



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
PADOVA**

**Dipartimento di Psicologia generale (DPG)
Dipartimento di Psicologia dello sviluppo e della socializzazione
(DPSS)**

Corso di laurea in Scienze psicologiche cognitive e psicobiologiche

Elaborato finale

Basi neurobiologiche delle lingue dei segni

Neurobiological bases of sign languages

Relatrice
Prof. Francesca Peressotti

Laureando: Strappazon Fabio
Matricola: 1222025

Anno Accademico 2021/2022

Basi neurobiologiche delle lingue dei segni

Indice:

1) Introduzione

- 1.1) Lallazione
- 1.2) Parametri
- 1.3) Lateralizzazione
- 1.4) Monitoraggio
- 1.5) Espressività

2) Produzione

- 2.1) Quali sono?
- 2.2) Che funzione svolgono?

3) Comprensione

- 3.1) Quali sono?
- 3.2) Che funzione svolgono?

- 4) Segni e gesti
- 5) ERPs
- 6) Riorganizzazione cross-modale
- 7) Conclusioni
- 8) Ringraziamenti

1) Introduzione:

La seguente analisi si pone l'obiettivo di comparare l'esperienza linguistica dei segnanti con quella dei parlanti da un punto di vista neurobiologico e neuropsicologico. Dopo un'iniziale presentazione delle principali caratteristiche riguardo la lingua dei segni, finalizzate ad una migliore comprensione degli argomenti successivi, saranno spiegate le principali somiglianze e differenze tra segnanti e parlanti sia nella produzione linguistica che nella comprensione; verranno inoltre presentate delle interessanti rilevazioni neurofisiologiche riguardo gli ERPs coinvolti nell'elaborazione linguistica dei segni e degli studi neuropsicologici atti ad indagare una doppia dissociazione tra segni e gesti non linguistici in individui sordi. Si noti che il presente lavoro si concentrerà sulle modificazioni strutturali legate all'acquisizione e all'uso di una lingua dei segni, cercando di mantenerle ben distinte da quelle legate alla deprivazione sensoriale.

1.1) Lallazione:

La biologica equipotenzialità tra linguaggio parlato e segnato si manifesta a partire già attorno ai 7-8 mesi quando si verifica il fenomeno della lallazione. In questa fase il neonato udente esposto alla lingua parlata inizia a produrre suoni simili a quelli propri della lingua. Tali elementi protolinguistici risultano essere caratterizzati da una caratteristica organizzazione sillabica, assenza di significato associato ed un uso di suoni presenti nel corrispondente contesto linguistico; tale fase precede quella delle prime parole e si sovrappone parzialmente con essa (Guasti, 2007).

Per molto tempo si è pensato che la lallazione fosse una fase esclusiva del linguaggio parlato, ma successivamente si è scoperto che tale fase si verifica anche negli individui sordi esposti alla lingua dei segni (Petitto & Marentette, 1991).

1.2) Parametri:

La lingua dei segni è una lingua a tutti gli effetti, con la propria grammatica (su cui non ci addentreremo) e inoltre, come per le lingue parlate, varia in base alle zone geografiche dove viene usata: la lingua dei segni britannica (BSL) è diverso dalla lingua dei segni italiana (LIS). Analogamente alle lingue parlate anche le lingue dei segni si compongono di unità fonologiche che prese singolarmente non hanno significato ma che unite in varie combinazioni ci restituiscono degli oggetti linguistici dotati di senso.

La fonologia dei segni si basa principalmente su 4 parametri: forma della mano, posizione rispetto al corpo, movimento e orientamento. Una variazione in uno di questi parametri è

sufficiente a cambiare il significato del segno (Figura 1), analogamente a quanto nelle lingue parlate si otterrebbe modificando “gatto” in “patto” (Kemmerer, 2015).



Figura 1: *Un esempio tratto dalla lingua dei segni israeliana (ISL) di come la posizione del segno rispetto al corpo, a parità degli altri parametri (configurazione della mano, movimento e orientamento, distingue tra la parola “salute” e la parola “curiosità”).*

Fonte: Kemmerer (2015).

1.3) Lateralizzazione:

Un aspetto centrale nella comprensione delle basi biologiche di una funzione cognitiva è quello della lateralizzazione: quale emisfero cerebrale è predisposto maggiormente all'elaborazione di un determinato processo?

Per quanto concerne la lingua dei segni, la prima risposta a tale domanda arriva da uno studio condotto mediante inattivazione farmacologica: il Test di Wada (Damasio, Bellugi, Damasio, Poizner, & Gilder, 1986). Ad un paziente epilettico udente bilingue inglese e lingua dei segni americana (ASL) fu somministrato un sedativo ad azione rapida nell'arteria carotide sinistra, inattivando temporaneamente l'emisfero ipsilaterale; il paziente mostrava afasia globale (in produzione e in comprensione, in quanto inattivate sia l'Area di Broca che l'Area di Wernicke) sia per l'inglese che per l'ASL, con un periodo di recupero maggiore per quanto riguarda l'ASL. Inoltre, dopo l'asportazione di alcune aree del lobo temporale destro, il paziente non ha riportato conseguenze significative nella comprensione o produzione linguistica in nessuna delle due lingue (sebbene si sia evidenziato un ritardo nella lingua dei segni durante il recupero dalla paralisi indotta dal barbiturico). Ciò ha portato i ricercatori a considerare l'emisfero sinistro il principale responsabile dell'elaborazione del linguaggio, indipendentemente dalla modalità linguistica.

Studi successivi hanno confermato la lateralizzazione sinistra nelle aree perisilviane durante l'elaborazione della lingua dei segni (per una rassegna si rimanda a Campbell, MacSweeney & Waters, 2007). L'attivazione dell'emisfero sinistro si è inoltre dimostrata essere indipendente dall'effettore con cui i segni sono prodotti - mano destra dominante vs mano sinistra non dominante - (Corina, San Jose-Robertson, Guillemin, High e Braun, 2003), dall'iconicità dei segni - cioè quanto il segno rifletta il proprio referente - (Emmorey et al., 2004) e dalla modalità con cui il linguaggio viene elaborato - parlato vs scritto vs segni¹- (Liu, Yan, Li, Gao, & Ding, 2020).

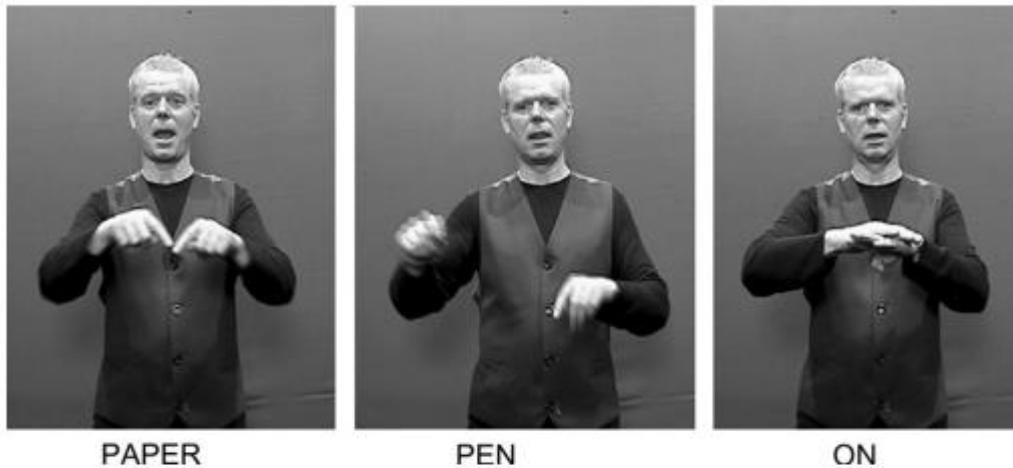
E l'emisfero destro? Il ruolo dell'emisfero destro nella lingua dei segni è ancora oggi molto discusso. Sembra essere coinvolto nella produzione dei cosiddetti classificatori, ovvero dei segni caratterizzati da una particolare iconicità che non hanno una corrispondenza nel linguaggio parlato e che veicolano informazioni classificatorie e descrittive di oggetti (classe di oggetti, forma dell'oggetto, informazioni spaziali e topografiche).

Per comprendere meglio la natura dei classificatori prendiamo in considerazione la frase "La penna è sul foglio" (Figura 2) rappresentata in BSL: nella prima riga possiamo vedere come la frase sia rappresentata da un punto di vista preposizionale (non fa riferimento quindi a relazioni di tipo topografico) focalizzandosi sul segno "sul", mentre nella seconda riga possiamo vedere come la stessa frase sia stata rappresentata mediante l'utilizzo di un classificatore per esprimere la relazione spaziale di sovrapposizione tra la penna e il foglio

¹ I dati in questo caso sono stati ottenuti confrontando bilingui bimodali - parlanti cinese e segnanti lingua dei segni cinese (CSL) - e monolingui cinesi senza alcuna conoscenza della CSL.

di carta.

A.



B.

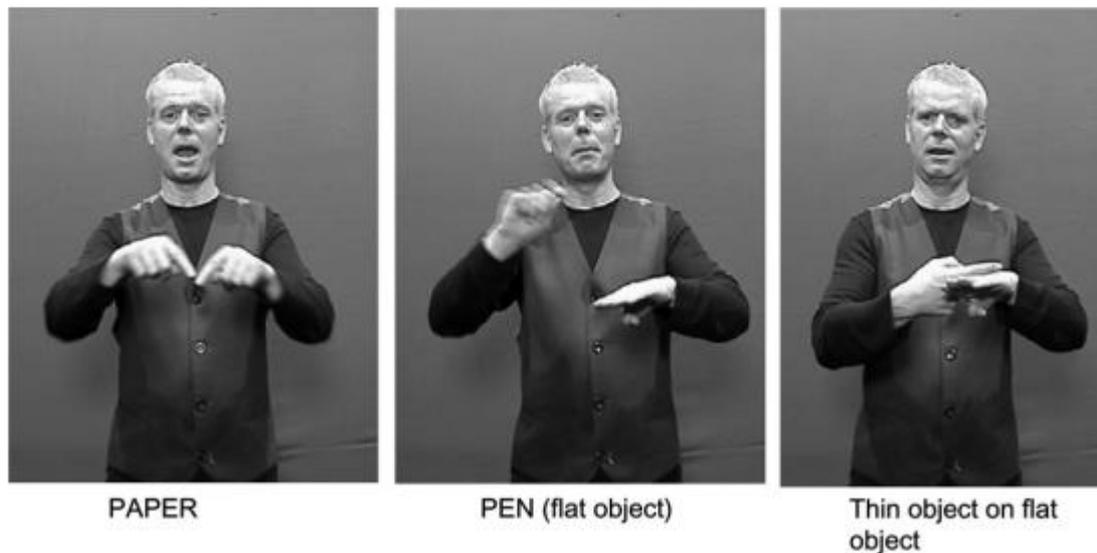


Figura 2: La stessa frase (“La penna è sul foglio”) è stata rappresentata in maniera differente: nella prima riga si può osservare una rappresentazione preposizionale, mentre nella seconda si può osservare l’utilizzo dei classificatori per esprimere la relazione spaziale tra “penna” e “foglio”. È opportuno specificare tuttavia che in entrambe le versioni sia “penna” che “foglio” sono rappresentate mediante classificatori, uno per rappresentare gli oggetti bidimensionali (nel caso di “foglio”) e l’altro nel rappresentare oggetti sottili e lunghi (nel caso di “penna”).

Fonte: Atkinson, Marshall, Woll, & Thacker (2005).

Essendo i classificatori eseguiti sulla base di informazioni visuo-spaziali e relazioni tra oggetti, rendono necessaria una trasformazione visuo-motoria della scena di riferimento,

la creazione di uno spazio le cui coordinate sono centrate sul corpo e un monitoraggio on-line dei movimenti.

Hickok, Pickell, Klima, & Bellugi (2009) hanno mostrato una dissociazione tra forme lessicali e classificatori in pazienti con lesioni nell'emisfero destro e sinistro causate da ictus ischemici, emorragici e tumori cerebrali (Figura 3). Tra questi pazienti, quelli con lesioni nell'emisfero destro sono in grado di produrre un maggior numero di segni lessicali rispetto a pazienti con lesioni nell'emisfero sinistro. Non si osservano differenze invece nel numero di classificatori che i due gruppi di pazienti sono in grado di produrre. Il risultato più interessante è però quello relativo al tasso di errori commessi dai pazienti con lesioni all'emisfero destro nei confronti della produzione dei classificatori che risulta molto più alto rispetto a quello dei pazienti con lesioni sinistre. Questo risultato suggerisce dunque che l'elaborazione dei classificatori si basi su circuiti neurali che coinvolgono soprattutto aree dell'emisfero destro.

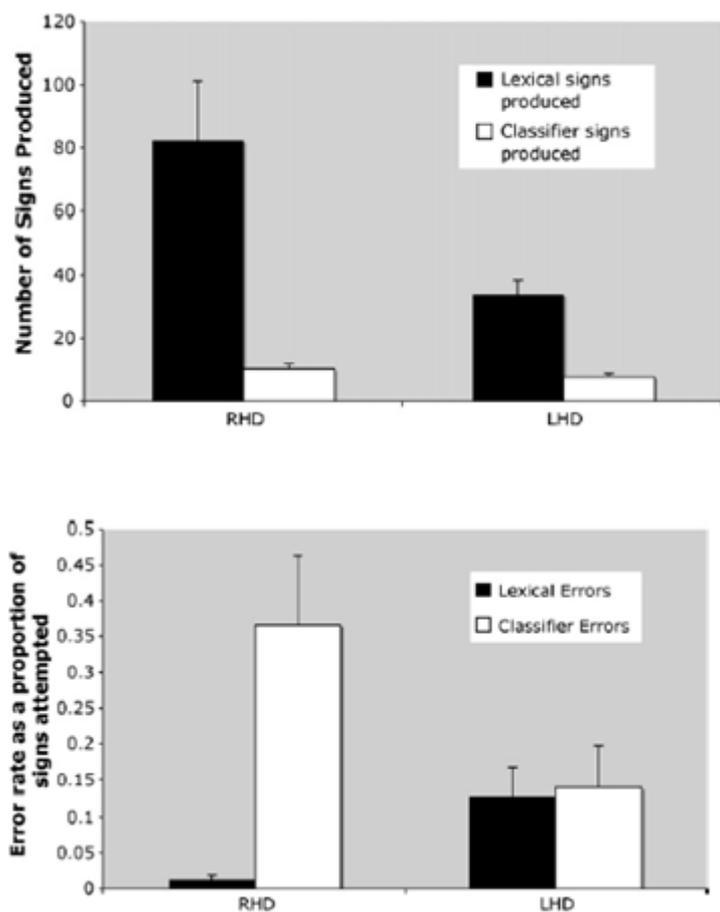


Figura 3: *In alto il confronto tra numero di segni (lessicali e classificatori) da pazienti con lesioni destre (RHD) e sinistre (LHD). In basso la media di errori nella produzione di segni (lessicali e classificatori) nello stesso tipo di pazienti.*

Fonte: Hickok et al. (2009).

Questa conclusione è stata confermata in studi successivi di neuroimmagine. Emmorey, McCullough, Mehta, Ponto, & Grabowski (2013), utilizzando la PET, hanno mostrato che la produzione di classificatori (specialmente quelli veicolanti informazioni su posizione e movimento) è associata ad una maggiore attivazione bilaterale del Lobulo Parietale Superiore, e della Corteccia Premotoria dell'emisfero destro rispetto a segni di tipo lessicale (Figura 4).

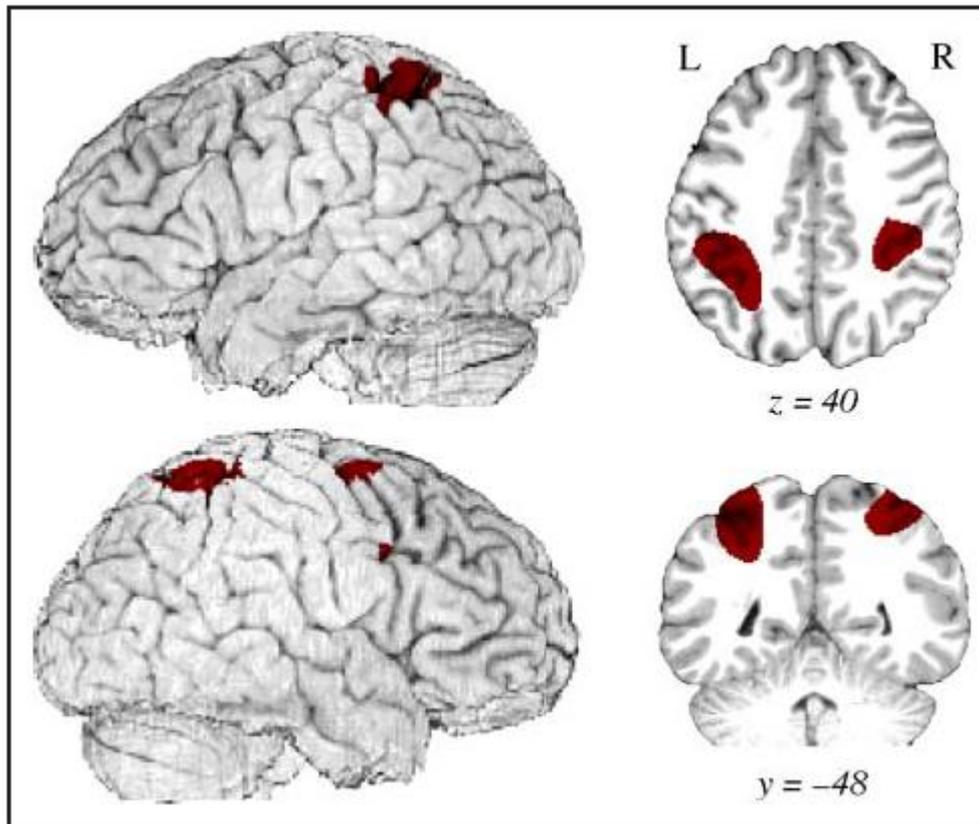


Figura 4: *Un contrasto ottenuto tramite PET che mette in evidenza le aree maggiormente attivate dai classificatori rispetto ai segni lessicali.*

Fonte: Emmorey et al. (2013).

1.4) Monitoraggio:

Un aspetto fondamentale del linguaggio (sia esso parlato o segnato) è la capacità da parte di chi lo produce di cogliere eventuali errori durante questo processo e rimediare ad essi. Tale processo di monitoraggio si basa almeno in parte sulla capacità del cervello di predire le conseguenze propriocettive e sensoriali della produzione linguistica. Da questo punto di vista vi sono quindi delle differenze tra le lingue dei segni e quelle parlate.

Mentre nelle lingue parlate il monitoraggio sensoriale avviene per via acustica (posso correggere quello che dico basandomi sulle informazioni che sento), per quanto riguarda le lingue dei segni si può ipotizzare che tale monitoraggio sia di natura visiva (posso correggere il segno che produco vedendo come lo sto facendo). Ma è veramente così? Emmorey, Bosworth, & Kraljic (2009a) hanno provato a rispondere a tale domanda conducendo due esperimenti. Nel primo sono state manipolate due variabili: l'orientamento della mano in funzione del punto di vista - come sarebbe vista se eseguita da sé stessi vs un altro interlocutore - e la posizione del segno nel campo visivo - centrale vs periferica - (Figura 5).

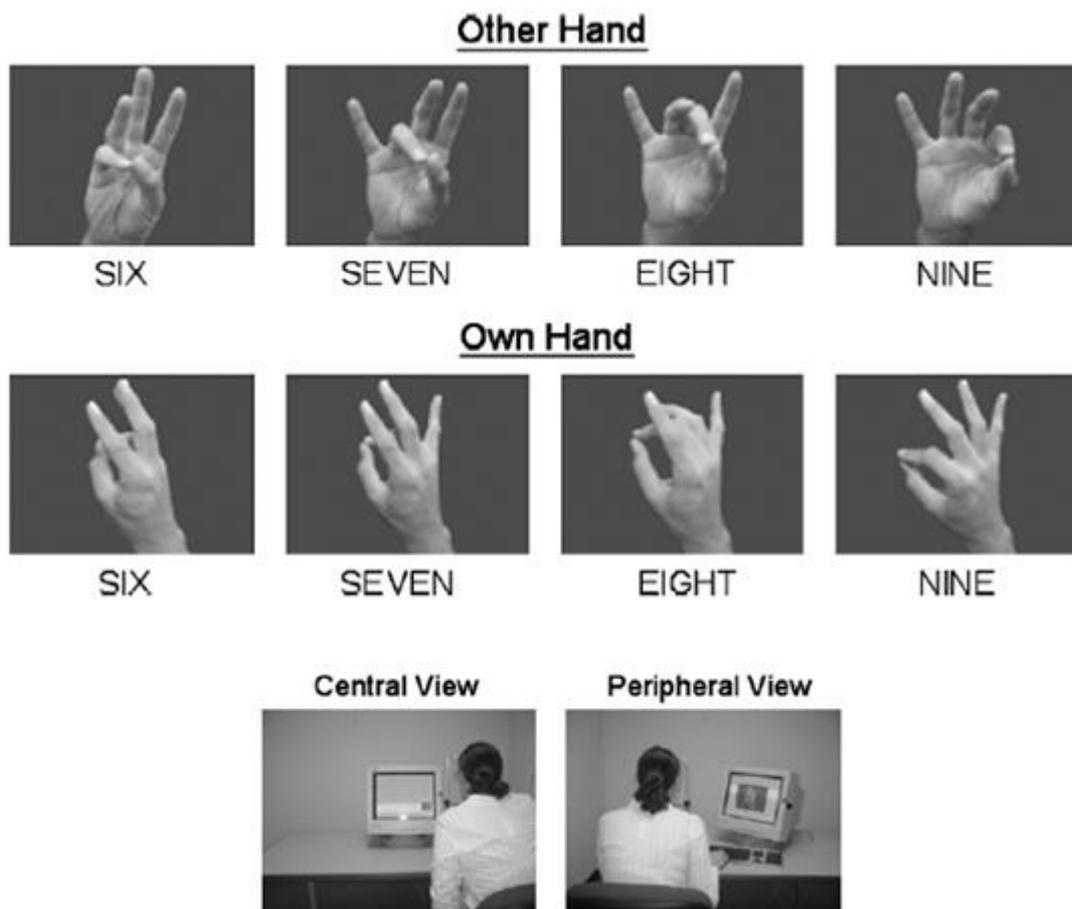


Figura 5: *Le condizioni del primo esperimento, rispettivamente l'orientamento della mano (in alto) e la posizione nel campo visivo (in basso). Per quanto riguarda il campo visivo, la condizione "centrale" richiedeva al partecipante di fissare un punto sulla parte destra del computer, mentre in quella "periferica" il computer è stato inclinato di 45° gradi dal campo visivo del partecipante, il quale doveva inoltre fissare un punto centrale davanti a lui (non chiaramente visibile nell'immagine).*

Fonte: Emmorey et al. (2009a).

Ai 13 partecipanti (sordi e segnanti ASL) è stata mostrata una sequenza di segni corrispondenti ad alcuni numeri (“sei”, “sette”, “otto”, “nove”) nelle condizioni precedentemente descritte. Il loro compito consisteva nel premere un tasto corrispondente al numero che vedevano rappresentato, la posizione dei tasti combaciava con l’ordine delle dita (“nove” - Indice, “otto” - “Medio”, “sette” - Anulare, “sei” - Mignolo). I movimenti della testa sono stati stabilizzati tramite una mentoniera mentre una videocamera si assicurava che i movimenti oculari non cadessero fuori dal punto di fissazione.

Sono stati registrati sia i tempi di reazione che l’accuratezza; in questa sede ci concentreremo sull’ultimo risultato. Se il monitoraggio si basasse principalmente su indizi visivi, le prestazioni in accuratezza quando la mano è orientata in modo tale da rappresentare la propria e quando il segno viene rappresentato a livello periferico (quando si produce un segno, spesso le mani tendono a cadere fuori dal campo visivo) dovrebbero essere migliori rispetto alle altre condizioni, dove invece la visione dei segni prodotti dall’interlocutore e il campo visivo centrale sono necessari per la comprensione in un normale contesto comunicativo. Ciononostante si è potuto constatare l’opposto (Figura 6A e 6B):

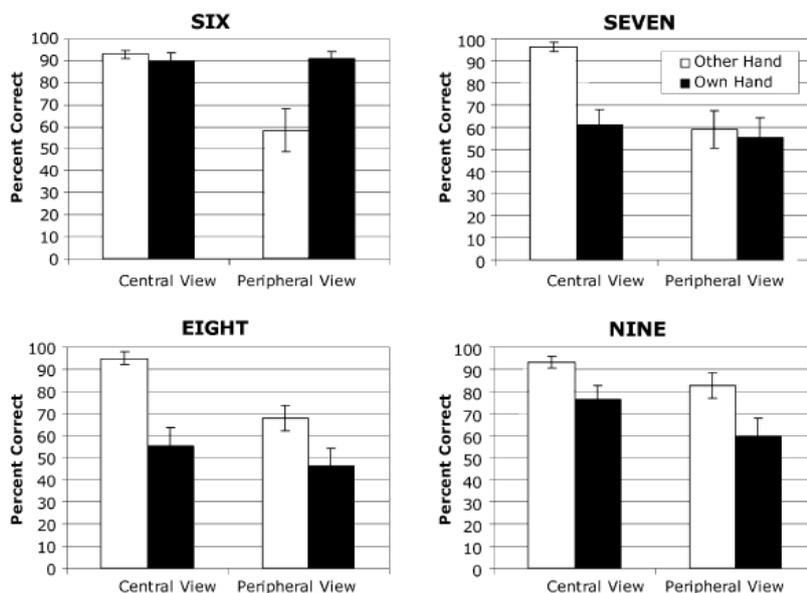


Figura 6A: Le prestazioni relative all’accuratezza nel riportare i numeri rappresentati dai segni, si può osservare un netto vantaggio per l’orientamento rappresentante la mano dell’interlocutore e per il campo visivo centrale (ad eccezione di “sei” che è stato riconosciuto correttamente nella maggior parte dei casi; si ritiene ciò sia dovuto al fatto che

il segno presenta dei particolari “cues” - il mignolo è chiuso - che lo rendono saliente e dunque maggiormente riconoscibile rispetto agli altri).

Fonte: Emmorey et al. (2009a).

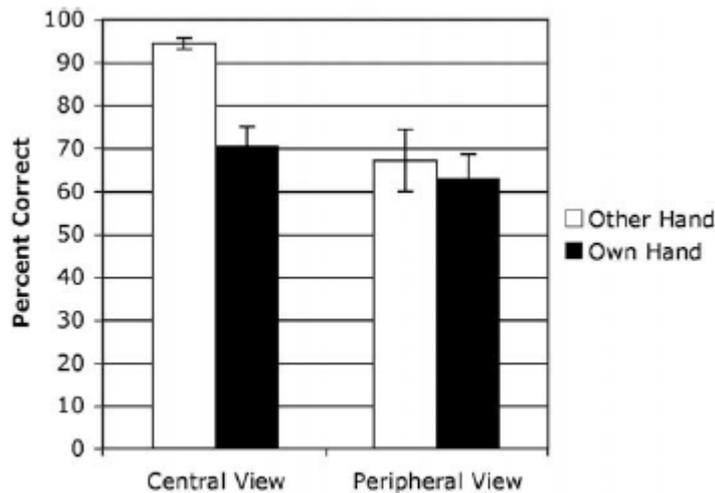


Figura 6B: Una rappresentazione grafica che riassume complessivamente le prestazioni relative all'accuratezza ottenute nel primo esperimento.

Fonte: Emmorey et al. (2009a).

I risultati mostrano come la prestazione in accuratezza nelle condizioni corrispondenti a come i segni vengono prodotti dall'interlocutore - ovvero orientamento rappresentante la propria mano e visione periferica - è piuttosto scarsa (sono infatti le condizioni dove si sono ottenute le prestazioni peggiori), da ciò possiamo inferire che il monitoraggio nella produzione non fa uso prevalente di indizi di tipo visivo, dobbiamo pertanto ipotizzare indizi di altra natura.

Nel secondo esperimento si sono cercate prove ulteriori dell'eventuale ruolo degli indizi visivi nel monitoraggio linguistico. A 46 partecipanti (28 sordi segnanti ASL, 18 udenti non segnanti americani) è stato chiesto di prestare attenzione ad un filmato in cui viene mostrata una persona che sta eseguendo un segno nella lingua dei segni russa (RSL), lingua caratterizzata da segni e parametri non presenti nella ASL.

Terminata la visione del filmato è stato chiesto alla persona di indossare degli occhiali con tre tipi di lenti diverse - lenti trasparenti vs lenti offuscate vs lenti annerite -. Una volta indossati gli occhiali, ai partecipanti è stato chiesto di ripetere il segno appena visto nel filmato (comprese le componenti legate ai movimenti della bocca o “mouthings”, le quali non potendo essere viste direttamente non dovrebbero subire le conseguenze legate alle condizioni di limitazione visiva). La visione del filmato di ciascun segno e la successiva

fase di utilizzo degli occhiali è stata ripetuta per 5 volte.² Al termine delle prove è stato chiesto ad ogni partecipante di compilare un questionario in cui si chiedeva se avesse notato delle differenze nella produzione dei segni durante l'utilizzo di lenti offuscate o annerite. Poiché questo tipo di lenti limitano la possibilità di ricorrere a indizi di natura visiva, si è ipotizzato che in queste condizioni la capacità di riprodurre il segno dovrebbe diminuire. I risultati non confermano questa ipotesi. Come mostrato nella Figura 7 i segnanti non mostrano differenze significative in funzione del tipo di lente, gli indizi visivi non sembrano avere un ruolo significativo nel monitoraggio. Negli udenti non segnanti invece si osserva una prestazione peggiore nella condizione delle lenti trasparenti.

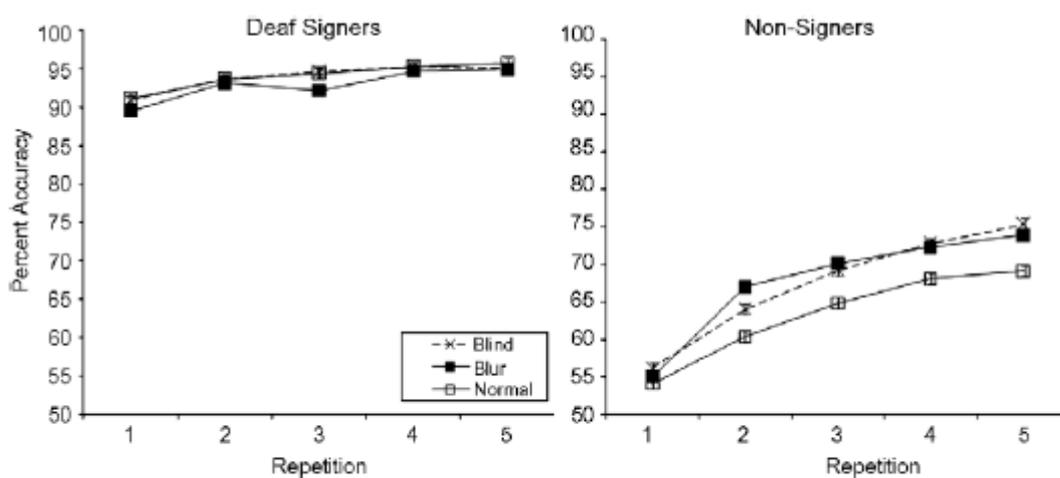


Figura 7: Le prestazioni dei segnanti e degli udenti non segnanti nelle rispettive condizioni (lenti trasparenti vs lenti offuscate vs lenti annerite) nelle successive fasi di ripetizione. Da notare come non si osservino differenze significative da parte dei segnanti, un indizio importante per chiarire la natura del monitoraggio linguistico in questo tipo di partecipanti. Fonte: Emmorey et al. (2009a).

È inoltre interessante notare come al termine dell'esperimento alcuni udenti non segnanti abbiano riportato di aver esperito una maggior facilità nell'esecuzione del compito quando indossavano lenti annerite ("Potevo produrre i segni senza interferenze visive", "Riuscivo a visualizzare meglio ciò che stavo facendo senza distrazioni") a indicare come la mancanza di informazione visiva possa avere addirittura un effetto di facilitazione nell'apprendimento di una lingua dei segni.

² Lo stesso segno è stato ripetuto 5 volte ma la condizione delle lenti variava in maniera casuale tra i partecipanti: il segno poteva essere eseguito dal partecipante nelle varie combinazioni (es. offuscato, annerito, trasparente, annerito, annerito).

Cosa possiamo concludere a proposito del monitoraggio sulla base di questi esperimenti? Per quanto riguarda la modalità con cui il linguaggio viene monitorato dai segnanti non siamo ad oggi giunti ad una risposta definitiva, questi esperimenti ci hanno però aiutato a capire quantomeno che la modalità visiva non è il sentiero di indagine principale. L'ipotesi maggiormente condivisa al giorno d'oggi è che il monitoraggio sia di tipo somatosensoriale, nello specifico propriocettivo e cinestetico. A supporto di ciò, durante la produzione dei segni si può osservare l'attivazione del Lobulo Parietale Superiore sinistro, un'area che si suppone sia funzionale a questo tipo di monitoraggio (Emmorey et al., 2007). Infine, Corina et al. (2003), in uno studio hanno registrato un'attivazione maggiore di tale area quando i partecipanti destrimani producevano i segni con la mano sinistra non dominante, necessitando quindi di un maggior controllo e monitoraggio.

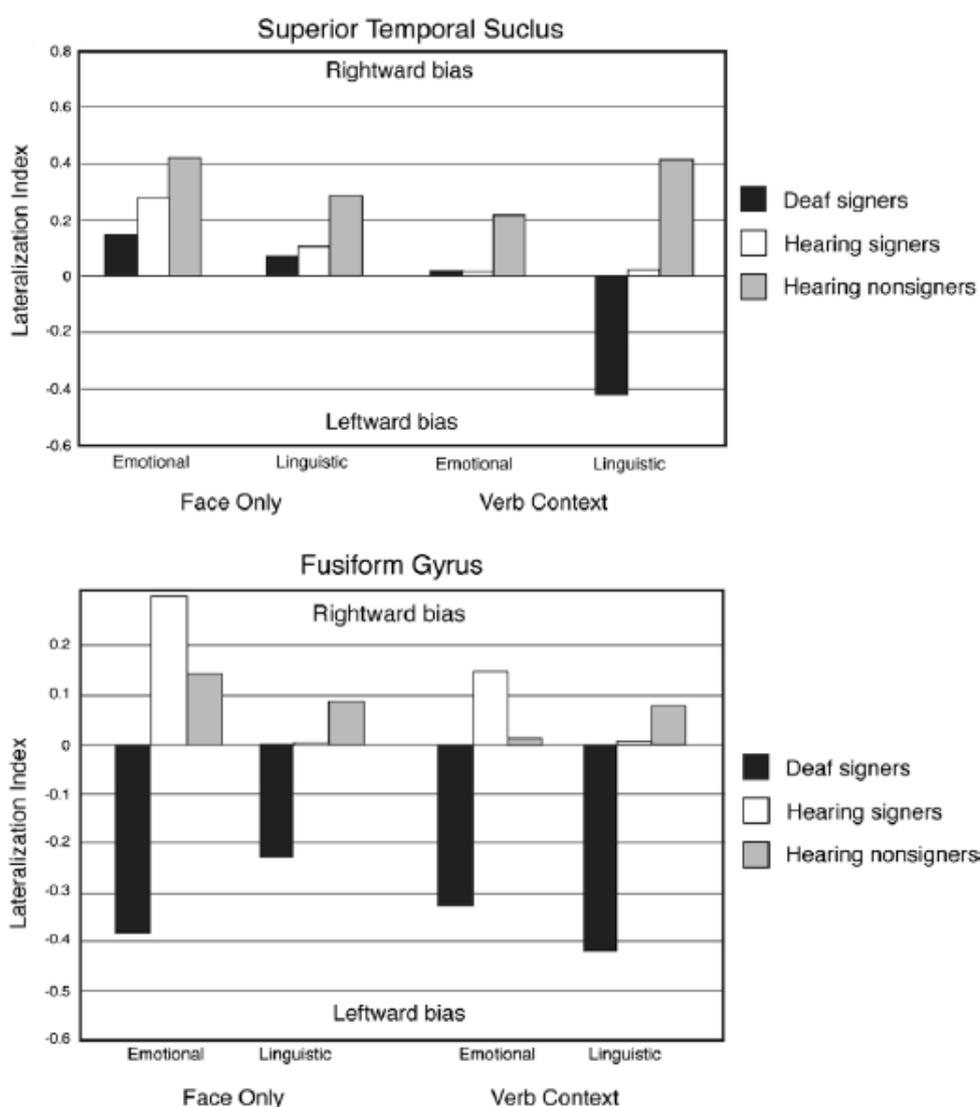
1.5) Espressività:

Sia nel linguaggio parlato che nella lingua dei segni, il ruolo delle espressioni facciali sembra rivestire una grande importanza dal punto di vista comunicativo, seppur in modi differenti. Esistono espressioni che da sole sono sufficienti a veicolare un significato (ad esempio "alzare le sopracciglia" per indicare interesse); alcune sono universali, altre sono influenzate dalla cultura, ma ciò che distingue le espressioni "classiche" da quelle utilizzate dai segnanti è che le ultime talvolta risultano essere funzionali nel veicolare precise connotazioni linguistiche. Nell'ASL diverse configurazioni della bocca possono, per esempio, indicare una varietà di significati avverbiali se eseguite in contemporanea ad un verbo. Nonostante i dati a riguardo siano pochi, sembra essere presente un'espressività funzionale in tutti e tre i principali livelli linguistici (fonologia, morfologia e sintassi). Emmorey & McCullough (2009b) hanno dimostrato come vi sia una chiara lateralizzazione sinistra nell'elaborazione di tali espressioni facciali con connotazioni linguistiche da parte dei segnanti sordi in due aree specifiche: il Solco Temporale Superiore (negli udenti non segnanti quest'area è impiegata nell'elaborazione di informazioni acustiche, movimenti e indizi sociali) e il Giro Fusiforme (negli udenti non segnanti quest'area è impiegata nel riconoscimento dei volti e nella percezione di emozioni derivanti dalle espressioni facciali). Queste aree si attiverebbero diversamente nei segnanti durante la presentazione di espressioni linguistiche (tipiche delle lingue dei segni) rispetto alle espressioni emotive o alla semplice presentazione di un volto, evidenziando nel primo caso una lateralizzazione sinistra, che come constatato in precedenza è tipica dell'elaborazione linguistica.

Tale lateralizzazione è più marcata nei segnanti sordi rispetto ai bilingui bimodali non sordi³ (Figura 8), i quali non elaborano solamente le informazioni linguistiche visive (i segni) ma anche quelle prosodiche della lingua parlata.

I sordi, nella comprensione dei segni, fanno maggiore affidamento ad indizi visivi; infatti si servono di tali informazioni nella lettura del labiale (durante la comprensione del linguaggio parlato) e soprattutto nell'identificazione di quelle particolari forme linguistiche espresse tramite specifiche configurazioni della bocca accennate in precedenza.

Il ruolo fondamentale di queste aree nell'interpretazione dei "cues" facciali in contesti linguistici spiegherebbe quindi la maggior lateralizzazione sinistra da parte dei sordi.



³ Nei bilingui bimodali non sordi l'attivazione di queste aree in contesti linguistici tende ad essere infatti più bilaterale, differenziandosi anche dall'attivazione che avviene negli udenti monolingui non sordi: potremmo dire che si colloca in una "via di mezzo". Tuttavia, i risultati e le speculazioni riguardanti questa categoria di individui esulano dall'argomento principale di questa trattazione e pertanto non verranno approfonditi.

Figura 8: I risultati dello studio di Emmorey e McCullough indicano, nei sordi, una maggior lateralizzazione sinistra nel Solco Temporale Superiore e nel Giro Fusiforme quando le espressioni facciali veicolano significati linguistici (ovvero quando espresse in tali contesti).
Fonte: Emmorey & McCullough (2009b).

2) Produzione:

Nel seguente capitolo verranno discussi i circuiti neurali principalmente implicati nella produzione dei segni rispetto alle parole, con lo scopo di fare luce su aspetti comuni e differenze. Partendo da un'analisi più superficiale possiamo osservare delle differenze tra lingue dei segni e parlate a partire già dagli articolatori: se nelle prime essi sono chiaramente visibili (braccia e mani) e assumono significati diversi in base a dove vengono eseguiti (ad esempio vicino alla testa o davanti al petto), nelle seconde essi sono meno (o per nulla) visibili (lingua, labbra, velo e corde vocali). Ma ciò che ci interessa in questa rassegna è capire quali siano le somiglianze e le differenze a livello neurale tra le due modalità linguistiche. Risulta quindi opportuno fare una distinzione tra “aree amodali” coinvolte indipendentemente dalla modalità con cui un'espressione linguistica viene prodotta (segni o parlato) e “aree modali” dove la modalità risulta invece distintiva per quanto riguarda la loro attivazione.

2.1) Quali sono?

Per rispondere a questa domanda i risultati dello studio di Emmorey et al. (2007) ci vengono in aiuto. Lo studio ha visto la partecipazione di due diversi gruppi: il primo formato da 29 sordi segnanti ASL e il secondo formato da 64 udenti monolingui inglesi. Ogni partecipante è stato sottoposto ad un compito di denominazione di figure (animali, tools/utensili, oggetti di varie categorie) seguito da uno di controllo, ovvero indicare se la figura è capovolta o meno (premendo “up” in caso affermativo oppure “down” in caso negativo). I risultati ottenuti dalle registrazioni mediante PET relative alla condizione di controllo sono stati sottratti a quelli della condizione sperimentale di denominazione, al fine di ottenere unicamente l'attivazione legata alla produzione linguistica; in seguito le mappe ottenute, rispettivamente dai segnanti e dai monolingui, sono state confrontate per evidenziare analogie nell'attivazione (riga A. in Figura 9) indicanti amodalità e differenze (riga B. in Figura 9) indicanti invece una situazione modale.

Per un elenco dettagliato delle aree ho realizzato una tabella riassuntiva a fine paragrafo (Tabella 1).

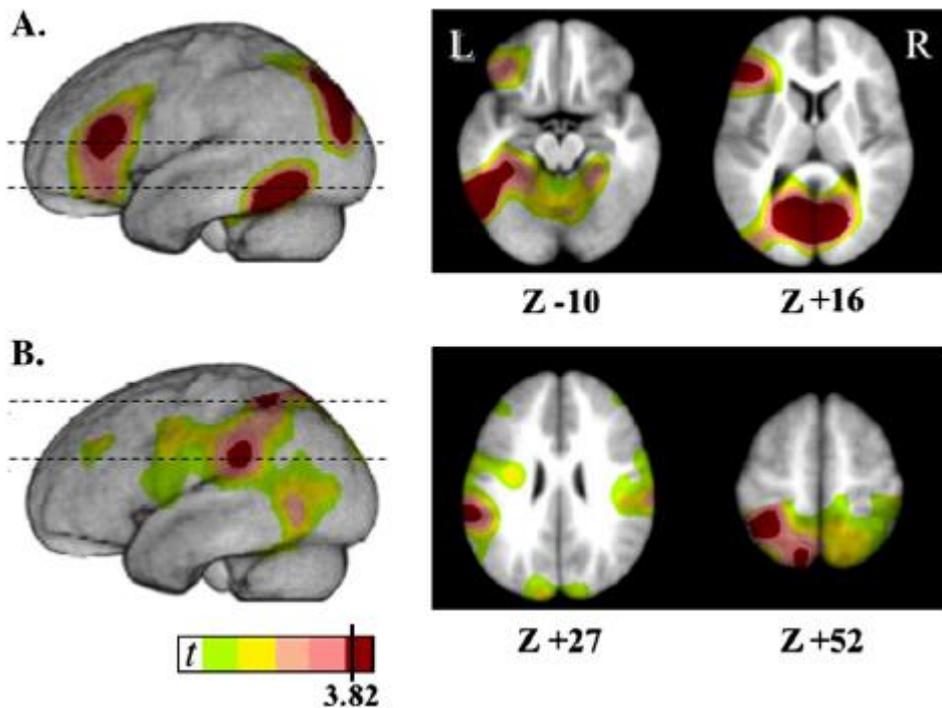


Figura 9: Nella riga A sono rappresentate le aree comunemente attivate nei segnanti ASL e negli udenti monolingui inglesi durante la produzione nelle rispettive modalità. Nella riga B invece sono mostrate le aree maggiormente coinvolte nella produzione dei segni rispetto al parlato. Non si sono osservate aree maggiormente attive nel parlato rispetto ai segni. I colori indicano il livello di significatività del test t (solamente le aree di colore rosso sono statisticamente significative). Le linee tratteggiate rappresentano invece i piani relativi alle sezioni illustrate a destra.

Fonte: Emmorey et al. (2007).

Tabella riassuntiva:

Aree amodali (segni = parlato):	Aree modali (segni > parlato):
Giro Frontale Inferiore sinistro o Area di Broca (BA 45).	Lobulo Parietale Superiore sinistro (BA 5,7).
Corteccia Temporale Medio/Inferiore sinistra.	Giro Sopramarginale sinistro (BA 40).

Cortecce Occipitali sinistre. ⁴	
--	--

Tabella 1: *In questa tabella ho elencato le aree evidenziate nel precedente studio. Non sono state rilevate aree maggiormente attive nella produzione di parole rispetto ai segni. Sono state riportate solamente le aree attive nell'emisfero sinistro; per quanto riguarda quelle dell'emisfero destro, come già accennato, l'attivazione si verifica in circostanze specifiche e il loro ruolo è tuttora molto discusso.*

2.2) Che funzione svolgono?

Per quanto riguarda le aree amodali, Emmorey et al. (2007) hanno suggerito che il Giro Frontale Inferiore sinistro sia selettivamente coinvolto nel recupero lessicale e in altre funzioni di natura fonologica, sintattica e semantica; la Corteccia Temporale Medio/Inferiore sinistra sarebbe invece coinvolta in processi concettuali prelessicali (nella parte Inferiore) e nella selezione del lemma (nella parte Mesiale) prima del recupero fonologico. Ciò che si è potuto osservare per le aree modali invece è che il Lobulo Parietale Superiore sinistro sembra risultare funzionale al monitoraggio propriocettivo relativo all'output motorio degli articolatori (già discusso nel precedente capitolo); il Giro Sopramarginale sinistro infine, è stato collegato alla pianificazione delle azioni di braccia, mani e più in generale all'integrazione di aspetti motori (configurazione delle mani) e topografici (dove vengono prodotti i segni) finalizzati alla codifica fonologica dei segni. Lesioni al Giro Sopramarginale sinistro causerebbero quindi deficit di natura fonologica, in cui i parametri del segno (prevalentemente forma della mano ma anche movimento e posizione del segno) non sono prodotti correttamente, per cui il significato del segno risulta cambiato oppure si ottiene un "non segno" (cioè un segno inesistente come parola, questo corrisponde nel parlato ad un errore del tipo "ravolo" al posto di "tavolo"). Un esempio di ciò che avviene nei segni è stato osservato da Corina et al. (1999) in uno studio di stimolazione corticale del Giro Sopramarginale sinistro su un singolo individuo, sordo ed epilettico, durante un intervento neurochirurgico (il paziente era sveglio). Il segnante invece di produrre il segno "FORBICE" con la classica configurazione della

⁴ Nello specifico, un'attivazione che va dalla Corteccia Mesiale sinistra fino alla Corteccia Occipito-Parietale Laterale sinistra, tuttavia quest'area sembra avere un ruolo nell'attenzione visiva richiesta dal compito di denominazione piuttosto che nella produzione linguistica.

mano “a V” adottava una configurazione che seppur inizialmente corretta si concludeva poi in maniera errata con una configurazione “a Y” (Figura 10).

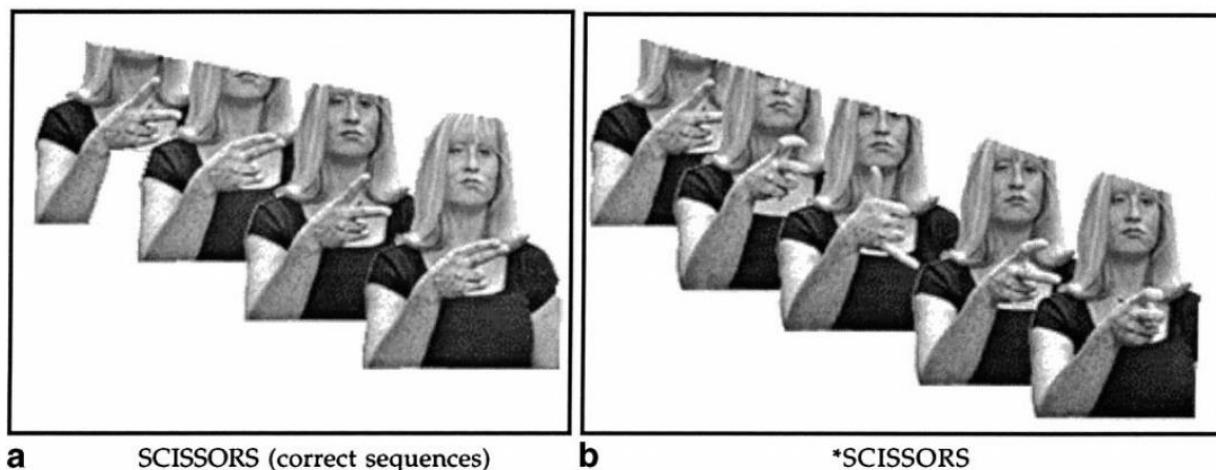


Figura 10: Un confronto tra la corretta sequenza del segno “FORBICE” in ASL (in alto a sinistra e in basso al centro) e ciò che viene invece prodotto durante la stimolazione del Giro Sopramarginale sinistro (in alto a destra e in basso a destra). È interessante notare come la sequenza inizi correttamente ma tenda a degenerare in seguito, producendo un segno totalmente diverso, evidenziando il ruolo fondamentale del Giro Sopramarginale nella codifica fonologica.

Fonte: Corina et al. (1999).

3) Comprensione:

Dopo aver esaminato gli aspetti principali legati alla produzione dei segni, una buona rassegna sul linguaggio non potrebbe essere considerata tale se non prendesse in considerazione anche l’altro aspetto fondamentale: la comprensione. Le domande che ci poniamo sono esattamente le stesse di prima: siamo interessanti anche in questo caso a capire quali sono le aree che si attivano e quale funzione svolgono.

1.1) Quali sono?

Analogamente alla produzione, anche in questo caso vi è una chiara lateralizzazione a sinistra.

Tra i principali studi che hanno cercato di indagare analogie e differenze nell'attivazione durante la comprensione di segni e parole, quello di MacSweeney et al. (2004) ha osservato un'attivazione delle seguenti aree: Solco e Giro Temporale Superiore Posteriore sinistro, Giro Sopramarginale e una parte posteriore dell'Area di Broca. Ma come sono giunti a queste osservazioni?

Ad un gruppo di partecipanti (9 sordi segnanti BSL, 9 bilingui bimodali segnanti BSL e 8 udenti monolingui) furono presentate due condizioni: una sperimentale e una di controllo. La condizione sperimentale consisteva in due fasi distinte:

- Nella prima fase venivano presentate 5 frasi nella lingua dei segni britannica (condizione "BSL") e i partecipanti dovevano indicare, premendo un pulsante, quale tra queste non aveva senso o era considerata anomala nel caso degli udenti monolingui, i quali avrebbero dovuto tirare a indovinare.
- Nella seconda invece era presentata una serie di segni del "Tic Tac", un codice manuale utilizzato dagli allibratori nelle corse dei cavalli per comunicare le scommesse e che è privo, a differenza della lingua dei segni, di struttura fonologica, morfologica e sintattica. Anche in questo caso veniva chiesto al partecipante (segnante o meno), pur non conoscendo il codice, di indicare, tirando a indovinare, quale sequenza non costituisse una frase di senso compiuto. Si noti che nel "Tic Tac" hanno senso solamente i gesti individuali e non è possibile comporre delle frasi.
- Nella condizione di controllo i partecipanti erano tenuti a osservare un quadrato cambiare colore e riportare, sempre premendo un pulsante, quando avveniva tale cambiamento.

Le registrazioni condotte mediante fMRI durante le condizioni appena descritte hanno mostrato i risultati precedentemente anticipati (Figura 11). In particolare, nella condizione "BSL" rispetto alla condizione "Tic Tac" si è osservata una maggiore attivazione nel Solco e nel Giro Temporale Superiore Posteriore sinistro (parte dell'Area di Wernicke) nei partecipanti sordi, più estesa inoltre rispetto quella osservata nei bilingui. Si è osservata inoltre una maggiore attivazione, solamente nei sordi, del Giro Sopramarginale sinistro (già incontrato nella produzione) e di parte posteriore dell'Area di Broca. Nei partecipanti udenti monolingui, sebbene si siano osservate alcune attivazioni nell'emisfero sinistro, non

sono state osservate differenze significative tra la condizione “BSL” e la condizione “Tic Tac” (il cui codice risultava per loro sconosciuto in entrambe le condizioni).

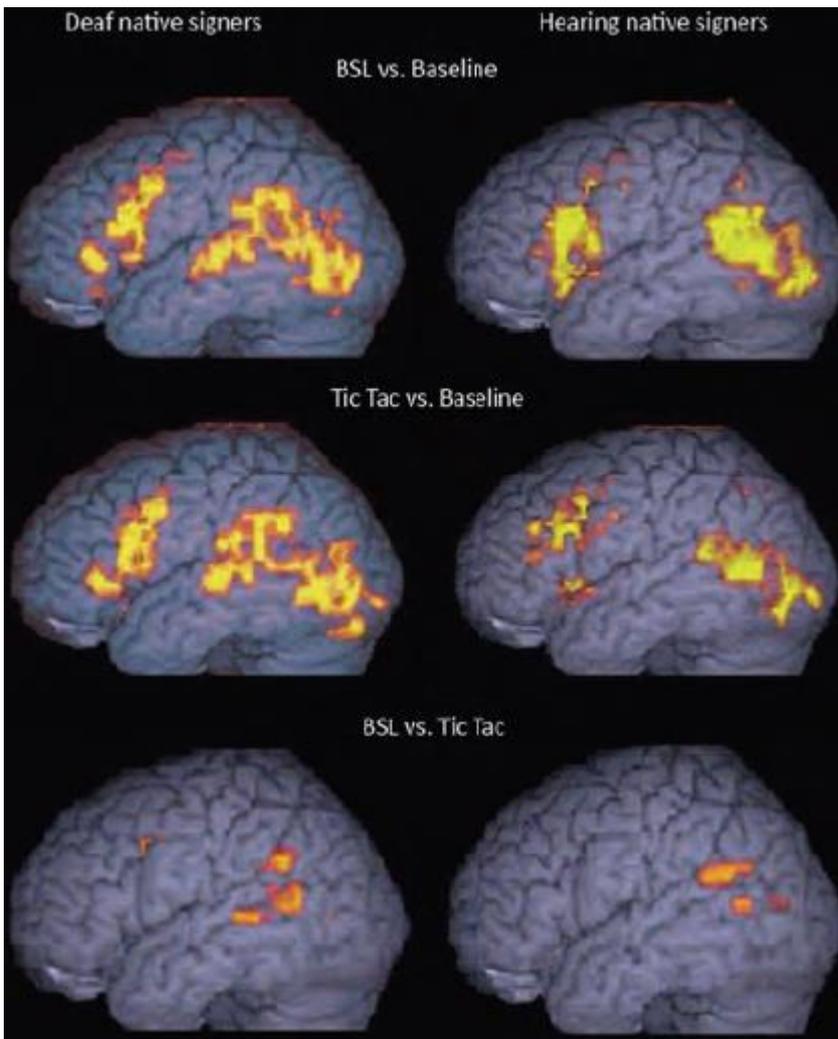


Figura 11: I principali risultati ottenuti da MacSweeney et al. (2004) tramite fMRI: nella colonna di sinistra si possono osservare quelli relativi ai sordi, mentre a destra quelli riguardanti i bilingui bimodali. I risultati ottenuti con i monolingui invece non sono riportati dal momento che sebbene nelle condizioni “BSL” e “Tic Tac” vs controllo si siano osservati risultati analoghi a quelli che i segnanti hanno ottenuto nel confronto “Tic Tac” vs controllo (attivazioni sparse nell'emisfero sinistro), nel confronto “BSL” vs “Tic Tac” non si sono osservate differenze di attivazione significative nelle aree linguistiche classiche, in quanto gli udenti monolingui non erano a conoscenza di nessuno dei due codici.

Fonte: MacSweeney et al. (2004).

Gli autori non hanno potuto effettuare una distinzione tra aree deputate maggiormente alla comprensione della lingua dei segni rispetto al parlato a causa della diversità degli input (visivi e acustici) a cui rispettivamente segnanti e parlanti sono esposti ogni giorno, tuttavia

tale diversità è stata presa in considerazione da Liu et al. (2020), i quali erano interessati a mettere in luce il sistema di aree deputate alla comprensione linguistica indipendentemente dalla modalità. A questo scopo, gli autori dello studio hanno mappato l'attivazione cerebrale mediante fMRI durante un compito di comprensione linguistica in un gruppo di 14 bilingui bimodali CSL e 15 udenti monolingui cinesi. L'esperimento consisteva in due 2 fasi distinte: una fase iniziale di presentazione di frasi in modalità parlata, segnata e scritta durante la quale veniva misurata l'attivazione cerebrale e un successivo test di riconoscimento di frasi su un foglio di carta, in cui i partecipanti dovevano indicare su una scala da 1 ("Decisamente nuova") a 4 ("Già vista") se le frasi mostrate erano già state presentate loro (in una delle tre precedenti modalità) o meno. La prima fase si è svolta nel seguente modo:

- Per la modalità acustica sono state presentate delle registrazioni audio contenenti delle frasi; la condizione di controllo consisteva in registrazioni audio riprodotte al contrario; durante l'ascolto ai partecipanti è stato chiesto inoltre di chiudere gli occhi per evitare interferenze provenienti da eventuali input visivi.
- Per la modalità segnata si sono presentati dei video di frasi prodotte da un segnante; la condizione di controllo consisteva in un video dello stesso segnante immobile.
- Per la modalità scritta sono state presentate delle frasi stampate dove i partecipanti dovevano leggere, osservare e comprendere le parole, senza fornire necessariamente una risposta esplicita; la condizione di controllo consisteva nella presentazione di sequenze costituite da pseudo-caratteri, cioè segni simili ai caratteri ma che non hanno nessun significato.

I risultati del test di riconoscimento (Figura 12) hanno mostrato una migliore prestazione da parte dei bilingui rispetto ai monolingui nelle frasi presentate in modalità segnata, mentre non si sono osservate differenze significative tra bilingui e monolingui per le frasi presentate in modalità scritta o acustica.

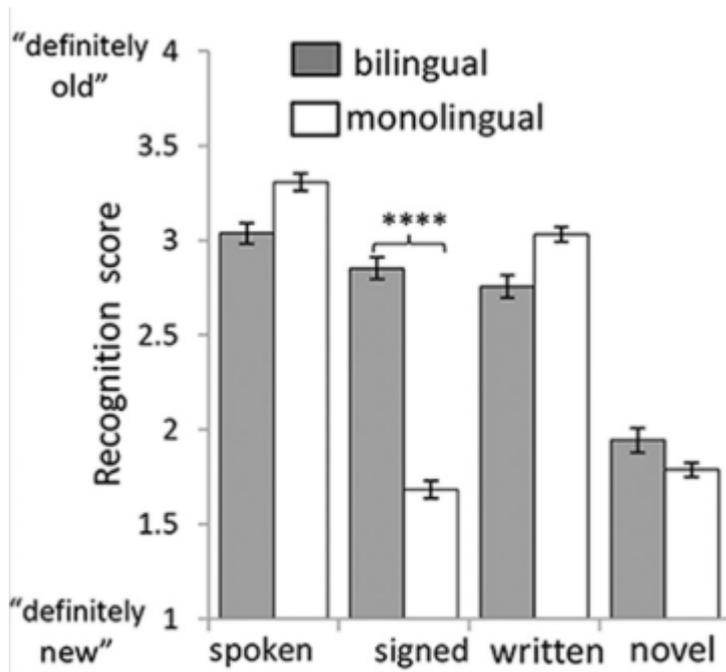


Figura 12: I punteggi relativi alla prova di riconoscimento, da notare come solamente nella modalità segnata vi sia una differenza statisticamente significativa (evidenziata dagli asterischi indicanti un p -value < 0.0005).

Fonte: Liu et al. (2020).

Questi risultati non ci sorprendono, in quanto, come potremmo aspettarci, i bilingui bimodali hanno performance migliori⁵ rispetto ai monolingui per quanto riguarda la comprensione dei segni essendo appunto bilingui, ma i risultati non si fermano qui. Risulta infatti interessante l'analisi che è stata condotta in seguito, ovvero tramite la cosiddetta *DPA-based fingerprinting* (DPA): un'analisi dell'attività corticale precedentemente registrata tramite fMRI nei singoli individui per ogni modalità. La logica alla base di questo tipo di analisi è che pattern di attività neurale simili sono presenti in ogni modalità (ricordiamoci che stiamo indagando la possibilità dell'esistenza di un network linguistico indipendente dalla modalità), pertanto i pattern di una di queste (per esempio quelli relativi alla modalità scritta) possono essere utilizzati per predire i pattern delle altre (per esempio quelli relativi alla modalità parlata).

Nel nostro caso le modalità sono 3 (parlata, segnata e scritta), quindi un pattern di attività corticale legato per esempio alla presentazione di una frase ascoltata tramite una

⁵ Risultati diversi nella modalità segnata avrebbero indicato qualche difetto nella progettazione dell'esperimento come la non indipendenza dei due gruppi.

registrazione dovrebbe essere un predittore dell'attività legata alla presentazione di una frase segnata o scritta. Se il circuito è effettivamente legato al linguaggio e non ad altri processi cognitivi ci aspetteremmo di poter predire l'attività neurale nei bilingui indipendentemente da quali modalità decideremo di confrontare (in quanto tutte e 3 risultano loro comprensibili), mentre nei monolingui non potremmo ottenere predizioni significative per le modalità confrontate con la modalità segnata (in quanto incomprensibile per loro).

La DPA prevede inoltre una maggior similarità di questi pattern all'interno dei singoli individui piuttosto che tra i gruppi. In sostanza questo tipo di analisi ci permette di effettuare previsioni cross-modali e individuo-specifiche.

I pattern comuni all'interno degli individui bilingui bimodali (Figura 13A) evidenziano un particolare circuito neurale (sempre lateralizzato a sinistra) costituito dalle seguenti aree: Solco e Giro Temporale Superiore (Area di Wernicke), Giro Frontale Inferiore (Area di Broca), Solco e Giro Precentrale, Area Motoria Supplementare.

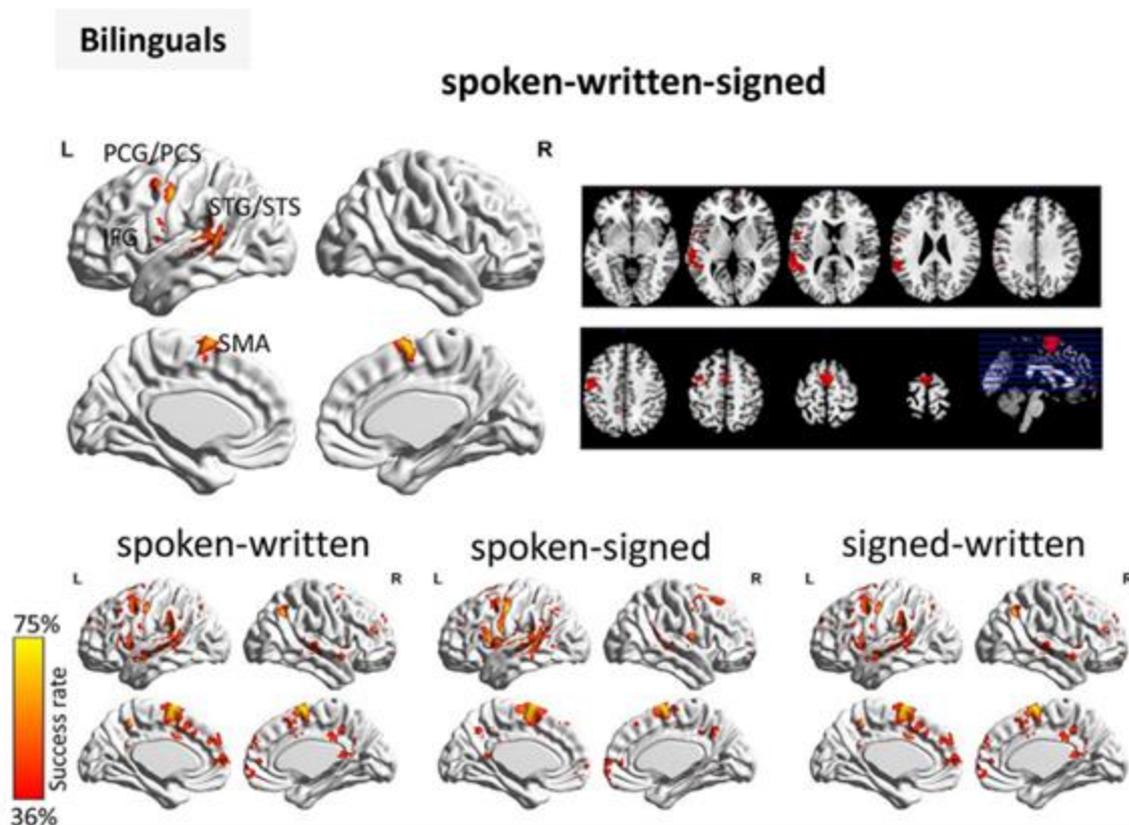


Figura 13A: I pattern di attività osservati negli individui bilingui bimodali. In alto possiamo osservare i pattern di attività comuni in tutte e tre le modalità. In basso i pattern di attività riscontrati confrontando tra loro le singole modalità.

Fonte: Liu et al. (2020).

Per i monolingui (Figura 13B) non si è potuto ricostruire un circuito in quanto non è stato possibile confrontare i pattern delle modalità parlata e scritta con quella segnata, come ipotizzato, ciò significa che il precedente network evidenziato nei bilingui è legato al linguaggio e non ad altre possibili funzioni cognitive come la memoria di lavoro o l'attenzione. Se non fosse legato al linguaggio si sarebbe osservata attività in specifiche aree ritenute classicamente impiegate in altri processi indipendentemente dai confronti tra modalità. Tuttavia, nel confronto tra modalità parlata e scritta si è potuto osservare l'attivazione del Giro Temporale Superiore, dell'Area Motoria Supplementare, di Giro e Solco Precentrale, tutte aree osservate anche nei bilingui, eliminando quindi l'eventualità di un effetto principale dovuto al bilinguismo ed evidenziando un comune circuito condiviso da entrambi i gruppi, legato in maniera specifica al linguaggio. È interessante notare che anche nel confronto tra modalità segnata e scritta nei monolingui si osservino alcune attivazioni con una significatività maggiore del caso (visibili ad esempio in "signed-written" nella Figura 13B): gli autori ipotizzano si tratti di un tentativo da parte dei monolingui di fornire comunque un'interpretazione linguistica. In alternativa, questa attività potrebbe rappresentare il coinvolgimento di processi cognitivi non linguistici (es. memoria di lavoro e controllo attentivo); per dare una risposta definitiva sono tuttavia necessari ulteriori studi.

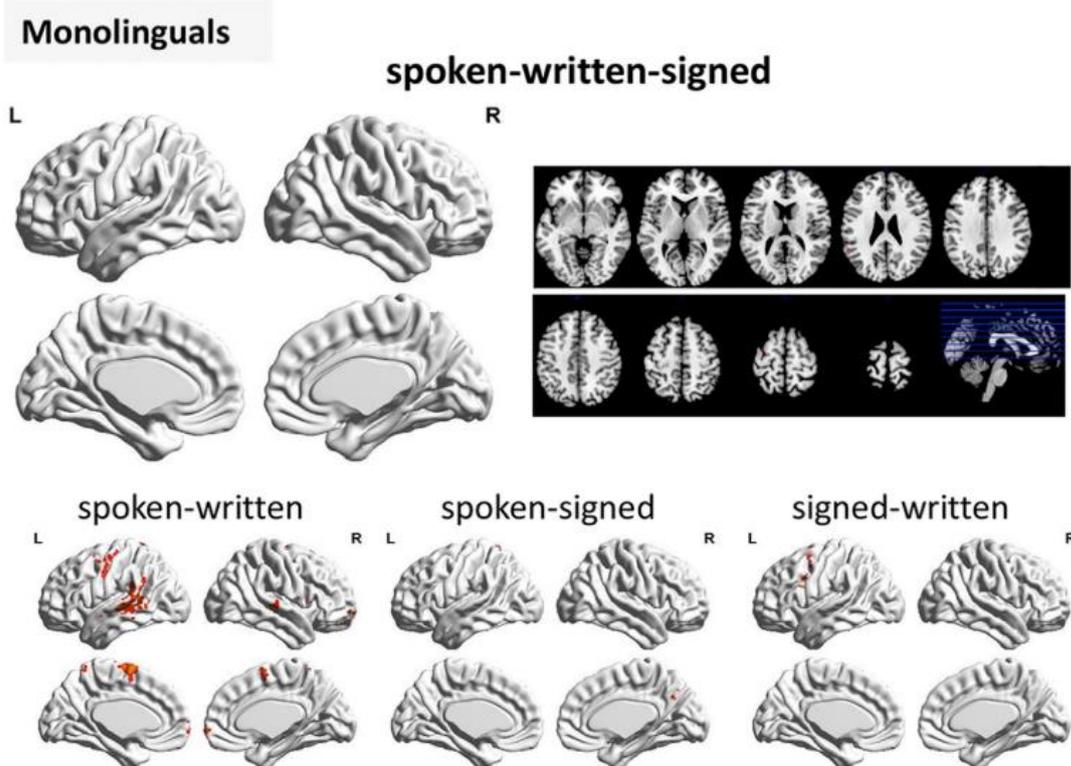


Figura 13B: *I pattern di attività osservati negli individui monolingui; da notare come non si osservino pattern significativi confrontando tra modalità parlata e segnata o tra segnata e*

scritta, ad eccezione di alcune aree il cui significato non è ancora ben chiaro e necessita ulteriori approfondimenti.

Fonte: Liu et al. (2020).

Infine Moreno, Limousin, Dehaene, & Pallier (2018), in uno studio in cui sono state confrontate le aree attive durante la comprensione dei segni vs la lettura di parole scritte nei sordi, ha riportato un'attivazione di pari intensità tra le due modalità (segnata e scritta) dei Gangli della Base sinistri, in particolar modo la testa del caudato e il putamen, e un'attivazione maggiore per la modalità segnata rispetto a quella scritta del già citato Solco Temporale Superiore, del Giro Frontale Inferiore e della Giunzione Temporoparietale.

Tabella riassuntiva:

Aree amodali (segni = parlato):⁶	Aree modali (segni > parlato):
Giro e Solco Temporale Superiore posteriore sinistri, inclusi Planum Temporale e Area di Wernicke (BA 22).	Giro Sopramarginale sinistro (BA 40).
Solco e Giro Precentrale sinistri o Corteccia Motoria Primaria (BA 4).	Giro Frontale Inferiore sinistro ovvero parte posteriore dell'Area di Broca (BA45).
Area Motoria Supplementare sinistra (BA 6).	Giunzione Temporoparietale sinistra.
	Gangli della Base (Caudato e Putamen). ⁷

Tabella 2: *In questa tabella ho elencato le aree presentate nei precedenti studi.*

Ho distinto tra le aree che mostrano un'attivazione comune nella comprensione dei segni e del parlato da quelle che mostrano un'attivazione maggiore per quanto riguarda la comprensione dei segni.

⁶ Ovviamente si fa riferimento alle aree coinvolte nella comprensione nelle rispettive modalità, è chiaro come abbiamo visto dai precedenti studi che di norma un udente monolingue non comprende i segni in maniera significativa.

⁷ In realtà non è chiaro se sia maggiormente attiva nei sordi rispetto agli udenti, in quanto lo studio confrontava le modalità segnate vs scritte e i partecipanti erano solamente sordi (pertanto uno studio in cui si comparino individui sordi e/o bilingui con monolingui udenti è richiesto).

Sono state riportate solamente le aree attive nell'emisfero sinistro; per quanto riguarda quelle dell'emisfero destro, come già accennato, l'attivazione si verifica in circostanze specifiche e il loro ruolo è tuttora molto discusso.

3.2) Che funzione svolgono?

Partendo dalle aree rilevate da MacSweeney et al. (2004), l'Area di Wernicke è nota per essere principalmente attiva negli udenti durante la comprensione del parlato.

L'attivazione di quest'area durante la comprensione dei segni suggerisce che quest'area abbia un ruolo amodale nella comprensione. Inoltre una maggior attivazione nei partecipanti sordi rispetto ai bilingui bimodali della Corteccia Temporale Superiore (in particolare del Planum Temporale), tradizionalmente considerata responsabile del processamento di stimoli uditivi, può essere interpretata come un effetto di plasticità funzionale: l'assenza di stimoli uditivi durante le fasi precoci di sviluppo nei sordi permetterebbe a quest'area di riorganizzarsi per elaborare stimoli visivi come i segni (maggiori informazioni riguardo a questo fenomeno verranno fornite successivamente). Liu et al. (2020) attribuiscono alla già citata Area di Wernicke e all'Area di Broca funzioni semantiche e sintattiche che porterebbero alla costruzione del significato durante la comprensione.

Il Giro Sopramarginale sinistro, come già visto capitolo sulla produzione, sembra essere coinvolto nell'integrazione delle componenti fonologiche: sebbene MacSweeney et al. (2004) non specificano la funzione di quest'area in comprensione, citando anch'essi gli articoli visti in precedenza nella produzione, possiamo inferire una loro considerazione analoga a ciò che è già stato detto per la produzione. Di particolare interesse è inoltre l'attivazione delle aree motorie presente anche negli udenti, il cui ruolo è ancora da chiarire e traccia il percorso per ulteriori indagini.

Per quanto riguarda l'attivazione dei Gangli della Base sinistri, Moreno et al. (2018) suggeriscono un ruolo sintattico di quest'area, legato alla combinazione dei costituenti nelle rispettive strutture. Infine, la Giunzione Temporoparietale si ritiene essere attiva durante la percezione del movimento (da qui la bilateralità, essendo coinvolta in abilità visuo-spaziali, notoriamente lateralizzate a destra), processo fondamentale nella comprensione dei segni.

4) Segni e gesti:

In questo capitolo parleremo della differenza tra segno e gesto non linguistico (o pantomima) con lo scopo di comprendere se queste due forme di espressione condividano basi neurali comuni, oppure vengano codificate in maniera differente.

La dissociazione tra segno e gesto ha importanti ricadute in ambito neuropsicologico, nella comprensione delle diverse sintomatologie che si possono manifestare quando è selettivamente compromesso l'uno oppure l'altro aspetto.

Tale dissociazione è stata osservata da Marshall, Atkinson, Smulovitch, Thacker, & Woll (2004), i quali riportano il caso di "Charles", un paziente di 56 anni sordo, segnante BSL, colpito da ictus in sede temporoparietale sinistra all'età di 54 anni. Il paziente soffriva di una grave afasia caratterizzata da anomia, non era quindi in grado di recuperare e produrre segni (inclusi quelli iconici), tuttavia l'abilità di produrre pantomime simili era rimasta inalterata.

In uno dei vari test di assessment neuropsicologico somministrati, veniva inizialmente chiesto di segnare l'oggetto rappresentato in una figura che rappresentava un utensile. In seguito, per lo stesso oggetto era chiesto di mimare l'azione relativa al suo utilizzo. I segni da produrre erano iconici, quindi l'incapacità di eseguire soltanto uno dei due compiti del test è un indizio di una diversa base neurale per le rispettive modalità di espressione. Si è osservato che Charles era incapace di produrre il segno corrispondente agli oggetti, ma era in grado di mimarne l'utilizzo. Ad esempio, per lo spazzolino da denti, "Charles mostrò come avrebbe distribuito il dentifricio sulla testa dello spazzolino, in seguito strofinò l'ipotetico spazzolino lungo i denti, infine fece finta di risciacquarsi". Il gesto di strofinarsi lo spazzolino lungo i denti è simile al segno corrispondente a "spazzolino". L'incapacità di Charles di produrre il segno pur riuscendo a mimare il gesto è un'evidenza del fatto che le due modalità di espressione sono codificate da differenti basi neurali: l'incapacità di produrre il segno è conseguenza della lesione, ma tale lesione non ha influito sulla capacità di esecuzione della pantomima.

Questo tipo di dissociazione tra segno e gesto era già stata osservata da Corina et al. (1992), quando esaminando il caso di "W.L.", un paziente di 76 anni, sordo, segnante ASL e colpito da un ictus frontoparietale sinistro; notarono infatti che l'individuo non era in grado di produrre né comprendere i segni, ma era in grado di produrre gesti.

Già al tempo si era ipotizzata una base neurale distinta per segni e gesti; tale ipotesi è stata ulteriormente approfondita da Emmorey et al. (2011), in uno studio che ha visto la partecipazione di 10 individui sordi segnanti ASL e 14 udenti monolingui. Entrambi i gruppi

furono sottoposti a scansione PET durante l'esecuzione di vari compiti (3 nel caso dei sordi, 2 nel caso degli udenti).

I compiti erano i seguenti:

- Condizione di Pantomima: ai partecipanti i furono mostrate delle immagini raffiguranti un utensile con la consegna di mostrare come lo avrebbero utilizzato mediante l'esecuzione di un'opportuna pantomima.
- Condizione di controllo: ai partecipanti furono mostrate delle immagini raffiguranti un oggetto che poteva essere tenuto in mano (es. sigaretta, penna,...) oppure no (es. autostrada, diga, stazione radio,...) con la consegna di indicare tramite specifici movimenti della mano (pollice alzato - "Sì", movimento orizzontale del palmo - "No") se l'oggetto raffigurato poteva essere tenuto in mano.
- Condizione Verbo: ai partecipanti furono mostrate delle immagini raffiguranti un utensile, con la consegna di produrre il segno del verbo semanticamente associato all'oggetto rappresentato (esempio: forbice, tagliare). Metà dei segni verbali da produrre erano iconici, mentre l'altra metà era costituita da segni generici, cioè potevano essere usati anche con altri oggetti (alcuni esempi sono mostrati nella Figura 14). Le immagini relative ai verbi iconici sono le stesse immagini utilizzate per elicitarle le pantomime negli udenti.

I segnanti parteciparono a tutti e tre i compiti, mentre gli udenti solamente ai primi due.

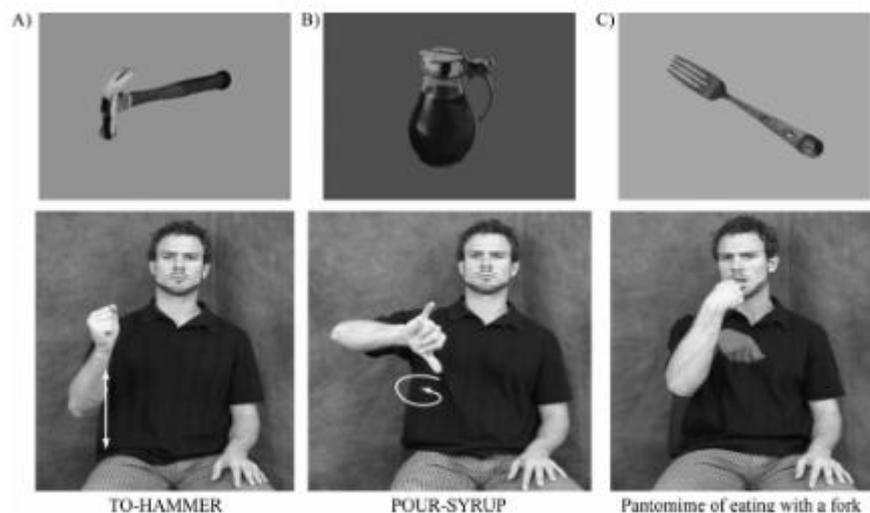


Figura 14: Esempi di verbi iconici (“martellare”), generici (“versare lo sciroppo”) e una pantomima (gesto di “mangiare con la forchetta”): è interessante notare come i verbi iconici rispecchino molto le pantomime nei movimenti.

Fonte: Emmorey et al. (2011).

I risultati ottenuti tramite scansione PET delle due condizioni sperimentali sono stati confrontati con la condizione di controllo e tra gruppi.

Sottraendo la condizione di controllo alla “Condizione di Pantomima” nei partecipanti segnanti si sono potute osservare differenze di attivazione significative, con una visibile asimmetria sinistra per quanto riguarda le regioni frontoparietali. Simili differenze sono visibili anche negli udenti, sebbene con minore intensità ed estensione. Tale differenza nell'intensità, ipotizzano gli autori, potrebbe essere dovuta alla maggior ricchezza di dettagli che i segnanti mostrerebbero nell'esecuzione delle pantomime (Figura 15A).

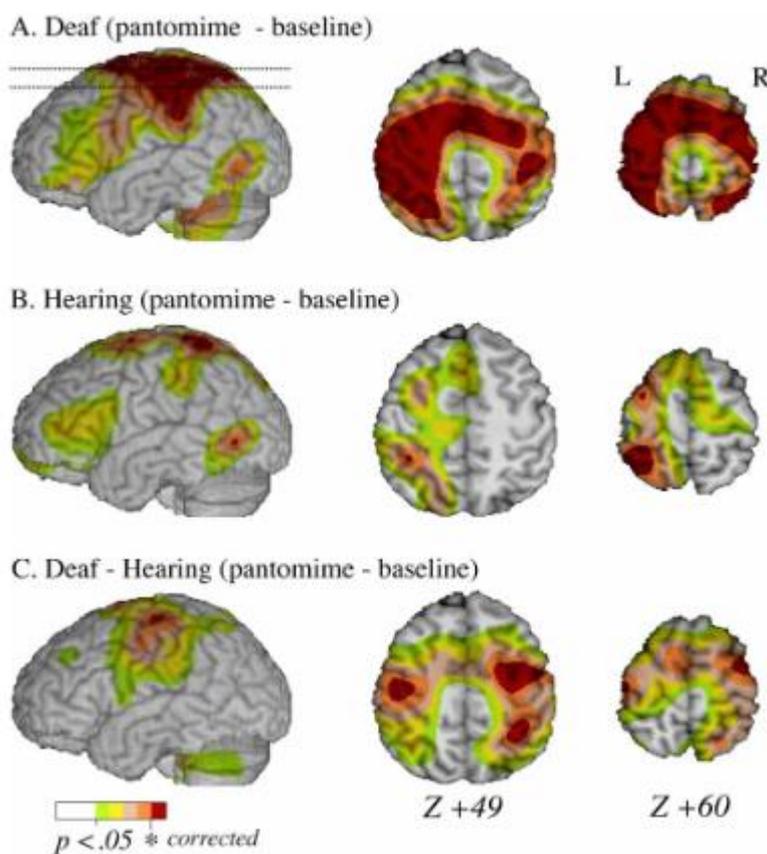


Figura 15A: Le differenze di attivazione osservate sottraendo la condizione di controllo alla “Condizione di Pantomima” in entrambi i gruppi (righe A e B). Nel caso dei segnanti si notano differenze significative nelle regioni frontoparietali (evidenziate in rosso), mentre negli udenti tale differenza è presente seppur con minore intensità. È inoltre raffigurata la differenza di attivazione ottenuta sottraendo i risultati delle precedenti differenze di attivazione, in particolare sottraendo quelle degli udenti a quelle dei segnanti (riga C), tale differenza (visibile in rosso) conferma le precedenti osservazioni riguardanti le regioni frontoparietali.

Fonte: Emmorey et al. (2011).

Sottraendo invece la condizione di controllo alla “Condizione Verbo” si sono osservate differenze di attivazione nelle regioni frontali medie e inferiori (inclusa parte dell’Area di Broca) per quanto riguarda la produzione di segni verbali iconici. Nei partecipanti udenti si sono utilizzate le differenze di attivazione delle pantomime corrispondenti agli oggetti di cui i segnanti dovevano produrre il segno verbale iconico e la condizione di controllo. Nel caso del confronto tra segni verbali generici e condizione di controllo la differenza di attivazione osservata era praticamente identica a quella osservata nella produzione di segni verbali iconici. Infine, i risultati delle precedenti differenze nei monolingui udenti per le pantomime sono stati sottratti a quelli dei segnanti per i segni verbali iconici, mostrando una differenza molto simile a quella già osservata tra tali segni e la condizione di controllo, visibile soprattutto nelle regioni frontali (Figura 15B).

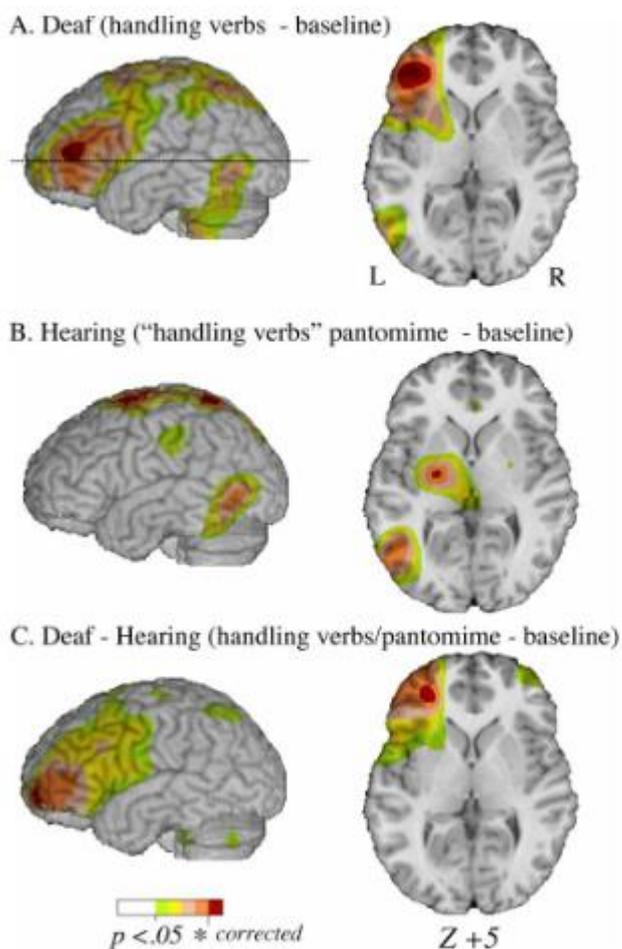


Figura 15B: La differenza di attivazione osservata sottraendo la condizione di controllo alla “Condizione Verbo” nei segnanti (riga A), tali differenze di attivazione sono localizzate soprattutto nelle regioni frontali medie e inferiori (evidenziate in rosso). In seguito, sono mostrate le differenze di attivazione ottenute sottraendo la condizione di controllo alla “Condizione di Pantomima” negli udenti, in questo caso sono considerate solamente

quelle pantomime corrispondenti agli oggetti presentati ai sordi nella “Condizione Verbo” (riga B). In ultima analisi sono raffigurate le differenze tra gruppi dei due precedenti confronti, in particolare quelle ottenute dagli udenti sono state sottratte a quelle ottenute dai sordi, tale differenza (visibile in rosso) conferma ciò che è stato detto per le regioni frontali.

Fonte: Emmorey et al. (2011)

In sostanza, i risultati dello studio sembrano confermare l'ipotesi secondo cui segni e gesti sono due modalità di espressione che poggiano su distinte base neurali, coinvolgendo maggiormente aree linguistiche nel caso dei segni e motorie nel caso dei gesti.

5) ERPs:

Similarità e differenze tra lingue dei segni e parlate si possono osservare anche nelle registrazioni elettrofisiologiche di potenziali evento-correlati (ERPs).

In un'esauritiva rassegna, Emmorey (2015) ha riportato alcuni importanti risultati a riguardo. Innanzitutto, anche per le lingue dei segni l'incongruenza semantica elicitava una N400, come si è ampiamente osservato anche per le lingue parlate e scritte. Questa componente si ipotizza sia legata all'elaborazione e all'integrazione semantica. Violazioni di natura sintattica registrano invece una *Left Anterior Negativity* (LAN) seguita da una più ampiamente distribuita P600. Mentre la prima sembra essere associata (almeno nei parlanti) a processi sintattici automatici precoci, la seconda invece si ipotizza sia legata a processi di rielaborazione e correzione di errori. Tali associazioni sembrano quindi valere anche per i segnanti e suggeriscono inoltre una distinzione a livello neurale per quanto riguarda l'elaborazione semantica e sintattica.

Una differenza interessante tra lingue segnate e parlate riguarda la *Early Anterior Negativity*. Nei segnanti si osserva in risposta a violazioni sintattiche relative all'elaborazione di informazioni topografiche tipiche di alcuni costrutti linguistici esclusivi delle lingue dei segni, come, per esempio, i classificatori: tale componente sembra presentare una maggiore lateralizzazione destra, risultando coerente con i risultati già discussi in precedenza a proposito dei pazienti con lesioni all'emisfero destro e la loro difficoltà nel processare tali informazioni (Capitolo 1.3).

6) Riorganizzazione cross-modale:

Tratteremo infine i cambiamenti che possono avvenire a livello neurale a causa della deprivazione sensoriale oppure a causa dell'apprendimento linguistico. Si è osservato che le aree normalmente deputate all'elaborazione di stimoli uditivi nelle persone sorde si riorganizzano per elaborare stimoli di natura visiva, tale fenomeno prende il nome di riorganizzazione (o riassegnazione) cross-modale.

Ricorderete dall'introduzione che questo lavoro non tratta nello specifico i cambiamenti strutturali e funzionali causati dalla deprivazione sensoriale, ma si concentra maggiormente sulle conseguenze relative all'acquisizione di una lingua dei segni.

Tali cambiamenti sono stati mostrati da uno studio di fMRI di Cardin et al. (2013), a cui hanno preso parte 3 gruppi di partecipanti: 7 sordi segnanti BSL ("SS"), 7 sordi non segnanti di madrelingua inglese e in grado di leggere il labiale ("SnS") e 7 udenti non segnanti come gruppo di controllo ("UnS"). Il confronto tra questi tre gruppi consente di distinguere le modifiche dovute alla deprivazione sensoriale da quelle dovute all'acquisizione della lingua dei segni. Per evidenziare gli effetti della deprivazione sensoriale, le registrazioni degli udenti sono state sottratte rispettivamente a quelle dei sordi segnanti e ai sordi non segnanti, confrontando poi tali sottrazioni ($SS > UnS$ e $SnS > UnS$). Per evidenziare invece le modifiche dovute alla lingua dei segni sono state sottratte alle registrazioni dei sordi segnanti quelle dei sordi non segnanti e quelle degli udenti, confrontando infine tali sottrazioni ($SS > SnS$ e $SS > UnS$). Durante lo scanning a ad ogni gruppo è stata mostrata una serie di video, ognuno rappresentante un segno eseguito da un modello. Il compito poteva essere svolto praticamente da chiunque, indipendentemente dalle conoscenze di una lingua dei segni e consisteva nel rispondere premendo un tasto quando il segno presentato aveva la stessa posizione o configurazione della mano di un "cue" (un'immagine statica della mano del modello o alcune sue parti del corpo evidenziate) presentato all'inizio di ogni blocco. La condizione di controllo consisteva invece nella semplice visione del modello immobile, mentre non produceva alcun segno.

Quando i ricercatori hanno effettuato le analisi, hanno inizialmente sottratto la condizione di controllo da quella sperimentale e poi hanno proceduto ad effettuare i confronti indicati precedentemente. I risultati, rappresentati in Figura 16, mostrano una differenza di attivazione per quanto riguarda la Corteccia Temporale Superiore destra nelle sue parti più laterali, tale differenza appare collegata alla deprivazione sensoriale; una differenza di attivazione di tale corteccia con un'estensione bilaterale, coinvolgente soprattutto le aree

più anteriori e mediali nella parte destra appare invece collegata a modifiche dovute all'apprendimento linguistico.

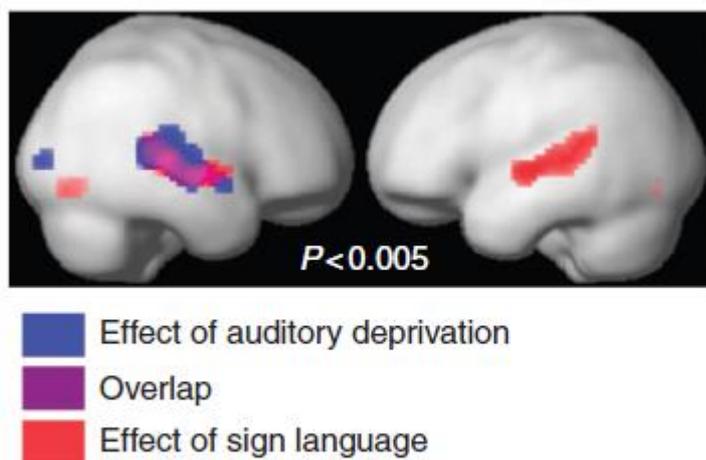


Figura 16: I risultati ottenuti dai confronti delle sottrazioni mostrano quali aree hanno subito una riorganizzazione dovuta alla deprivazione sensoriale (in blu), all'acquisizione di una lingua dei segni (in rosa) ed eventuali sovrapposizioni (in viola).

Fonte: Cardin et al. (2013).

L'emisfero sinistro, come abbiamo già visto, risulta essere coinvolto in processi di natura linguistica, pertanto il fatto che la Corteccia Temporale Superiore sinistra si sia riorganizzata per elaborare esclusivamente stimoli visivi di natura linguistica nei segnanti, rispetto alla sua controparte destra che permette invece un'elaborazione più generalizzata di stimoli visivi (non solamente segni) nei sordi che non hanno acquisito una lingua dei segni, è un chiaro esempio di riorganizzazione cross-modale dovuta all'apprendimento linguistico e non alla deprivazione sensoriale.

Ciò che risulta importante sottolineare è che entrambe le regioni temporali, normalmente deputate all'elaborazione di informazioni uditive, si sono riadattate all'elaborazione di input visivi in seguito alla sordità (riorganizzazione cross-modale), quelle sinistre tuttavia si sono specializzate nell'elaborazione esclusiva dei segni e pertanto le ritroviamo attive soltanto nei sordi segnanti, mentre quelle destre sono rimaste neutrali alla tipologia di informazione visiva e le ritroviamo attive in entrambi i gruppi di sordi.

Tali esperimenti sono stati ripetuti dagli stessi autori, una volta con un maggior numero di partecipanti di differente età e una seconda con partecipanti di lingua diversa - nello

specifico lingua dei segni svedese (SSL) - non osservando scostamenti significativi dai risultati precedentemente osservati.

7) Conclusioni:

In questa rassegna ci siamo prefissi lo scopo di esaminare il fenomeno delle lingue dei segni secondo una prospettiva neurobiologica, presentando analogie e differenze rispetto alle lingue parlate.

Siamo partiti esaminando i principali aspetti delle lingue dei segni. Abbiamo visto come la lallazione non si manifesti solamente nei parlanti, ma è presente anche nei segnanti in forma manuale, rivelando un'equipotenzialità biologica del linguaggio.

Sono in seguito stati presentati i parametri che contraddistinguono le lingue dei segni e abbiamo sottolineato l'importanza di tali caratteristiche linguistiche, la cui singola alterazione è sufficiente ad alterare il significato di ciò che si intende comunicare.

Proseguendo la nostra trattazione abbiamo toccato un punto fondamentale nella comprensione dei processi cognitivi, ovvero la lateralizzazione. Le lingue dei segni sono caratterizzate, al pari delle lingue parlate, principalmente da attivazioni dell'emisfero sinistro, tuttavia a differenza di queste ultime anche l'emisfero destro sembra giocare un ruolo peculiare. L'effettivo ruolo di tale emisfero è ancora oggetto di dibattito; indizi provenienti da casi clinici sembrano però suggerire un suo ruolo nell'elaborazione dei cosiddetti classificatori, ossia elementi linguistici esclusivi delle lingue dei segni, che veicolano specifiche informazioni riguardo a oggetti come forma, classe e relazioni topografiche. Tali oggetti linguistici si differenziano inoltre dai segni lessicali a livello neurobiologico, presentando maggiori attivazioni bilaterali del Lobulo Parietale superiore e della Corteccia Premotoria destra.

In seguito, ci siamo chiesti come avvenga il monitoraggio nei segnanti, in particolare se si basi principalmente su indizi visivi o di altra natura. Le evidenze fornite, suggeriscono che il monitoraggio non si basi principalmente sulla modalità visiva, ma faccia affidamento piuttosto a modalità di tipo propriocettivo e cinestetico, con attivazioni a livello del Lobulo Parietale Superiore. Un aspetto interessante, che necessita di maggiori approfondimenti è il ruolo che la mancanza di informazione visiva può avere nell'apprendimento della lingua dei segni: abbiamo visto infatti come individui udenti non segnanti, quando indossavano lenti annerite, riuscivano a riprodurre con maggior facilità i segni precedentemente visti e per loro sconosciuti.

Abbiamo concluso la nostra introduzione trattando un altro aspetto peculiare delle lingue dei segni, ovvero l'espressività e come essa giochi un ruolo importante nei contesti linguistici di un segnante, differenziandosi dall'espressività emotiva. Tali differenze di espressività hanno un riscontro anche neurobiologico: espressioni linguistiche (tipiche delle lingue dei segni) risultano essere associate ad attivazioni maggiormente lateralizzate a sinistra nei sordi rispetto a bilingui bimodali e udenti monolingui, soprattutto per quanto riguarda il Solco Temporale Superiore e il Giro Fusiforme.

Proseguendo la nostra rassegna, ci siamo focalizzati sui due principali processi linguistici: produzione e comprensione. Per entrambi i processi abbiamo effettuato una distinzione tra aree amodali, la cui attivazione è indipendente dalla modalità (segni o parlato) e aree modali, la cui attivazione è maggiore per una modalità (segni) rispetto all'altra (parlato); non sono state rilevate aree maggiormente attive nel parlato rispetto ai segni, questo punto tuttavia necessita di ulteriori conferme.

Le aree comunemente attive in produzione nei segnanti e parlanti sono: il Giro Frontale Inferiore sinistro e la Corteccia Temporale Medio/Inferiore sinistra. Per quanto riguarda le aree maggiormente attive nei segnanti, si riportano il Lobulo Parietale sinistro e il Giro Sopramarginale sinistro.

Le aree comunemente attive in comprensione nei segnanti e parlanti risultano invece essere: Giro e Solco Temporale Superiore sinistri, inclusi Planum Temporale e Area di Wernicke, oltre alle aree motorie sinistre, il cui ruolo non è ancora chiaro e può quindi essere un buon punto di partenza per futuri studi; in alcuni casi si sono inoltre riportate attivazioni sparse confrontando (per cercare analogie) modalità segnata e scritta nei monolingui parlanti in sede precentrale, si ipotizza sia un tentativo da parte loro di comprendere i segni oppure il coinvolgimento di altri processi (ad esempio memoria di lavoro oppure controllo attentivo), sono necessari tuttavia maggiori approfondimenti. Per quel che concerne le aree maggiormente attive nei segnanti rispetto ai parlanti si segnalano: il Giro Sopramarginale sinistro, il Giro Frontale Inferiore sinistro, la Giunzione Temporoparietale sinistra e i Gangli della Base (in particolare Caudato e Putamen), questi ultimi sembrano essere coinvolti in processi sintattici, tuttavia lo studio riportato ha visto la partecipazione solamente di individui sordi segnanti, in cui sono state confrontate la modalità segnata e scritta, ulteriori studi comparativi con monolingui udenti o bilingui bimodali sono quindi necessari.

Un altro punto di particolare interesse affrontato in questa rassegna è quello relativo alle differenze tra segno e gesto (o pantomima), in particolare ci siamo chiesti se poggiano o

meno sulle stesse basi neurali. Per rispondere a questa domanda abbiamo analizzato due casi clinici, in cui la capacità di produrre segni (inclusi quelli iconici, molto simili alle pantomime) era alterata, al contrario dei gesti che invece venivano prodotti in maniera corretta. Uno studio successivo invece è andato a fondo e ha cercato di indagare quali siano queste basi neurali e ha evidenziato come segni iconici siano collegati ad una maggiore attività nelle aree linguistiche (soprattutto aree frontali), mentre i gesti ad aree più motorie (frontoparietali).

Analogie e differenze tra segnanti e parlanti sono state osservate anche negli ERPs: in entrambi i casi si sono osservate componenti come la N400, tipica dell'incongruenza semantica e una LAN seguita da una P600, maggiormente implicata in violazioni sintattiche, tali componenti sembrano inoltre indicare una distinta base neurale per quanto riguarda l'elaborazione sintattica e semantica; solamente nei segnanti si è invece osservata una *Early Anterior Negativity*, con una lateralizzazione destra, in risposta a violazioni sintattiche relative all'elaborazione di particolari costrutti linguistici tipici dei segnanti, come i classificatori.

Infine, abbiamo trattato gli aspetti legati alla riorganizzazione cross-modale, facendo un'opportuna distinzione tra riorganizzazione dovuta a deprivazione sensoriale e riorganizzazione dovuta maggiormente all'apprendimento di una lingua dei segni. La riorganizzazione dovuta a deprivazione sensoriale sembra coinvolgere maggiormente la Corteccia Temporale Superiore destra nelle sue parti più laterali, mentre le modifiche causate dall'apprendimento di una lingua dei segni sembrano estendersi più bilateralmente.

Le risposte fornite da questa rassegna non esauriscono gli aspetti interessanti legati alle lingue dei segni, molto spesso inoltre gli studi sono limitati da un campione ristretto di partecipanti a causa della scarsa reperibilità di individui segnanti. Non sono inoltre stati discussi in maniera adeguata i risultati riguardanti i bilingui bimodali: tali considerazioni meriterebbero infatti una rassegna apposita. Ciononostante, ho cercato per quanto possibile di realizzare un quadro generale che affronti i principali argomenti e offra degli spunti per ulteriori studi e approfondimenti.

8) Ringraziamenti:

Ringrazio l'Università di Padova per avermi dato l'opportunità di intraprendere questo percorso formativo. Ringrazio inoltre chiunque abbia avuto interesse in quanto esposto nella seguente trattazione.

Riferimenti bibliografici:

- Atkinson, J., Marshall, J., Woll, B., & Thacker, A. (2005). Testing comprehension abilities in users of British Sign Language following CVA. *Brain and Language*, 94(2), 233–248.
- Campbell, R., MacSweeney, M., & Waters, D. (2007). Sign Language and the Brain: A Review. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 13(1), 3–20.
- Cardin, V., Orfanidou, E., Rönnerberg, J., Capek, C. M., Rudner, M., & Woll, B. (2013). Dissociating cognitive and sensory neural plasticity in human superior temporal cortex. *Nature Communications*, 4(1), 1473.
- Corina, D. (1992). Dissociation between linguistic and nonlinguistic gestural systems: A case for compositionality*1. *Brain and Language*, 43(3), 414–447.
- Corina, D. P., Jose-Robertson, L. S., Guillemin, A., High, J., & Braun, A. R. (2003). Language Lateralization in a Bimanual Language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 718–730.
- Corina, D. P., McBurney, S. L., Dodrill, C., Hinshaw, K., Brinkley, J., & Ojemann, G. (1999). Functional Roles of Broca's Area and SMG: Evidence from Cortical Stimulation Mapping in a Deaf Signer. *NeuroImage*, 10(5), 570–581.
- Damasio, A., Bellugi, U., Damasio, H., Poizner, H., & Gilder, J. V. (1986). Sign language aphasia during left-hemisphere Amytal injection. *Nature*, 322(6077), 363–365.
- Emmorey, K. (2015). The Neurobiology of Sign Language. In *Brain Mapping* (pagg. 475–479). Elsevier.

- Emmorey, K., Bosworth, R., & Kraljic, T. (2009a). Visual feedback and self-monitoring of sign language. *Journal of Memory and Language*, *61*(3), 398–411.
- Emmorey, K., Grabowski, T., McCullough, S., Damasio, H., Ponto, L., Hichwa, R., & Bellugi, U. (2004). Motor-iconicity of sign language does not alter the neural systems underlying tool and action naming. *Brain and Language*, *89*(1), 27–37.
- Emmorey, K., & McCullough, S. (2009b). The bimodal bilingual brain: Effects of sign language experience. *Brain and Language*, *109*(2–3), 124–132.
- Emmorey, K., McCullough, S., Mehta, S., Ponto, L. L. B., & Grabowski, T. J. (2011). Sign language and pantomime production differentially engage frontal and parietal cortices. *Language and Cognitive Processes*, *26*(7), 878–901.
- Emmorey, K., McCullough, S., Mehta, S., Ponto, L. L. B., & Grabowski, T. J. (2013). The Biology of Linguistic Expression Impacts Neural Correlates for Spatial Language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *25*(4), 517–533.
- Emmorey, K., Mehta, S., & Grabowski, T. J. (2007). The neural correlates of sign versus word production. *NeuroImage*, *36*(1), 202–208.
- Guasti, M. T. (2007). *L'acquisizione del linguaggio: Un'introduzione*. Milano: Raffaello Cortina Editore.
- Hickok, G., Pickell, H., Klima, E., & Bellugi, U. (2009). Neural dissociation in the production of lexical versus classifier signs in ASL: Distinct patterns of hemispheric asymmetry. *Neuropsychologia*, *47*(2), 382–387.
- Kemmerer, D. (2015). *Cognitive Neuroscience of Language*. New York: Psychology Press.
- Liu, L., Yan, X., Li, H., Gao, D., & Ding, G. (2020). Identifying a supramodal language network in human brain with individual fingerprint. *NeuroImage*, *220*, 117131.
- MacSweeney, M., Campbell, R., Woll, B., Giampietro, V., David, A. S., McGuire, P. K., Calvert, G. A., & Brammer, M. J. (2004). Dissociating linguistic and nonlinguistic gestural communication in the brain. *NeuroImage*, *22*(4), 1605–1618.

- Marshall, J., Atkinson, J., Smulovitch, E., Thacker, A., & Woll, B. (2004). Aphasia in a user of British Sign Language: Dissociation between sign and gesture. *Cognitive Neuropsychology*, *21*(5), 537–554.
- Moreno, A., Limousin, F., Dehaene, S., & Pallier, C. (2018). Brain correlates of constituent structure in sign language comprehension. *NeuroImage*, *167*, 151–161.
- Petitto, L. A., & Marentette, P. F. (1991). Babbling in the Manual Mode: Evidence for the Ontogeny of Language. *Science*, *251*(5000), 1493–1496.