

Lo studio dell'attività neurale per la comprensione dei meccanismi di elaborazione nei parlanti di L2

Spataro Andrea

giugno 2022

Una delle principali tematiche che la psicolinguistica e le neuroscienze si trovano a dover affrontare, è la comprensione dei processi coinvolti nell'elaborazione di un input linguistico nei parlanti bilingue.

Come viene elaborata una parola, o una frase, nei parlanti di L2? Ci sono differenze nel processing di L2 tra due parlanti di L2 con livelli di proficiency diversi? Quali aree della corteccia cerebrale vengono attivate durante l'elaborazione? Sono le stesse per tutti i parlanti? E se vi è differenza, qual è la natura di questa diversità?

Queste sono alcune delle domande a cui si cerca di dare risposta da molti anni, utilizzando tecnologie diverse, come esperimenti condotti su parlanti, simulazioni computazionali e tecniche di Neuroimaging.

Verranno analizzati alcuni studi compiuti e i relativi risultati, per spiegare come e da quali fattori viene modulata l'elaborazione nei parlanti di L2.

I. Introduzione

Gli studi che verranno presentati provengono dai seguenti articoli: "Event-related brain potentials and second language learning: "Syntactic processing in late L2 learners at different L2 proficiency levels. Van Hell, J. G., & Tokowicz, N. (2010)"; "Brain Mapping of Lexico-Semantic Functions in Bilinguals. Grant, A., & Li, P. (2015)".

In questi studi vengono utilizzate diverse tecniche di analisi dell'attività cerebrale e di Neuroimaging, quali: i potenziali evento-correlati (Event-Related Brain Potentials o ERP); la risonanza magnetica funzionale per immagini (Functional Magnetic Resonance Imaging o fMRI); la tomografia ad emissione di positroni (Positron Emission Tomography o PET).

Gli ERP offrono una registrazione dell'ordine di millisecondi dell'attività elettrica cerebrale durante l'elaborazione di un compito. Forniscono importanti informazioni sul tempo e sul grado di attivazione neurale, e sui processi coinvolti nell'elaborazione di un input. Il segnale ERP è costituito da una serie di picchi positivi e negativi chiamati componenti, in relazione all'elaborazione dello stimolo. Le componenti ERP sono caratterizzate da polarità, latenza, ampiezza e distribuzione topografica. Una componente viene etichettata in base alla sua polarità (P o N) e alla sua latenza di tempo che intercorre tra la presentazione dello stimolo e l'ampiezza massima del picco (ad esempio: N400).

L'ampiezza di un componente riflette il grado di attivazione del processo cognitivo ad esso associato.

La fMRI è una risonanza magnetica che rileva cambiamenti della concentrazione sanguigna di deossiemoglobina (la proteina che trasporta l'ossigeno). Viene utilizzata per rilevare quali aree cerebrali si attivano durante l'esecuzione di un determinato compito.

La PET è una tomografia che registra variazioni di flusso ematico, ovvero la quantità di sangue che passa nell'unità di tempo in un punto del sistema circolatorio. Utilizza un agente di contrasto leggermente radioattivo. Anche la PET viene utilizzata per misurare l'attività cerebrale coinvolta nell'esecuzione di un compito.

Queste tecniche, impiegate negli studi sopracitati, servono a valutare compiti di decisione lessicale. Solitamente, in questi compiti viene presentata ad un parlante una parola target, e questo deve rispondere decidendo se la parola presentata è una vera parola nel suo linguaggio oppure no. Si può inoltre introdurre un prime, ovvero una parola di innesco precedente alla parola target e decidere per quanto tempo mostrarlo (masked o unmasked prime). In entrambe le modalità di decisione lessicale vengono misurati i tempi di latenza: nella decisione lessicale normale viene misurato il tempo di latenza dalla parola presentata alla risposta del parlante; nella decisione lessicale con priming viene misurato il tempo necessario per accedere alla parola target data la pre-attivazione della parola prime.

Associando ai compiti di decisione lessicale le tecniche di Neuroimaging, si riescono a rilevare quali aree cerebrali si attivano relativamente a questi compiti.

Negli studi e negli esperimenti che vedremo, i parlanti di una L2 si differenziano in base a livelli di proficiency, tempi di esposizione e età di apprendimento. In questo modo si possono chiaramente vedere quali sono gli effetti di queste variazioni sui compiti di decisione lessicale e come influenzano l'elaborazione di un input linguistico L2.

Gli studi che verranno analizzati presentano due modalità di approccio differenti allo studio dei meccanismi di elaborazione nei parlanti di L2: l'obiettivo è il medesimo, ma cambia il focus degli studi e degli esperimenti.

Distinguiamo quindi due gruppi:

- studi legati al processing della sintassi negli apprendenti tardivi di L2 a differenti livelli di proficiency; e
- studi legati alla mappatura delle aree cerebrali e alle loro relative funzioni lessico-semantiche nei soggetti bilingue

Prima di presentare i risultati ottenuti dai relativi studi, verranno descritte alcune delle prospettive che ne formano la base teorica.

II. Processing della sintassi negli apprendenti tardivi di L2

1. Modelli teorici

Per apprendenti tardivi di una lingua secondaria L2, si intendono individui che hanno imparato una L2 dai 16 anni in poi, periodo in cui le abilità linguistiche sufficienti della L1 sono già state acquisite.

Una prima prospettiva dell'apprendimento tardivo di una lingua L2 suggerisce un "periodo critico" per l'acquisizione di L2 (vedi Weber-Fox e Neville, 1996). Questo periodo critico è causato dalla diminuzione della capacità del cervello, dovuta alla minore plasticità negli apprendenti tardivi, che influisce sull'apprendimento della L2. Questa ipotesi suggerisce che gli apprendenti tardivi di una L2 non possono ottenere una proficiency allo stesso livello dei parlanti nativi della medesima lingua.

Un'alternativa all'ipotesi del periodo critico è la supposizione di un decadimento lineare nell'acquisizione di una L2 legato all'età, non dovuto ad un particolare periodo nello sviluppo del cervello, ma dovuto ad un declino nei processi cognitivi generali.

Il "Competition Model" (MacWhinney, 1997) fornisce una spiegazione del decadimento nell'acquisizione di una L2 legato all'età, in relazione al radicamento del sistema di L1. Alla base del Competition Model ci sono degli indizi formali ("cues"), che vengono usati nell'elaborazione linguistica. Gli indizi permettono di collegare le forme linguistiche ai relativi significati. Possono variare nel tipo (indizi morfologici, sintattici, semantici, ecc.), nella disponibilità (quanto spesso sono presenti) e nell'affidabilità (quanto spesso conducono alla corretta interpretazione). Gli indizi della stessa lingua o di due lingue diverse, possono competere tra di loro, poiché possono puntare in diverse direzioni per l'interpretazione del significato di una frase. In caso di competizione, è determinante il concetto di forza degli indizi, che corrisponde ai pesi che il parlante attribuisce agli indizi durante l'elaborazione della frase. Ad esempio, nella frase "la roccia calcia l'elefante", gli indizi relativi all'ordine delle parole e all'animatezza ("animacy"), indicano due agenti differenti: l'ordine delle parole indica "roccia" come agente, mentre l'animatezza indica "elefante".

In ottica L1 e L2, per entrambe le lingue il peso degli indizi è inizialmente determinato dalla loro disponibilità, poiché all'inizio gli apprendenti sono più familiari con gli indizi che sono più frequenti. Man mano che l'apprendimento progredisce, gli apprendenti si affidano interamente all'affidabilità degli indizi per determinarne la forza.

Gli apprendenti di una L2 devono quindi acquisire nuovi pattern che assegnano pesi agli indizi, che dipendono dalle proprietà specifiche delle due lingue apprese dal parlante. Se nel parlante L1 è già ben radicata, l'apprendimento di una L2 sarà più difficile, tranne nel caso in cui le due lingue condividano aspetti simili.

Attraverso degli studi realizzati da Liu, Bates e Li (1992), si sono notati quattro possibili risultati negli adulti bilingui esaminati: 1) differenziazione: una chiara separazione nell'uso degli indizi per L1 e L2; 2) forward transfer e 3) backward transfer: trasferimento dei pattern di utilizzo degli indizi da una lingua all'altra (forward: da L1 a L2; backward: da L2 a L1); 4) amalgamazione: un'integrazione dei pattern di utilizzo degli indizi tra L1 e L2.

Negli apprendenti tardivi di una L2 (quindi con una L1 già radicata), si è identificato un forward transfer: utilizzavano i pattern del peso degli indizi relativi a L1 per analizzare e interpretare frasi in L2. Al contrario, nei bilingui precoci si sono osservati differenziazione e backward transfer.

Si è inoltre osservato che quando due lingue sono simili, non si verifica competizione tra indizi di L1 e indizi di L2, e ciò permette un trasferimento delle conoscenze da L1 a L2. Viceversa, quando due linguaggi sono diversi, i loro indizi competono, risultando in un transfer negativo.

Il Competition Model è sostenuto da molti studi che fanno uso di ERP.

Questi modelli teorici, predicono i fattori che influiscono nell'apprendimento di una seconda lingua. Per esempio, l'ipotesi del periodo critico prevede differenze qualitative tra apprendenti esposti alla lingua durante questo periodo critico, rispetto ad apprendenti esposti successivamente. Il Competition Model e l'ipotesi del decadimento lineare, predicono che un'esposizione tardiva ad una L2 comporterà un apprendimento più lento e una maggiore competizione tra le due lingue.

2. Risultati degli studi

Alcune delle domande poste da questo insieme di studi sono: gli apprendenti tardivi di L2 possono elaborare l'input L2 come i parlanti nativi?; quali sono le cause delle differenze tra parlanti nativi ed apprendenti tardivi di L2?; quali fattori influenzano l'elaborazione sintattica e morfosintattica degli apprendenti di L2?

Viene fatto grande uso degli ERP per analizzare il comportamento e le risposte cerebrali a compiti di decisione lessicale. Le principali componenti ritenute correlate all'elaborazione linguistica da parte di un parlante nativo sono: la "early left anterior negativity" o ELAN, la "left anterior negativity" o LAN, la N400 e la P600.

Queste componenti ERP sono collegate a step funzionalmente differenti nell'elaborazione linguistica. La componente ELAN avviene nella finestra di tempo compresa tra i 150-250 ms successivi alla presentazione di uno stimolo linguistico. Ha luogo nell'emisfero sinistro e si presume rispecchi la costruzione di strutture sintattiche. Rispecchia un primo processo automatico di costruzione della struttura.

Anche la componente LAN è spesso lateralizzata nell'emisfero sinistro, ma si verifica poco dopo, nel range di 300-500 ms. È correlata con l'elaborazione sintattica e in particolare con gli errori morfo-sintattici.

La N400 ha polarità negativa con una larga ampiezza di picco, che si presenta intorno ai 300 ms dopo la percezione dell'input, e raggiunge il suo massimo di ampiezza intorno ai 400 ms. Nonostante occupi la stessa finestra di tempo della LAN, ha luogo nelle aree centro-parietali e rispecchia l'integrazione di significato e possibili violazioni lessico-semantiche. Insieme alla LAN corrisponde all'integrazione di informazioni semantiche e morfo-sintattiche.

La P600 ha polarità positiva e si verifica con una latenza di 500-600 ms. Ha luogo nelle regioni centro-parietali e nelle aree posteriori del lobo temporale, ed è collegata all'elaborazione morfo-sintattica e a violazioni grammaticali. Corrisponde ad una tradiva e controllata ri-analisi e riparazione della sintassi.

In sintesi, la componente ELAN riflette una prima analisi sintattica mentre la P600 corrisponde a una più controllata e tardiva analisi.

Possono presentarsi differenze qualitative e/o quantitative relative alle componenti ERP tra apprendenti di L2. Le differenze qualitative sono sottolineate da una presenza o assenza di alcune componenti ERP, mentre le differenze quantitative sono misurate in termini di ampiezza o in termini di latenza della componente.

Vengono ora presentati degli studi mediante ERP sulla questione riguardante la possibilità per gli apprendenti tardivi di L2 di elaborare la L2 come i parlanti nativi. Verranno analizzati prima gli studi che si focalizzano sulle violazioni grammaticali, in particolare violazioni strutturali della frase, e poi gli studi che si concentrano sulle violazioni morfologiche.

3. Violazioni strutturali della frase

Il primo studio facente uso di ERP, focalizzato sulla elaborazione sintattica negli apprendenti di L2 fu quello di Weber-Fox e Neville (1996), su parlanti bilingue di Cinese-Inglese, esposti alla L2 Inglese in età differenti. Vennero fatte leggere ai partecipanti delle frasi contenenti violazioni semantiche e violazioni sintattiche. Le componenti ERP di tutti gli apprendenti di L2 relative alle violazioni semantiche erano paragonabili a quelle dei parlanti nativi. Le risposte ERP alle violazioni sintattiche invece erano differenti da quelle dei parlanti nativi. Le maggiori differenze sono state riscontrate

negli apprendenti tardivi (dopo gli 11 anni di età), con l'assenza o il ritardo di alcune componenti presenti nei parlanti nativi. Inoltre, la loro performance nei compiti di decisione grammaticale era significativamente peggiore dei parlanti nativi, indicando una bassa proficiency. Questo studio smentisce le ipotesi formulate dai modelli teorici del periodo critico e del declino lineare.

Le violazioni strutturali della frase furono oggetto anche dello studio realizzato da Hahne e Friederici (2001), eseguito su apprendenti tardivi di Tedesco. I partecipanti erano parlanti nativi adulti di Giapponese a cui vennero fornite frasi con violazioni semantiche e violazioni sintattiche. Le risposte ERP alle violazioni semantiche erano simili a quelle dei parlanti nativi tedeschi, in linea quindi con i risultati degli studi di Weber-Fox e Neville (1996). Per quanto riguarda le violazioni sintattiche, i partecipanti non hanno dimostrato praticamente nessuna differenza tra frasi con o senza violazioni in termini di risposte ERP, mentre nei parlanti nativi si è riscontrato una *early anterior negativity*, seguita da una P600. Questo studio evidenzia come l'elaborazione semantica sia simile tra parlanti nativi e apprendenti di L2, e quanto invece sia differente l'elaborazione sintattica.

Nel successivo studio di Hahne (2001), venne testato se i risultati trovati sarebbero persistiti anche per russi apprendenti L2 di Tedesco, poiché il giapponese, non contenendo proposizioni, potrebbe aver influenzato i risultati dello studio precedentemente eseguito. Gli apprendenti di L2 non hanno dimostrato nessuna *early anterior negativity*, ma hanno dimostrato una P600 con un delay di 150 ms rispetto ai parlanti nativi.

I risultati ERP visti finora dimostrano che nei parlanti nativi, le violazioni strutturali delle frasi generano un pattern: la presenza della componente ELAN, che si assume rispecchi dei processi automatici di costruzione sintattica della frase, e poi una P600 che si assume comporti una ri-analisi e riparazione della sintassi. Negli apprendenti L2 invece non c'è la presenza della componente ELAN, ciò suggerisce che in apprendenti L2 non avvengono processi automatici di costruzione sintattica della frase.

Isel (2007) propone una spiegazione alternativa, notando che le violazioni strutturali di frase usate negli studi precedenti, occorre in costituenti sintatticamente non obbligatori, ovvero in costituenti opzionali. Isel sostiene che è più probabile che si verifichino processi automatici di costruzione sintattica della frase, quando il costituente è obbligatorio. Le risposte ERP ai suoi studi infatti mostrano una ELAN nel range 150-300 ms, seguita da una *frontal negativity* tra i 300-600 ms e da una P600 tra i 600-1000 ms.

Rossi et al. (2006) osservarono una componente ELAN in risposta a violazioni strutturali della frase anche in costituenti opzionali. Nel loro studio i partecipanti erano nativi italiani apprendenti tardivi di Tedesco e nativi tedeschi apprendenti tardivi di Italiano, di cui la metà aveva una proficiency moderata e l'altra metà aveva un'alta proficiency. Entrambi i gruppi con diversi livelli di proficiency mostrarono la componente ELAN seguita da una P600, con una latenza maggiore e una minore ampiezza nei partecipanti con proficiency moderata.

Gli studi di Isel e Rossi et al., testano apprendenti con L1 e L2 entrambe Indo-Europee, mentre gli studi che non hanno trovato la componente ELAN negli apprendenti L2, testano i partecipanti con L1 e L2 marcatamente differenti tra loro. In linea con il Competition Model, se L1 e L2 sono differenti, gli indizi di L2 saranno più deboli di quelli di L1, portando quindi ad una competizione. Durante l'elaborazione della frase in L2, gli apprendenti quindi non generano alte aspettative, per cui le risposte ERP riguardanti i primi automatici processi di costruzione della struttura (ELAN) non saranno presenti.

In alcuni casi può essere un fattore importante anche un'alta proficiency, comportando un pattern di risposte ERP simile a quello dei parlanti nativi.

4. Violazioni morfosintattiche

Ora passiamo agli studi che si focalizzano invece sulle violazioni morfosintattiche, in particolare violazioni di flessione, plurali, accordo soggetto-verbo, accordo numero e genere e omissione di ausiliario.

Lo studio di Hahne et al. (2006) esamina l'elaborazione della flessione nei parlanti nativi russi con un'alta proficiency di tedesco. Vennero testati due tipi di violazioni di flessione: regolarizzazioni (aggiunta della flessione regolare a verbi irregolari) e irregolarizzazioni (aggiunta della flessione irregolare a verbi regolari). Vennero inoltre testate similmente due tipi di violazioni di formazione del plurale: regolarizzazioni (aggiunta della flessione regolare a plurali irregolari) e irregolarizzazioni (aggiunta della flessione irregolare a plurali regolari).

Alle violazioni di flessioni, gli apprendenti di L2 hanno risposto diversamente a regolarizzazioni e irregolarizzazioni. Le regolarizzazioni hanno comportato una bilateral anterior negativity e una P600, mentre nei parlanti nativi è presente una LAN ma non una P600. Questo significa che gli apprendenti di L2 hanno applicato le regole di flessione verbale durante le prime elaborazioni morfologiche, come i parlanti nativi. Ma diversamente dai parlanti nativi, gli errori di regolarizzazioni influenzano non solo le prime elaborazioni morfologiche, ma anche i processi più controllati di ri-analisi e di riparazione (P600). Le irregolarizzazioni invece sia negli apprendenti di L2 che nei parlanti nativi, hanno comportato una N400.

Anche le violazioni di formazione del plurale hanno portato a risposte differenti: le regolarizzazioni non hanno comportato nessuna anterior negativity ma una P600, come nei parlanti nativi. Questo significa che gli apprendenti di L2 applicano una riparazione tardiva e processi di ri-analisi (P600) anche per le regolarizzazioni di plurali. Le irregolarizzazioni hanno causato la presenza di una N400, come nei parlanti nativi.

La regola morfosintattica più testata è l'accordo soggetto-verbo, esaminata nello studio di Rossi et al. (2006), nel quale i partecipanti erano nativi italiani apprendenti tardivi di Tedesco e nativi tedeschi apprendenti tardivi di Italiano. La metà dei partecipanti aveva una proficiency moderata e l'altra metà aveva una alta proficiency. I partecipanti con un'alta proficiency hanno mostrato un pattern osservato anche nei parlanti nativi: una LAN, che riflette il rilevamento dell'errore di accordo, seguita da una P600, che riflette una ri-analisi e integrazione tardiva. I partecipanti con una proficiency moderata, non hanno mostrato una LAN ma solo una P600, con una latenza maggiore e una minore ampiezza.

Anche gli studi di Chen et al. (2007) e Ojima et al. (2005) esaminano l'accordo soggetto-verbo, in parlanti nativi cinesi e giapponesi apprendenti di Inglese come L2. Il Cinese non usa la morfologia per indicare il numero e il genere, mentre il giapponese ha un sistema di accordi ma non possiede caratteristiche come la persona o il numero. Sono state fornite ai partecipanti delle frasi contenenti violazioni e le rispettive frasi corrette. I parlanti nativi inglesi mostrano il classico pattern bifasico LAN-P600, mentre gli apprendenti di L2 mostrano una "late anterior-central negativity" (etichettata come N600). Un risultato completamente diverso da quello ottenuto dallo studio di Rossi et al. sulle violazioni di accordo soggetto-verbo.

Un ulteriore studio di Ojima et al. (2005) esamina le violazioni dell'accordo soggetto-verbo, in frasi presentate a parlanti nativi inglesi e parlanti nativi giapponesi

apprendenti di Inglese. Queste violazioni provocarono una LAN nei parlanti nativi e negli apprendenti con una alta proficiency, ma non in quelli con una proficiency moderata. La componente LAN era poi seguita da una P600 nei parlanti nativi, ma non negli apprendenti di L2 Inglese. Questo dimostra che la proficiency della lingua L2 ha molta più influenza rispetto all'età di esposizione.

I risultati ottenuti dagli studi ottenuti finora si possono riassumere nella presenza un pattern bifasico nei parlanti nativi (Italiano, Tedesco, Inglese) comprendente una prima elaborazione morfologica (LAN), seguita da una ri-analisi e integrazione sintattica più controllata (P600). Gli apprendenti L2 dimostrano lo stesso pattern bifasico solo se L1 e L2 sono simili e se hanno un'alta proficiency in L2. Se le due lingue sono differenti, solamente gli apprendenti con un'alta proficiency mostrano le medesime componenti ERP mostrate dai parlanti nativi.

Ulteriori studi dimostrano come il livello delle competenze linguistiche o proficiency, sia un fattore più importante per la L2 rispetto all'età della prima esposizione alla lingua. Questi studi fanno uso di tecniche di Neuroimaging come fMRI e PET, le quali mostrano quali regioni del cervello sono implicate nell'elaborazione di un input L1/L2. Apprendenti con basse competenze linguistiche, attivano regioni del cervello differenti per l'elaborazione di L1 e L2, mentre apprendenti con un'alta proficiency utilizzano reti neurali simili sia per L1 che per L2.

Studi come quello di Tokowicz e MacWhinney (2005) si focalizzano su apprendenti adulti di L2 nelle prime fasi dell'apprendimento. Testarono parlanti nativi inglesi nelle prime settimane di apprendimento di Spagnolo, attraverso frasi con e senza violazioni sintattiche. Gli apprendenti hanno mostrato la presenza di componenti P600 in corrispondenza di costruzioni simili tra le due lingue (Inglese e Spagnolo) e nelle costruzioni uniche delle due lingue, ma non per le costruzioni sintattiche che vengono formate diversamente in L1 e L2. Questi risultati sono in linea con il modello teorico del Competition Model, e sono un'ulteriore prova che la similarità tra L1 e L2 può influenzare il processing linguistico.

Dei risultati simili a quelli di Tokowicz e MacWhinney (2005) si possono trovare negli studi di Osterhout et al. (2006), dove vengono testati parlanti nativi inglesi nel primo anno di apprendimento di Francese su tre tipi di violazioni: semantiche, accordo soggetto-verbo e accordo di numero. I parlanti nativi francesi mostrano una N400 in corrispondenza di anomalie semantiche e successivamente una P600 in risposta ad entrambi i tipi di violazioni semantiche. Pattern diversi sono stati riscontrati dagli apprendenti di L2 nel primo mese di apprendimento, comprendenti una N400 in risposta alle violazioni semantiche e alle violazioni di accordo soggetto-verbo, mentre nessuna componente è stata rilevata in risposta alle violazioni di accordo di numero. Dopo quattro mesi di apprendimento, gli apprendenti hanno dimostrato una P600 in risposta alle violazioni di accordo soggetto-verbo, ma ancora nessuna risposta alle violazioni di accordo di numero. Questi risultati sono simili a quelli dello studio precedente, sottolineando l'importanza della similarità tra L1 e L2 nell'elaborazione della morfosintassi.

In conclusione, i risultati ottenuti dagli studi analizzati sottolineano che: le risposte ERP alle frasi contenenti violazioni semantiche sono simili a quelle dei parlanti nativi; i pattern ERP associati all'elaborazione sintattica in alcuni casi differiscono da quelli osservati nei parlanti nativi; le sovrapposizioni tra strutture della L1 e della L2 sono molto importanti, in linea con il Competition Model; nell'elaborazione delle frasi della L2, gli apprendenti mostrano il pattern bifasico ERP, proprio dei parlanti nativi, solo quando la struttura della

L2 è simile a quella della L1, e quando hanno un alto livello di competenze linguistiche nella L2; le differenze qualitative e quantitative riscontrate nelle componenti ERP relative all'elaborazione sintattica, sembrano essere determinate dalla proficiency della L2. Per quanto riguarda le violazioni morfosintattiche si è notato che: le regolarizzazioni e le irregolarizzazioni applicate ai verbi e ai plurali generano differenze nelle risposte ERP, con le irregolarizzazioni che generano una risposta negli apprendenti uguale a quella dei parlanti nativi; la proficiency della lingua L2 ha molta più influenza sull'elaborazione morfosintattica rispetto all'età di esposizione.

III. Mappatura cerebrale delle funzioni lessico-semantiche nei bilingue

1. Modelli teorici

Alcuni dei modelli teorici e delle ipotesi che stanno alla base degli studi neurali sullo sviluppo lessico-semantico delle lingue L2, furono ideati senza l'aiuto delle tecniche di neuroimaging. Queste, applicate allo studio delle reti neurali correlate all'acquisizione di una L2, hanno l'abilità di modificare, confermare o smentire i modelli teorici.

Il primo modello è il developmental "Bilingual Interactive Activation model" (Grainger, Midegley & Holcomb, 2010) o BIA-d che si basa su due modelli: il "Revised Hierarchical Model" (Kroll & Stewart, 1994) o RHM e il BIA model (Dijkstra & Van Heuven, 1998).

L'RHM ipotizza che gli apprendenti adulti di L2 creino connessioni basate sulle forme tra L1 e L2, e che accedano ai concetti per le parole di L2 attraverso L1. L'uso di queste connessioni cambia con l'aumento della proficiency, grazie alla quale si formano connessioni dirette tra forme di L2 e concetti.

Il BIA model si focalizza sui processi coinvolti nel riconoscimento visuale di parole nei soggetti bilingue, in particolare sull'inibizione. La variante BIA-d si focalizza sullo sviluppo delle connessioni inibitorie fra traduzioni di forme. Secondo questo modello, le connessioni inibitorie sono più importanti nelle fasi tardive, dove più parole di L2 vengono acquisite, rispetto che alle prime fasi di sviluppo lessicale L2.

L' "inhibitory control model of bilingual language processing" (Green, 1998) ipotizza che ci sia una connessione tra linguaggio e i sistemi di controllo cognitivo.

La stessa idea è contenuta nella "Convergence Hypothesis" (Green, 2003) o CH, la quale propone che il sistema legato a L2, dopo sufficiente tempo e pratica, arriva a convergere con quello di L1, invece di fare affidamento a reti neurali separate. Questo modello indica che la differenza iniziale tra l'elaborazione di L1 e L2, sta nel maggior reclutamento del "language control system" per l'elaborazione di L2. Il grado della sua attivazione dipende dalla proficiency di L2, dove parlanti con un'alta proficiency dovrebbero fare meno affidamento al sistema di controllo, poiché il sistema di L2 dovrebbe convergere con quello di L1. Il language control system è un meccanismo cognitivo che permette ai soggetti bilingue di parlare correttamente in una lingua, evitando interferenze della lingua non-target.

2. Aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione di L2

Le reti neurali dedicate all'elaborazione di L2 e al controllo cognitivo si sovrappongono.

La corteccia prefrontale (PFC) ha un ruolo importante in entrambi i processi. Il giro inferiore frontale (IFG), ha funzioni di selezione lessicale e di controllo esecutivo, mentre il giro inferiore medio (MFG) è tipicamente associato alla working memory.

Anche la corteccia cingolata anteriore (ACC) è coinvolta in compiti di controllo esecutivo, ma anche nel processing di L2.

I gangli basali e le sue aree sono implicate anch'esse in compiti di controllo esecutivo e di controllo cognitivo.

La lobo parietale inferiore (IPL) è associata alla working memory e a processi di elaborazione lessicale e integrazione semantica. In quest'area è presente una significativa sovrapposizione dovuta alla relazione tra working memory ed elaborazione lessicale.

3. Risultati degli studi

Vengono definiti studi longitudinali, tutti quegli studi che durano per un periodo di tempo di almeno 4 mesi.

Il primo studio che analizziamo è quello realizzato da Stein e colleghi (2009), dove i partecipanti erano parlanti nativi inglesi apprendenti di Tedesco. Questi vennero testati in due tempi differenti: durante il primo giorno dello studio (T1) e dopo 5 mesi dall'inizio dell'esperienza (T2). I dati vennero raccolti attraverso fMRI, mentre gli apprendenti eseguivano compiti di decisione lessicale. Al tempo T1 i risultati mostravano che gli apprendenti di L2 attivarono aree frontali, più per le parole della L2 che per quelle della L1. A T2 le differenze di attivazione tra L1 e L2 erano state significativamente ridotte.

Questo studio rende ancora più attendibile un precedente studio (2006), realizzato sempre dallo stesso gruppo, dove si osservava che rispetto a un T1, la IFG era significativamente meno attiva in un tempo T2. Questi dati supportano l'idea che le reti di controllo cognitivo sono importanti per l'elaborazione di L2, soprattutto nelle prime fasi (T1), rispetto a delle fasi tardive (T2), contrastando con ciò che viene affermato nel modello teorico BIA-d.

Un ulteriore studio realizzato da Grant, Fang e Li, supporta l'idea di un ruolo più rilevante del controllo cognitivo nelle prime fasi di acquisizione di L2. Vennero testati parlanti nativi inglesi apprendenti di Spagnolo in due semestri differenti (T1 e T2). Similmente agli studi precedenti, i parlanti dovevano sostenere compiti di decisione lessicale e contemporaneamente erano sottoposti a scan di tipo fMRI. I risultati trovati furono in linea con quelli degli studi elencati finora: le parole spagnole comportano maggiore attività nelle aree di controllo rispetto alle parole inglesi al tempo T1, ma questa differenza era ridotta al tempo T2, soprattutto nell' ACC. In particolare, le reti neurali attivate dalle task di decisione lessicale cambiarono totalmente da T1 a T2, passando da una attivazione frontale legata ad un'elaborazione di controllo, ad una attivazione temporale legata ad una elaborazione del significato. Questi risultati sono in linea con quanto proposto dal modello teorico della Convergence Hypothesis, poiché assistiamo nel tempo ad una riduzione dell'attivazione di aree deputate al controllo cognitivo, ed una focalizzazione sull'elaborazione del significato all'aumentare della proficiency.

Lo studio longitudinale realizzato da McLaughlin, Osterhout e Kim (2004) osserva studenti di Francese attraverso le risposte ERP generate da compiti di lexical decision con priming. Notarono che al passare del tempo, la componente N400 arrivava ad essere della stessa ampiezza e nello stesso range di ms dei parlanti nativi. Questi studi con i relativi risultati, sottolineano l'importanza della ricerca longitudinale accompagnata da tecniche di Neuroimaging e di analisi dell'attività cerebrale.

Data la mancanza di ulteriori studi funzionali longitudinali che esaminano l'elaborazione lessicale di L2, passiamo ora a studi di imaging strutturali illustrativi.

Un importante studio realizzato da Hosoda et al. (2013) mostra come le differenze individuali nella grandezza del vocabolario relativo a L2, siano correlate con il volume della materia grigia della IFG, e con la connettività fra questa regione e altre aree legate al linguaggio e al controllo.

Mårtensson et al. (2012), nel loro studio con parlanti nativi svedesi a cui è stato fatto seguire un addestramento per interpreti, hanno trovato che gli apprendenti dimostrano una maggiore crescita nello spessore della corteccia della MFG, IFG e nel "superior temporal gyrus" (STG), rispetto a coloro che non sono stati sottoposti all'addestramento per interpreti. Inoltre, lo studio ha rivelato che la crescita della MFG e della STG è correlata con il livello di proficiency. I risultati, ancora una volta, confermano l'assunzione che il controllo cognitivo è importante nelle prime fasi di apprendimento di L2 (al contrario di ciò che viene affermato nel modello teorico BIA-d).

Schlegel et al. (2009), hanno tracciato i cambiamenti di materia bianca (rete di fibre nervose che serve a permettere lo scambio di informazioni e la comunicazione tra aree differenti di materia grigia) lungo il periodo di 9 mesi, in una classe di insegnamento di Cinese Mandarino. I risultati mostrano un incremento della "Fractional Anisotropy" (FA), misura dell'integrità della materia bianca, nei partecipanti nel corso dei 9 mesi, e il grado con cui la FA cambia è modulato dai miglioramenti personali dei partecipanti nell'elaborazione di L2.

I risultati provenienti da questi studi puntano verso un'idea di linguaggio inteso come un processo che coinvolge tutto il cervello, piuttosto che limitato a determinate aree come l'area di Broca e di Wernicke. Per comprendere questa rete complessa, dobbiamo considerare le reti neurali dell'elaborazione cognitiva e dell'elaborazione del linguaggio come interconnesse, ed analizzare le interazioni tra queste regioni durante l'elaborazione dei soggetti bilingue. Ad esempio lo studio di Yang, Gates, Molenaar e Li (2014) cerca di capire quali siano i pattern di connessioni funzionali tra le reti neurali di un apprendente di successo di una lingua. Verificando gli apprendenti in due tempi distinti, all'inizio dell'apprendimento (T1) e alla fine (T2), si nota una rete maggiormente integrata e più densamente connessa all'istante T2 negli apprendenti di successo. Solamente gli apprendenti di successo avevano sviluppato alcune determinate connessioni funzionali, ma anche prima dell'inizio dell'addestramento, rispetto agli altri apprendenti, avevano mostrato una rete neurale meglio connessa. Questo permette non solo di determinare un possibile risultato dell'apprendimento, ma anche di prevederne il successo.

In conclusione, questo gruppo di studi analizzati dimostra che l'apprendimento e l'acquisizione di una seconda lingua L2, specialmente nelle prime fasi, è un processo che coinvolge tutto il cervello, in una rete con un grado di complessità differente fra individui. Viene sottolineata l'importanza degli studi longitudinali, che riescono a mostrare differenze di attivazione, di densità e integrazione delle connessioni e cambiamenti nella corteccia cerebrale.

I risultati mostrano una differenza di attivazione e di coinvolgimento delle aree correlate alla L2 al passare del tempo, ad esempio una riduzione nell'attivazione delle aree deputate al controllo cognitivo; mostrano anche che la proficiency influenza la crescita e lo sviluppo di determinate aree correlate all'elaborazione della lingua. I risultati si vedono inoltre d'accordo sul fatto che il sistema lessico-semantico, specialmente negli apprendenti di L2, sia dipendente da risorse al di fuori della tipica rete neurale deputata al linguaggio, limitata generalmente all'area di Broca e all'area di Wernicke.

IV. Conclusione

Abbiamo visto come i risultati degli studi, in entrambi i testi analizzati, possano confermare, rafforzare e validare modelli teorici e ipotesi, oppure come possano essere in totale contrasto con le tesi sostenute. Le tecniche di Neuroimaging e di analisi dell'attività cerebrale quindi, ci vengono in aiuto proprio per valutare i modelli di acquisizione di una L2, ma anche per capire meglio la neuroplasticità e l'organizzazione del cervello, cogliendo anche le più impercettibili differenze, che potevano rimanere inosservate facendo uso solamente di studi comportamentali o di modelli teorici.

V. Bibliografia

Chen, L., Shu, H., Liu, Y., Zhao, J. and Li, P. 2007: ERP signatures of subject–verb agreement in L2 learning. *Bilingualism: Language and Cognition* 10, 161–74.

Dijkstra, T., & Van Heuven, W. J. 1998. The BIA model and bilingual word recognition. In J. Grainger & A. M. Jacobs (Eds.) *Localist connectionist approaches to human cognition*, 189-225. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Grainger, J., Midgley, K., & Holcomb, P. J. 2010. Re-thinking the bilingual interactive-activation model from a developmental perspective BIA-d. In M. Kail & M. Hickmann (Eds.), *Language Acquisition across Linguistic and Cognitive Systems*, 267–284. New York, NY: John Benjamins.

Grant, A., & Li, P. (2015). Brain Mapping of Lexico-Semantic Functions in Bilinguals. *Journal of Cognitive Science*, 16(1), 1-15.

Grant, A., Fang, S., & Li, P. (in press). Second language lexical development and cognitive control: A longitudinal fMRI study. *Brain and Language*.

Green, D. W. 1998. Mental control of the bilingual lexico-semantic system. *Bilingualism: Language and Cognition* 102, 67–81.

Green, D. W. 2003. Neural basis of lexicon and grammar in L2 acquisition : the convergence hypothesis. In R. van Hout, A. Hulk, F. Kuiken & R. Towell (Eds.), *The interface between syntax and the lexicon in second language acquisition*, 197–208. Amsterdam: John Benjamins.

Hahne, A. 2001: What's different in second-language processing? Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Psycholinguistic Research* 30, 251–66.

Hahne, A. and Friederici, A.D. 1999: Electrophysiological evidence for two steps in syntactic analysis: early automatic and late controlled processes. *Journal of Cognitive Neuroscience* 11, 193–204.

Hahne, A. and Friederici, A.D. 2001: Processing a second language: late learners: comprehension mechanisms as revealed by event-related brain potentials. *Bilingualism: Language and Cognition* 4, 123–41.

Hosoda, Chihiro, Tanaka, Kanji, Nariai, Tadashi, Honda, Manabu, & Hanakawa, Takashi. 2013. Dynamic neural network reorganization associated with second language vocabulary acquisition: a multimodal imaging study. *The Journal of Neuroscience* 33, 13663–72.

Isel, F. 2007: Syntactic and referential processes in second-language learners: event-related brain potential evidence. *Neuroreport* 18, 1885–89.

Kroll, J. F., & Stewart, E. 1994. Category interference in translation and picture naming: Evidence for asymmetric connections between bilingual memory representations. *Journal of Memory and Language* 33, 149–174.

Li, P., & MacWhinney, B. (2012). Competition model. *The encyclopedia of applied linguistics*. 1-5.

MacWhinney, B. 1997: Second language acquisition and the Competition Model. In de Groot, A.M.B. and Kroll, J.F., editors, *Tutorials in bilingualism: psycholinguistic perspectives*. Mahwah, NJ: Lawrence Earlbaum, 113–42.

Mårtensson, J., Eriksson, J., Bodammer, N. C., Lindgren, M., Johansson, M., et al. 2012. Growth of language-related brain areas after foreign language learning. *NeuroImage* 63, 240–244.

McLaughlin, J., Osterhout, L., & Kim, Albert. 2004. Neural correlates of second language word learning: minimal instruction produces rapid change. *Nature Neuroscience* 7, 703–4.

Ojima, S., Nakata, H. and Kakigi, R. 2005: An ERPs study of second language learning after childhood: effects of proficiency. *Journal of Cognitive Neuroscience* 17, 1212–28. Osterhout, L. and Holcomb, P. 1992: Event-related brain potentials elicited by syntactic anomaly. *Journal of Memory and Language* 31, 785–806.

Osterhout, L., McLaughlin, J., Pitkänen, I., Frenck-Mestre, C. and Molinaro, N. 2006: Novice learners, longitudinal designs, and event related potentials: a means for exploring the neurocognition of second language processing. *Language Learning* 56, 199–203.

Rossi, S., Gugler, M.F., Friederici, A.D. and Hahne, A. 2006: The impact of proficiency on syntactic second-language processing of German and Italian: evidence from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18, 2030–48.

Schlegel, A. A., Rudelson, J. J., & Tse, P. U. 2012. White matter structure changes as adults learn a second language. *Journal of Cognitive Neuroscience* 24, 1664–1670.

Stein, M., Dierks, T., Brandeis, D., Wirth, M., Strik, W., et al. 2006. Plasticity in the adult language system: A longitudinal electrophysiological study on second language learning. *NeuroImage* 33, 774–783.

Stein, M., Federspiel, A., Koenig, T., Wirth, M., Lehmann, C., et al. 2009. Reduced frontal activation with increasing 2nd language proficiency. *Neuropsychologia* 47, 2712–20.

Tokowicz, N. and MacWhinney, B. 2005: Implicit and explicit measures of sensitivity to violations in second language grammar: an event-related potential investigation. *Studies in Second Language Acquisition* 27, 173–204.

Van Hell, J. G., & Tokowicz, N. (2010). Event-related brain potentials and second language learning: Syntactic processing in late L2 learners at different L2 proficiency levels. *Second Language Research*, 26(1), 43-74.

Weber-Fox, C.M. and Neville, H.J. 1996: Maturational constraints on functional specializations for language processing: ERPs and behavioural evidence in bilingual speakers. *Journal of Cognitive Neuroscience* 8, 231-56.

Yang, Jing, Gates, K. M., Molenaar, P., & Li, Ping. 2014. Neural changes underlying successful second language word learning: An fMRI study. *Journal of Neurolinguistics* 33, 29-49.