroni fa precisamente riferimento a questa capacità della componente premotoria del sistema motorio di “rispecchiare” l’azione osservata dell’altro mediante il reclutamento di un circuito cerebrale simile a quello coinvolto dall’esecuzione in prima persona dell’azione osservata (Bonini et al., 2022).

Gli studi di neurofisiologia realizzati sul primate non umano si avvalgono della registrazione intracranica di singole cellule nervose (Bear et al., 2016): questo approccio è caratterizzato da una risoluzione spaziale e temporale eccellenti. Grazie alle ricerche effettuate mediante questa metodica, è stato possibile individuare diverse importanti peculiarità dei neuroni specchio registrati nell’area F5, che secondo una rassegna di Kilner e Lemon (2013) sono pari a circa un terzo dei neuroni totali registrati nella medesima area e godono di numerose proprietà, tra le più rilevanti:

1. il 50% circa risponde ad azioni brachio-manuali, come ad esempio afferrare un oggetto con la mano (Rizzolatti et al., 1996), mentre il 25%, nella parte più laterale di F5, risponde ad azioni eseguite con la bocca come la suzione, l’afferramento o la rottura di un alimento (Ferrari et al., 2003);
2. circa il 46,8% si attiva anche quando non vi è da parte del macaco la visione completa dell’azione prodotta dallo sperimentatore (Umiltà et al., 2001);
3. due lavori (Kohler et al., 2002; Keysers et al., 2003) riportano una percentuale di neuroni specchio audio-motori in F5, rispettivamente il 21,3% e il 12,7% sul totale

dei neuroni registrati, che rispondono quando il macaco ascolta solamente il suono dell'azione prodotta dallo sperimentatore.

Fogassi et al. (2005) descrivono la presenza di neuroni specchio anche nella parte rostrale del lobo parietale inferiore (IPL) del cervello del macaco. Il network di neuroni specchio attivo durante l'osservazione dell'azione "afferrare" coinvolge il solco temporale superiore (STS), l'area IPL e l'area F5 (Vanduffel et al., 2001). L'area IPL è strettamente connessa al STS e riceve informazioni sulla posizione, la forma e la distanza di stimoli visivi dalla corteccia visiva primaria tramite la via visiva ventrale (Borra et al., 2008), invia poi tali informazioni ai neuroni di F5, che attivandosi per la codifica della rappresentazione motoria confacente alle caratteristiche fisiche dell'oggetto, mandano le loro proiezioni alla corteccia motoria primaria, incaricata dell'esecuzione dei comandi motori necessari per l'azione (Rizzolatti & Craighero, 2004; Fogassi et al., 2005). Nel macaco si può parlare quindi di un circuito fronto-parietale, comprendente l'area IPL e l'area F5, dove neuroni con proprietà specchio sono coinvolti in processi di integrazione senso-motoria delle azioni (Iacoboni & Dapretto, 2006). I neuroni di STS, nonostante le connessioni con tale circuito, rispondono solamente durante l'osservazione (e non l'esecuzione da parte dell'animale) di azioni finalizzate compiute da un altro individuo (Rizzolatti & Craighero, 2004). Si ipotizza che il circuito fronto-parietale (area IPL e area F5) del macaco abbia come funzione principale quella di contribuire alla comprensione degli atti motori eseguiti dai propri simili: i neuroni specchio metterebbero in relazione le azioni esterne eseguite da altri con il repertorio interno di azioni dell'osservatore, configurandosi così come un meccanismo alla base della comprensione implicita di quello che viene osservato. Ciò è confermato in particolar modo dai sopracitati studi forniti da Umiltà et al. (2001) e da Kohler et al. (2002), nei quali è stata messa alla prova l'ipotesi dell'importanza dei neuroni specchio nel riconoscimento delle azioni verificando l'attività di tali neuroni anche senza che il macaco avesse accesso diretto alla visione dell'azione: questi esperimenti dimostrano che i neuroni specchio codificano, rappresentano nel sistema motorio e di conseguenza comprendono l'azione altrui a prescindere dalla modalità (esecuzione, osservazione, ascolto) in cui essa è presentata. Tale circuito è implicato nel riconoscimento non solo dello scopo di un'azione, ma anche della comprensione delle intenzioni alla base di un'azione, vale a dire ciò che l'individuo che compie l'azione ha nella mente di voler fare prima ancora che il primo atto motorio, all'interno di una catena di atti motori costituenti un'azione con uno scopo specifico, sia messo in atto (Fogassi et al., 2005).

## 2.2. *Dai neuroni specchio al meccanismo specchio nell'uomo*

Almeno due sono le questioni che portano gli studiosi ad interrogarsi circa l'esistenza dei neuroni specchio anche nell'essere umano. La prima questione, di ordine metodologico, riguarda le differenti tecniche utilizzate per esplorare l'esistenza ed il funzionamento dei neuroni specchio: per lo studio dell'attività cerebrale dell'essere umano ci si serve di tecniche di neuroimmagine funzionale e stimolazione cerebrale non invasiva, nel caso del macaco invece si utilizza la tecnica di registrazione intracranica delle cellule nervose. Quest'ultima registra in maniera diretta l'attività del singolo neurone (Dinstein et al., 2008), e si tratta di una metodica altamente invasiva, che sull'essere umano viene implementata prevalentemente nel contesto di interventi neurochirurgici. Per questa ragione, tecniche di neuroimmagine come la PET e la fMRI, sono utilizzate per esplorare l'attività cerebrale nell'uomo, restituendo dati circa l'attività metabolica del cervello in termini di consumo di glucosio la prima e di ossigeno la seconda, andando ad individuare le aree coinvolte durante l'esecuzione di un compito. Tale approccio consente quindi di studiare l'attività cerebrale in termini di regioni e strutture, non di singoli neuroni. La messa in discussione del parallelismo uomo-scimmia deriva principalmente da ciò: non godendo, le tecniche di neuroimmagine, di requisiti di risoluzione spaziale e temporale paragonabili a quelli che caratterizzano la registrazione intracranica dei singoli neuroni, dimostrare l'esistenza del singolo neurone con determinate proprietà, in questo caso il singolo neurone specchio, nell'essere umano come è possibile fare nel macaco, non è attualmente realizzabile (Rizzolatti & Craighero, 2004). Oltre a ciò, quando parliamo del primate non umano ci riferiamo sì a un esemplare filogeneticamente vicino all'essere umano, ma non bisogna dimenticare che le due specie presentano delle differenze cerebrali significative sia a livello macrostrutturale (5:1 le proporzioni del cervello umano rispetto a quello di un'ipotetica scimmia dallo stesso peso), che microstrutturale (Passingham, 2009). In secondo luogo, il circuito di regioni con proprietà specchio nell'essere umano coinvolge un network di aree più ampio rispetto a quanto osservato nel macaco (principalmente F5, IPL e STS). Le altre regioni del cervello umano che comprendono un sistema di neuroni specchio sono: la parte posteriore e anteriore dell'IFG e la corteccia premotoria dorsale (PMD - vedi Figura 2.2 - Rizzolatti & Sinigaglia, 2006). Inoltre, studi su pazienti epilettici effettuati tramite elettroencefalografia (EEG) da Mukamel et al. (2010) constatano la presenza di un sistema di neuroni specchio anche nella corteccia cingolata, nell'area supplementare motoria (SMA) e nella corteccia entorinale.

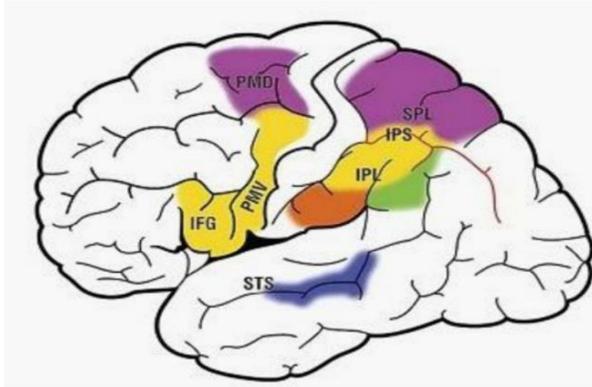


Figura 2.2: aree anatomiche che formano il sistema specchio nell'essere umano. Il circuito specchio fronto-parietale comprende le aree evidenziate in viola e giallo.

Fonte: Cattaneo, L. et al., Archives of Neurology, 2009.

Le evidenze indirette finora riportate (Rizzolatti & Sinigaglia, 2006; Mukamel et al., 2010) suggeriscono quindi che il “cuore” del meccanismo specchio negli esseri umani comprenda principalmente IPL, PMv e IFG. PMv e IFG corrispondono rispettivamente all'area F4 e all'area F5 della corteccia premotoria del macaco (Rizzolatti & Craighero, 2004). Questo sistema specchio fronto-parietale, si ipotizza svolga, come il corrispettivo circuito presente nel macaco, una funzione nella comprensione delle azioni altrui (Fabbri-Destro & Rizzolatti, 2008) e delle intenzioni sottostanti a tali azioni (Iacoboni et al., 2005) tramite la creazione di una prima rappresentazione motoria interna del movimento. In altre parole, comprendiamo le azioni altrui per mezzo della nostra stessa “conoscenza motoria” che ci permette di attribuire direttamente un significato ai movimenti degli altri, comparando ciò che viene visto (o udito) con ciò che rappresentiamo in maniera immediata nella nostra mente. È importante sottolineare però che questa “risonanza motoria” che trasforma l'esperienza visiva in un'esperienza motoria interna dell'osservatore avviene solo quando l'azione osservata appartiene al repertorio motorio dell'osservatore, indipendentemente se effettuata da un conspecifico (Fogassi et al., 2001). Per la comprensione di azioni che non appartengono al repertorio motorio dell'osservatore, la codifica percettiva è sufficiente alla comprensione dell'azione e l'esperienza visiva non viene direttamente trasformata in esperienza motoria (Buccino et al., 2004). Questo, quindi, dimostra che comprendere ciò che fa l'altro è possibile tramite altri meccanismi. Ciò che differenzia il meccanismo specchio dagli altri meccanismi è che tramite di esso comprendiamo l'altro in maniera immediata, come se fossimo noi: le azioni dell'altro vengono comprese perché sono rappresentate nel nostro sistema motorio come qualcosa che noi in prima persona abbiamo già fatto o siamo in grado di fare.

La più importante proprietà che differenzia il meccanismo specchio umano dai neuroni specchio del macaco ha a che fare con la codifica di atti motori intransitivi, vale a dire atti motori che non prevedono l'interazione con un oggetto (cosa invece propria degli atti motori transitivi), come ad esempio i gesti mimici (Fadiga et al., 1995; Rizzolatti & Craighero, 2004). Questa proprietà del sistema specchio umano, e in particolare del settore caudale di IFG, l'area di Broca (BA 44), consente di ipotizzare che il dominio originale di questo sistema comprenda anche la capacità di descrivere azioni a un livello più astratto, senza che esse si riferiscano necessariamente ad un oggetto (Galantucci et al., 2006). Non essendo questa proprietà presente nei neuroni specchio del macaco, possiamo pensare che la possibile astrazione del significato di un'azione sia una specificità del sistema specchio umano, alla base di facoltà più astratte, come il linguaggio: questa è una prima evidenza del ruolo dei neuroni specchio nella comunicazione verbale.

## CAPITOLO TRE: NEURONI SPECCHIO E COMUNICAZIONE VERBALE

### *3.1. Il meccanismo specchio come “ponte” tra azione e comunicazione: la teoria motoria della percezione del linguaggio parlato*

Alla fine del primo capitolo, abbiamo parlato dell'ipotesi secondo cui il sistema motorio non sia coinvolto solamente nella fase di output, ma contribuisca anche alla componente di elaborazione dell'informazione da parte del nostro cervello. In particolare, abbiamo visto come ciò si possa applicare al caso del linguaggio parlato, grazie principalmente agli studi di D'Ausilio et al. (2009) e di Kotz et al. (2010), che mettono in luce il contributo dei sistemi motorio-articolatori ai processi di elaborazione dei fonemi della comunicazione verbale. La domanda lecita riguarda quindi la possibile esistenza di un meccanismo in grado di spiegare la sovrapposizione funzionale di processi percettivi e motori: il meccanismo specchio descritto nel capitolo precedente sembrerebbe fornire una risposta plausibile a tale quesito. Essendo in grado di codificare sia eventi sensoriali che atti motori, il meccanismo specchio potrebbe rendere possibile l'integrazione tra percezione e azione, processi strettamente correlati e dipendenti l'uno dall'altro (Fadiga et al., 2000; Pulvermuller et al., 2005). Questa scoperta ha contribuito a far sì che il sistema motorio fosse concepito in termini più complessi rispetto a quelli in cui era stato pensato fino a quel momento: la classica divisione tra le aree motorie frontali, adibite all'implementazione del comando motorio, e le aree cerebrali posteriori, predisposte soprattutto all'elaborazione di fenomeni sensoriali (Kilner & Lemon, 2013) non sembra più così netta dopo che neuroni con proprietà specchio furono osservati prima nella corteccia premotoria del macaco e successivamente sotto forma di un omologo meccanismo nell'essere umano, nelle regioni sopracitate (PMv, IFG, IPL). In virtù del fatto che una di queste aree corrisponde alla parte più caudale dell'area di Broca (BA 44), centrale nei processi di articolazione e percezione del linguaggio parlato, possiamo riscontrare alcune similitudini tra il funzionamento del meccanismo specchio, in grado di tradurre le informazioni sensoriali relative ad un'azione in programmi motori (Rizzolatti & Craighero, 2004) e i principi basilari della teoria della percezione motoria del linguaggio dello psicologo americano Alvin Liberman (1967). Secondo questa teoria il linguaggio parlato è percepito sulla base di com'è prodotto, piuttosto che a partire dall'analisi di elementi acustici. Quindi, dal momento che un messaggio condiviso attraverso il linguaggio parlato da un emittente ad un destinatario, per essere compreso richiede che i due individui comunicanti condividano un comune codice di codifica del messaggio, è chiaro come una condizione necessaria affinché ciò possa avvenire richieda

l'attivazione delle medesime rappresentazioni motorie fonologicamente rilevanti per entrambi gli interlocutori. Per questo motivo il sistema specchio, che si configura come un sistema di convergenza tra percezione ed azione, sarebbe il "ponte" tra l'azione e la comunicazione. In questi termini, all'interno di un contesto comunicativo l'azione non sarebbe altro che il messaggio diretto e immediato messo in comune, quindi appunto comunicato, da un individuo agente, l'emittente, per un individuo "percettore" (osservatore/uditore), cioè il destinatario. Secondo la teoria di Liberman, i suoni verbali vengono compresi dal destinatario del messaggio (almeno in parte) sulla base di come vengono articolati e non per come vengono percepiti acusticamente. Questo è un punto chiave per ipotizzare che un messaggio espresso dall'emittente tramite il canale verbale costituisca un atto comunicativo portatore di significato al pari di un atto motorio finalizzato (Rossi, 2012). In questo modo la percezione del parlato potrebbe essere considerata una funzione naturale del sistema specchio: esso renderebbe possibile il confronto tra i gesti articolatori automaticamente estratti dal materiale ascoltato con il repertorio motorio dell'ascoltatore (Fadiga et al., 2009). Possiamo stabilire una comunicazione con l'altro grazie al sistema dei neuroni specchio nell'area di Broca, in cui le proprietà sensoriali e quelle motorie del linguaggio sono elaborate in modo congiunto, permettendoci di comprendere ciò che comunicano gli altri basandoci sulle nostre competenze motorie: c'è una comunanza tra me e l'altro. Per questo motivo i processi di percezione e produzione delle parole utilizzerebbero un repertorio motorio comune, che altro non è che il comune codice di codifica del messaggio che abbiamo nominato prima, elemento base di qualsiasi comunicazione: nel caso della comunicazione verbale, l'ascoltatore comprende l'altro quando le rappresentazioni dei propri gesti articolatori si attivano attraverso i suoni verbali prodotti da colui che parla (Kotz et al., 2010).

Nonostante le argomentazioni a supporto del ruolo del sistema dei neuroni specchio nella percezione del linguaggio parlato, studi basati su lesioni nelle aree fronto-parietali del sistema specchio umano dimostrano che sono comunque le strutture temporali quelle ad avere il ruolo primario nei fenomeni di percezione del linguaggio parlato: le abilità percettive di pazienti le cui aree fronto-parietali erano danneggiate non erano compromesse come quelle dei pazienti in cui tali danni riguardavano le aree temporali (Rogalski et al., 2011). Nonostante ciò, non è possibile per questi autori escludere il ruolo del sistema motorio, e in particolare del meccanismo specchio, nella percezione del linguaggio parlato ma evidenziano come esso detenga un ruolo più che altro modulatore.

### *3.2. Il passaggio dall'area F5 del macaco all'area di Broca dell'essere umano: l'inclusione delle vocalizzazioni da parte del sistema specchio umano*

Durante tutto lo svolgimento di questo elaborato è stato ribadito come la forma di comunicazione principale dell'essere umano sia quella di tipo verbale, nonostante vi siano altri sistemi di comunicazione nel regno animale e umano che non richiedono necessariamente l'utilizzo di un canale uditivo: la comunicazione gestuale è uno di questi. A partire dal sistema di comunicazione gestuale di cui si servono gli scimpanzè (vedi Figura 1.2.1 e 1.2.2) e la sua similarità con i gesti di cui si serve l'essere umano, è possibile sostenere l'ipotesi gestuale dell'origine del linguaggio parlato (Corballis, 2008). Abbiamo visto come secondo tale ipotesi, a partire da un repertorio comunicativo basato su espressioni facciali e gesti manuali, nel corso dell'evoluzione dal primate non umano all'essere umano, siano stati pian piano introdotti i suoni per far sì che il sistema comunicativo assumesse un valore maggiormente simbolico, diretto e pratico (Corballis, 2010), tutte caratteristiche richieste dalla progressiva sofisticazione della vita sociale. La questione rimasta irrisolta, citata nel primo capitolo, riguarda però il come si fosse verificato il passaggio dalla gestualità alla comunicazione verbale, processo che sottintende la transizione da un sistema visuo-manuale ad un sistema acustico-vocale: i neuroni specchio potrebbero ancora una volta fornire una possibile spiegazione a tale avvenimento. Più dettagliatamente, Corballis (2010) sostiene che il passaggio dai gesti manuali al linguaggio parlato si sia verificato in due fasi: l'inclusione nel sistema specchio dei gesti bucco-facciali, come ad esempio l'alternanza di apertura e chiusura della mandibola, e poi la successiva inclusione nel sistema specchio delle vocalizzazioni. Abbiamo visto infatti come nel macaco il legame tra gesti manuali e gesti bucco-facciali sia constatato dall'esistenza nella stessa area F5 di neuroni specchio che codificano sia azioni brachio-manuali che azioni legate alla bocca (Ferrari et al., 2003). I gesti comunicativi nel macaco coinvolgono perciò due modalità di espressione: la mano e il viso. Queste due modalità sarebbero state, nel corso della filogenesi, complementari e necessarie, in quanto lo scambio comunicativo tramite la sola modalità bucco-facciale è pensabile per non più di due interlocutori, mentre con l'aggiunta di gesti manuali (come il gesto dell'indicare) la comunicazione si estende oltre. Il passaggio dai gesti manuali ai gesti bucco-facciali è però indispensabile, poiché dalle espressioni del viso comunicative, come la protrusione delle labbra e della lingua, sarebbe avvenuta la successiva inclusione delle vocalizzazioni nel sistema specchio, il quale rende possibile la percezione dei suoni del parlato soprattutto sulla base della produzione dei gesti articolatori della bocca (vedi

Paragrafo 3.1). Per spiegare come i suoni, elementi distintivi della comunicazione verbale, siano stati accompagnati ai gesti articolatori della bocca possiamo citare la “schematopoeia” (Paget, 1930). Questa teoria postula che i gesti articolatori della lingua, delle labbra e della mandibola inizialmente non intenzionali, abbiano acquisito significato grazie alla scoperta, da parte degli individui, che l’aspirazione dell’aria tramite il coinvolgimento della cavità orale producesse il suono e che ad alcuni gesti potessero essere associati sempre gli stessi suoni, acquisendo questi ultimi il significato dei gesti stessi (ad esempio il gesto di aprire la bocca per produrre la vocale “a”, associato al significato di qualcosa di grande – Gentilucci & Corballis, 2006). Ciò, unito alla considerazione che nel macaco è presente una popolazione di neuroni specchio con proprietà audio-motorie (Kohler et al., 2002; Keysers et al., 2003), potrebbe aver determinato, sempre in una prospettiva filogenetica, i cambiamenti funzionali necessari per facilitare l’emergere di una comunicazione che sfruttasse il medium vocale (Iacoboni & Dapretto, 2006) e quindi la base per un linguaggio sofisticato, come quello verbale (Rizzolatti & Craighero, 2007).

L’omologia cito architettonica e funzionale tra l’area di Broca dell’essere umano (BA 44) e l’area F5 del macaco costituisce un’ulteriore prova di come l’inclusione delle vocalizzazioni nel sistema specchio umano sia stata possibile: la parte rostrale dell’area di Broca (BA 44), come l’area F5 del macaco, contenente un sistema specchio in grado di codificare sia azioni braccio-manuali che bucco-facciali, da un’originale area di controllo gestuale si sarebbe evoluta incorporando la pars triangularis di IFG (BA 45), la cosiddetta “parte linguistica” dell’area di Broca (Horwitz et al., 2003), diventando in questo modo una regione cerebrale adibita all’elaborazione del linguaggio verbale. Poiché le ragioni a sostegno dell’omologia tra le aree F5 e di Broca sono indipendenti dalla scoperta in entrambe di neuroni specchio, il fatto che suddette aree siano accomunate da questo meccanismo, e che esso nell’essere umano abbia alcune proprietà utili per l’acquisizione del linguaggio, come la proprietà di codificare anche atti motori intransitivi in grado di portare l’osservatore a pensare azioni, eventi o oggetti specifici distanti da quello che è presente alla vista, starebbe a indicare che la progressiva evoluzione del sistema dei neuroni specchio abbia giocato un ruolo chiave nello sviluppo di quella che è la capacità umana per eccellenza: comunicare, a gesti prima e a parole poi.

## CONCLUSIONI

I neuroni specchio, per come descritti all'interno di questo elaborato, hanno certamente una funzione nei processi comunicativi, e il focus di questo lavoro è stato illustrarne lo specifico contributo nella comunicazione verbale, peculiare dell'essere umano. Ne è emerso come il meccanismo specchio fornisca elementi a supporto dell'elaborazione percettiva e motoria del linguaggio parlato, e della prospettiva filogenetica dello sviluppo del linguaggio.

Tuttavia, la maggior parte delle ricerche riguardanti i processi neurali sottostanti la cognizione sociale si basa sullo studio della singola attività cerebrale e delle singole risposte comportamentali di un individuo all'interno di un contesto sociale, in cui i partecipanti agli esperimenti vengono studiati isolatamente (Konvalinka & Roepstorff, 2012). Questo è l'approccio tradizionale del "singolo cervello", basato sulla considerazione che i processi sottostanti la cognizione sociale possano essere studiati a livello individuale poiché quasi interamente internalizzati (Konvalinka & Roepstorff, 2012). Certamente, quasi tutte le scoperte apprese grazie a questi studi hanno fornito grandi rivelazioni circa ciò che avviene nel "cervello sociale" dell'essere umano. Questo approccio non spiega però come la percezione, l'azione e la cognizione siano modulate durante un'interazione in tempo reale con altri individui (Konvalinka & Roepstorff, 2012). Abbiamo appreso infatti come, affinché una comunicazione si possa verificare, sia necessaria un'interazione tra (almeno) un emittente e un destinatario di un messaggio, per cui sarebbe fondamentale quantificare il comportamento e l'attività neurale sottostante uno scambio comunicativo che coinvolga almeno due soggetti.

Recentemente, si sta cercando di andare oltre l'approccio tradizionale del "singolo cervello" mediante l'implementazione di un paradigma "doppio cervello". L'ipotesi alla base di questo approccio è principalmente quella secondo cui quando un individuo è attivamente coinvolto in una interazione diadica persona-persona, invece che essere solamente uno spettatore o un attore, si crea un legame tra gli interlocutori, una "sincronizzazione" dell'attività cerebrale tra gli individui coinvolti. Questa sincronizzazione sarebbe in grado di guidare l'interazione sociale per mezzo di meccanismi "sé-correlati" nel soggetto 1, che influenzano il comportamento e di conseguenza l'attivazione dei neuroni "altro-correlati" nel cervello del soggetto 2, che sarebbero a loro volta capaci di produrre una risposta comportamentale adattiva tramite l'attivazione di neuroni "sé-correlati". La misurazione simultanea dell'attività dei due

cervelli avviene soprattutto per mezzo di tecniche di fMRI, EEG o hyperscanning, grazie alle quali i cervelli dei due individui di cui si studiano le interazioni in tempo reale possono venire analizzati come un sistema unico (Bonini et al., 2022). L'ipotesi sottostante l'approccio "doppio cervello" è supportata dall'osservazione di come la sincronizzazione tra i sistemi motori degli individui cresca in funzione del loro diretto coinvolgimento nell'interazione sociale (Bonini et al., 2022). In aggiunta a ciò, Stephens et al. (2010) condussero alcuni esperimenti mediante fMRI dove registrarono l'attività cerebrale del parlante e dell'ascoltatore durante una comunicazione di tipo verbale e riscontrarono che l'attività cerebrale del parlante concernete sostanzialmente le aree uditive, l'area di Broca e l'area di Wernicke era spazialmente e temporalmente sincronizzata a quella dell'ascoltatore. Quando però la comunicazione cessava di esistere, anche la sincronizzazione spariva. Da questo possiamo capire come una mutua sincronizzazione dell'attività cerebrale correlata al linguaggio parlato (aree frontali, temporali e parietali) tra i cervelli del parlante e dell'ascoltatore potrebbe essere predittiva dell'utilità di estendere l'utilizzo di questo approccio per l'indagine dei correlati anatomico-funzionali del linguaggio umano, dove anche il meccanismo specchio ha un ruolo importante (Bonini et al., 2022).

## BIBLIOGRAFIA

1. Adornetti, I. (2019). Le afasie di Broca e di Wernicke alla luce delle moderne neuroscienze cognitive. *Rivista internazionale di Filosofia e Psicologia*, 10(3), 295-312.
2. Anolli, L. (2006). Origini ed evoluzione della cultura. *Giornale italiano di psicologia*, 33(2), 253-300.
3. Bear, M. F., Connors, B. W., Paradiso, M. A. (2016). *Neuroscienze. Esplorando il cervello*. Italia: Edra.
4. Benson, D. F., & Ardila, A. (1996). *Aphasia: A clinical perspective*. Oxford University Press on Demand.
5. Benveniste, É. (2010). *Problemi di linguistica generale* (Vol. 131). Il saggiatore.
6. Berwick, R. C., Friederici, A. D., Chomsky, N., & Bolhuis, J. J. (2013). Evolution, brain, and the nature of language. *Trends in cognitive sciences*, 17(2), 89-98.
7. Bonini, L., Rotunno, C., Arcuri, E., & Gallese, V. (2022). Mirror neurons 30 years later: implications and applications. *Trends in Cognitive Sciences*.
8. Borra, E., Belmalih, A., Calzavara, R., Gerbella, M., Murata, A., Rozzi, S., & Luppino, G. (2008). Cortical connections of the macaque anterior intraparietal (AIP) area. *Cerebral Cortex*, 18(5), 1094-1111.
9. Broca, P. (1861). Nouvelle observation d'aphémie produite par une lésion de la moitié postérieure des deuxième et troisième circonvolutions frontales. *Bulletins de la Société anatomique de Paris*, 36, 398-407.
10. Broca, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé (15 juin). *Bulletins de la Société Anthropologique de Paris*, 6, 377-393.
11. Buccino, G., Lui, F., Canessa, N., Patteri, I., Lagravinese, G., Benuzzi, F., ... & Rizzolatti, G. (2004). Neural circuits involved in the recognition of actions performed by nonconspecifics: An fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(1), 114-126.
12. Caselli, M. C. (1983). Gesti comunicativi e prime parole. *Età Evolutiva*, 16, 36-51.
13. Chomsky, N. (1988). *Language and Problems of Knowledge: The Managua Lectures* MIT Press. Cambridge, MA.
14. Cooper, R. P., Abraham, J., Berman, S., & Staska, M. (1997). The development of infants' preference for motherese. *Infant behavior and development*, 20(4), 477-488.
15. Corballis, M. C. (2008). The gestural origins of language. In *The origins of language* (pp. 11-23). Springer, Tokyo.

16. Corballis, M. C. (2010). Mirror neurons and the evolution of language. *Brain and language*, *112*(1), 25-35.
17. D'Ausilio, A., Pulvermüller, F., Salmas, P., Bufalari, I., Begliomini, C., & Fadiga, L. (2009). The motor somatotopy of speech perception. *Current Biology*, *19*(5), 381-385.
18. Di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental brain research*, *91*(1), 176-180.
19. Dinstein, I., Thomas, C., Behrmann, M., & Heeger, D. J. (2008). A mirror up to nature. *Current Biology*, *18*(1), R13-R18.
20. Fabbri-Destro, M., & Rizzolatti, G. (2008). Mirror neurons and mirror systems in monkeys and humans. *Physiology*, *23*(3), 171-179.
21. Fadiga, L., Craighero, L., & D'Ausilio, A. (2009). Broca's area in language, action, and music. *Annals of the New York academy of sciences*, *1169*(1), 448-458.
22. Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2000). Visuomotor neurons: Ambiguity of the discharge or 'motor' perception?. *International journal of psychophysiology*, *35*(2-3), 165-177.
23. Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., & Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of neurophysiology*, *73*(6), 2608-2611.
24. Ferrari, P. F., Gallese, V., Rizzolatti, G., & Fogassi, L. (2003). Mirror neurons responding to the observation of ingestive and communicative mouth actions in the monkey ventral premotor cortex. *European journal of neuroscience*, *17*(8), 1703-1714.
25. Fitch, W.T., & Reby, D. (2001). The descended larynx is not uniquely human. *Proc. R. Soc. Lond. B*, *268*, 1669-1675.
26. Fogassi, L., Ferrari, P. F., Gesierich, B., Rozzi, S., Chersi, F., & Rizzolatti, G. (2005). Parietal lobe: from action organization to intention understanding. *Science*, *308*(5722), 662-667.
27. Fogassi, L., Gallese, V., Buccino, G., Craighero, L., Fadiga, L., & Rizzolatti, G. (2001). Cortical mechanism for the visual guidance of hand grasping movements in the monkey: A reversible inactivation study. *Brain*, *124*(3), 571-586.
28. Galantucci, B., Fowler, C. A., & Turvey, M. T. (2006). The motor theory of speech perception reviewed. *Psychonomic bulletin & review*, *13*(3), 361-377.

29. Gallagher, H. L., & Frith, C. D. (2004). Dissociable neural pathways for the perception and recognition of expressive and instrumental gestures. *Neuropsychologia*, 42(13), 1725-1736.
30. Gallese, V., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2004). A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in cognitive sciences*, 8(9), 396-403.
31. Gentilucci, M., & Corballis, M. C. (2006). From manual gesture to speech: A gradual transition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 30(7), 949-960.
32. Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual review of psychology*, 54, 91.
33. Geschwind, N. (1974). Carl Wernicke, the Breslau School and the history of aphasia. In *Selected papers on language and the brain* (pp. 42-61). Springer, Dordrecht.
34. Hammerschmidt, K. (2008). Constraints in primate vocal production. *The evolution of communicative creativity: From fixed signals to contextual flexibility*, 93-119.
35. Hobaiter, C., & Byrne, R. W. (2014). The meanings of chimpanzee gestures. *Current Biology*, 24(14), 1596-1600.
36. Horwitz, B., Amunts, K., Bhattacharyya, R., Patkin, D., Jeffries, K., Zilles, K., & Braun, A. R. (2003). Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: a combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis. *Neuropsychologia*, 41(14), 1868-1876.
37. Iacoboni, M., & Dapretto, M. (2006). The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(12), 942-951.
38. Iacoboni, M., Molnar-Szakacs, I., Gallese, V., Buccino, G., Mazziotta, J. C., & Rizzolatti, G. (2005). Grasping the intentions of others with one's own mirror neuron system. *PLoS biology*, 3(3), e79.
39. Jakobson, R. (2002). *Saggi di linguistica generale*. Feltrinelli Editore.
40. Keysers, C., Kohler, E., Umiltà, M. A., Nanetti, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2003). Audiovisual mirror neurons and action recognition. *Experimental brain research*, 153(4), 628-636.
41. Kilner, J. M., & Lemon, R. N. (2013). What we know currently about mirror neurons. *Current biology*, 23(23), R1057-R1062.
42. Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846-848.

43. Kotz, S. A., D'ausilio, A., Raettig, T., Begliomini, C., Craighero, L., Fabbri-Destro, M., ... & Fadiga, L. (2010). Lexicality drives audio-motor transformations in Broca's area. *Brain and language*, *112*(1), 3-11.
44. Liberman, A. M., Cooper, F. S., Shankweiler, D. P., & Studdert-Kennedy, M. (1967). Perception of the speech code. *Psychological review*, *74*(6), 431.
45. Marshall, J. C. (1989). The descent of the larynx?. *Nature*, *338*(6218), 702-703.
46. Mithen, S. J. (2005). *The Singing Neanderthals: The Origins of Music, Language, Mind and Body*: Max.
47. Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2012). Brain regions with mirror properties: a meta-analysis of 125 human fMRI studies. *Neuroscience & biobehavioral reviews*, *36*(1), 341-349.
48. Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current biology*, *20*(8), 750-756.
49. Paget, J. B. (1930). Empire Free Trade. *The English review*, *1908-1937*, 3-4.
50. Passingham, R. (2009). How good is the macaque monkey model of the human brain?. *Current opinion in neurobiology*, *19*(1), 6-11.
51. Pinker, S., & Bloom, P. (1990). Natural language and natural selection. *Behavioral and brain sciences*, *13*(4), 707-727.
52. Pulvermüller, F., Hauk, O., Nikulin, V. V., & Ilmoniemi, R. J. (2005). Functional links between motor and language systems. *European Journal of Neuroscience*, *21*(3), 793-797.
53. Rizzolatti, G., & Craighero, L. (2007). Language and mirror neurons. *Oxford handbook of psycholinguistics*, 771-785.
54. Rizzolatti, G., & Craighero, L. J. A. R. N. (2004). The mirror-neuron system.
55. Rizzolatti, G., & Sinigaglia, C. (2006). *So quel che fai: il cervello che agisce ei neuroni specchio*. Milano: R. Cortina.
56. Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., & Gallese, V. (1999). Resonance behaviors and mirror neurons. *Archives italiennes de biologie*, *137*(2), 85-100.
57. Rizzolatti, G., Fadiga, L., Gallese, V., & Fogassi, L. (1996). Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive brain research*, *3*(2), 131-141.
58. Rogalsky, C., Love, T., Driscoll, D., Anderson, S. W., & Hickok, G. (2011). Are mirror neurons the basis of speech perception? Evidence from five cases with damage to the purported human mirror system. *Neurocase*, *17*(2), 178-187.

59. Rossi, A. (2012). *La scoperta dei neuroni specchio e la nuova concezione del sistema motorio*  
[https://www.uisp.it/discorientali/files/principale/la%20scoperta%20dei%20neuroni%20specchio%20e%20la%20nuova%20concezione%20del%20sistema%20motorio%20di%20ATTILIO%20ROSSI\\_1.pdf](https://www.uisp.it/discorientali/files/principale/la%20scoperta%20dei%20neuroni%20specchio%20e%20la%20nuova%20concezione%20del%20sistema%20motorio%20di%20ATTILIO%20ROSSI_1.pdf)
60. Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274(5294), 1926-1928.
61. Schlaug, G., Knorr, U., & Seitz, R. J. (1994). Inter-subject variability of cerebral activations in acquiring a motor skill: a study with positron emission tomography. *Experimental Brain Research*, 98(3), 523-534.
62. Slocombe, K. E., & Zuberbühler, K. (2005). Agonistic screams in wild chimpanzees (*Pan troglodytes schweinfurthii*) vary as a function of social role. *Journal of Comparative Psychology*, 119(1), 67.
63. Struhsaker, T. T. (1967). Social structure among vervet monkeys (*Cercopithecus aethiops*). *Behaviour*, 29(2-4), 83-121.
64. Umiltà, M. A., Kohler, E., Gallese, V., Fogassi, L., Fadiga, L., Keysers, C., & Rizzolatti, G. (2001). I know what you are doing: A neurophysiological study. *Neuron*, 31(1), 155-165.
65. Vanduffel, W., Fize, D., Mandeville, J. B., Nelissen, K., Van Hecke, P., Rosen, B. R., ... & Orban, G. A. (2001). Visual motion processing investigated using contrast agent-enhanced fMRI in awake behaving monkeys. *Neuron*, 32(4), 565-577.
66. Von Frisch, K. V. (1965). Die tünze der Bienen. In *Tanzsprache und Orientierung der Bienen* (pp. 3-330). Springer, Berlin, Heidelberg.
67. Watzlawick, P., Beavin, J. H., & Jackson, D. D. (1971). Pragmatica della comunicazione umana. *Astrolabio, Roma*, 35.
68. Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex: eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. Cohn.
69. Wray, A. (2002). *Formulaic language and the lexicon*. Cambridge University Press, 110 Midland Ave., Port Chester, NY 10573-4930 (45 British pounds).
70. Konvalinka, I., & Roepstorff, A. (2012). The two-brain approach: how can mutually interacting brains teach us something about social interaction?. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 215.
71. Stephens, G. J., Silbert, L. J., & Hasson, U. (2010). Speaker–listener neural coupling underlies successful communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(32), 14425-14430.