

Le interazioni tra training musicale e linguaggio a livello cerebrale

di Stefan Elmer

1. Il cervello dei musicisti come modello di neuroplasticità

Con l'avvento delle tecniche di neuro-immagine, negli ultimi trenta anni la disciplina delle neuroscienze cognitive ha contribuito a migliorare la comprensione delle complesse interrelazioni tra strutture e funzioni cerebrali. In aggiunta, questo ramo di ricerca ha enfatizzato i processi plastici di riorganizzazione del cervello che vengono mediati da sollecitazioni ambientali e regimi di allenamento in diversi ambiti²⁸. Numerosi lavori di ricerca hanno evidenziato la particolare idoneità del cervello dei musicisti professionisti per documentare cambiamenti funzionali e strutturali in regioni che sono responsabili del controllo della motricità²⁹, dell'elaborazione acustica³⁰ e di altre funzioni cognitive³¹, come per esempio la memoria a breve termine o la

-
- ²⁸ DRAGANSKI, B. ET AL. *Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning* in *Journal of Neuroscience* 26, 6314-6317 (2006) e HANGGI J., KOENEKE, S., BEZZOLA L. & JANCKE L., *Structural Neuroplasticity in the Sensorimotor Network of Professional Female Ballet Dancers* in *Human Brain Mapping* 31, 1196-1206 (2010).
- ²⁹ BANGERT M. & SCHLAUG G. *Specialization of the specialized in features of external human brain morphology* in *European Journal of Neuroscience* 24, 1832-1834 (2006) e IMFELD A., OECHSLIN M. S., MEYER M., LOENNEKER T. & JANCKE L., *White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: a diffusion tensor imaging study*. In *Neuroimage* 46, 600-607, doi:10.1016/j.neuroimage.2009.02.025 (2009).
- ³⁰ HYDE, K. L. ET AL. *Musical Training Shapes Structural Brain Development* in *Journal of Neuroscience* 29, 3019-3025 (2009); KUHNIS J., ELMER S., MEYER M. & JANCKE L., *The encoding of vowels and temporal speech cues in the auditory cortex of professional musicians: An EEG study* in *Neuropsychologia* 51, 1608-1618 (2013); MARIE C., KUJALA T. & BESSON M., *Musical and linguistic expertise influence pre-attentive and attentive processing of non-speech sounds* in *Cortex* 48, 447-457 (2012).
- ³¹ SCHULZE K. & KOELSCH S., *Working memory for speech and music* in *Neurosciences and Music Iv: Learning and Memory* 1252, 229-236 (2012); ZUK J., BENJAMIN C., KENYON, A. & GAAB N., *Behavioral and Neural Correlates of Executive Functioning in Musicians and Non-Musicians* (vol 9, e99868, 2014). *Plos One* 10 (2015)

memoria di lavoro. I fattori più importanti che rendono i musicisti professionisti particolarmente idonei per oggettivare effetti plastici sono l'inizio precoce del *training* (normalmente prima del settimo anno di età) e le parecchie ore di allenamento accumulate durante la carriera (più di 10.000 ore di allenamento fino alla maggiore età)³².

2. *Training* musicale e elaborazione del linguaggio

2.1. L'elaborazione corticale di sillabe e vocali

Dopo avere documentato gli effetti plastici associati con il *training* musicale, nell'ultimo decennio la disciplina delle neuroscienze cognitive ha cominciato a interessarsi di possibili effetti *transfer* tra musica e linguaggio³³. Questa disciplina scientifica relativamente recente si basa su un corpo di evidenze abbastanza ampio che suggerisce (1) una sovrapposizione parziale delle reti neurali che rispondono sia alla musica che al linguaggio, (2) un alto grado di similarità acustica tra suoni musicali e vocali, e

3) cambiamenti plastici indotti dal *training* musicale in regioni responsabili per l'elaborazione del linguaggio³⁴. Basandosi sul fatto che i segnali acustici vengono elaborati in primo luogo dalla corteccia uditiva, diversi gruppi di ricerca hanno cominciato a misurare la risposta del cervello di musicisti e non-musicisti a elementi basilari del linguaggio, cioè vocali e sillabe (consonante-vocale)³⁵. Il "planum temporale" è una struttura cerebrale che fa parte della corteccia uditiva ed è specializzata nell'elaborazione spettrale e temporale di segnali acustici³⁶. Il "planum temporale" dell'emisfero sinistro è particolarmente specializzato nelle analisi temporali (importante per la percezione delle sillabe), quello destro invece dimostra una risoluzione spettrale (importante per la percezione delle vocali) maggiore.

Basandoci su studi precedenti che hanno dimostrato un'espansione strutturale del "planum temporale" sinistro in musicisti professionisti³⁷, in una serie di studi abbiamo verificato se i musicisti siano avvantaggiati nella discriminazione e categorizzazione di sillabe³⁸.

-
- ³² ERICSSON K. A., *The role of deliberate practice in the acquisition and maintenance of expert performance* in *Int J Psychol* 31, 4661-4661 (1996).
ERICSSON K. A., KRAMPE R. T. & TESHCHROMER C., *The Role of Deliberate Practice in the Acquisition of Expert Performance* in *Psychol Rev* 100, 363-406, doi:Doi 10.1037/0033-295x.100.3.363 (1993).
- ³³ PATEL A. D., *Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis*, *Front Psychol* 2, doi:ARTN 142, 10.3389/fpsyg.2011.00142 (2011)
- ³⁴ BESSON M., CHOBERT J. & MARIE C., *Transfer of training between music and speech: common processing, attention, and memory*, in *Front Psychol* 2 (2011); PATEL A. D., *ivi*.
- ³⁵ PATEL A. D., *ivi*.
- ³⁶ GRIFFITHS T. D. & WARREN J. D., *The planum temporale as a computational hub* in *Trends in Neurosciences* 25, 348-353 (2002).
- ³⁷ LUDERS E., GASER C., JANCKE L. & SCHLAUG G., *A voxel-based approach to gray matter asymmetries* in *Neuroimage* 22, 656-664 (2004).
- ³⁸ ELMER S., HANGGI J. & JANCKE L., *Interhemispheric transcallosal connectivity between the left and right planum temporale predicts musicianship, performance in temporal speech processing, and functional specialization* in *Brain Struct Funct* 221, 331-344, doi:10.1007/s00429-014-0910-x (2016); ELMER S., HÄNGGI J., MEYER M. & JÄNCKE L., *Increased cortical surface area of the left planum temporale in musicians facilitates the categorization of phonetic and temporal speech sounds* in *Cortex* doi:p11: S0010-9452(13)00090-7. 10.1016/j.cortex.2013.03.007. [Epub ahead of print] (2013); ELMER S., MEYER M. & JANCKE L., *Neurofunctional and Behavioral Correlates of Phonetic and Temporal Categorization in Musically Trained and Untrained Subjects*, in *Cereb Cortex* 22, 650-658 (2012).

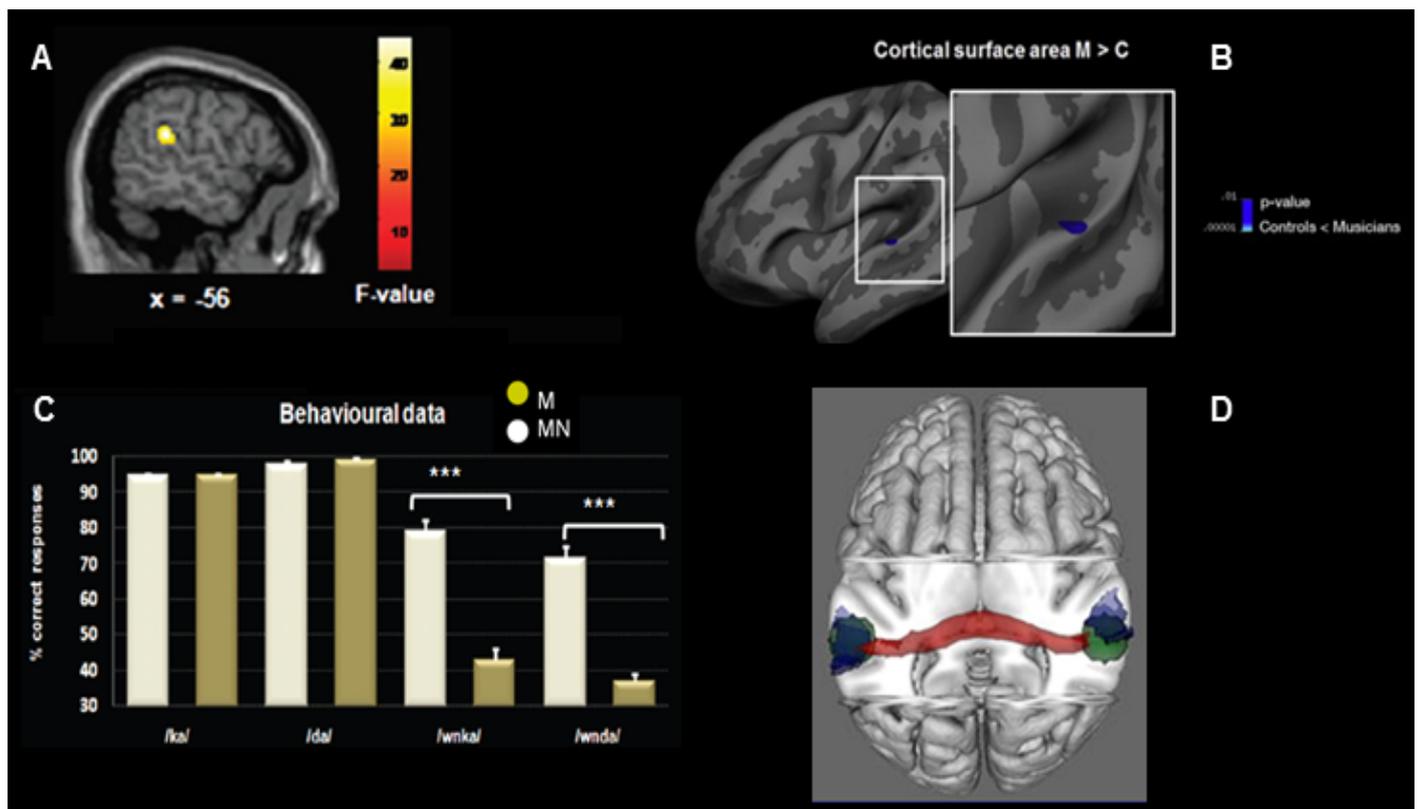


Figura 1: A = Attività cerebrale maggiore nei musicisti (M) rispetto ai non-musicisti (NM) nel “planum temporale” sinistro. B = Area di superficie maggiore del “planum temporale” sinistro nei musicisti rispetto ai non-musicisti. C = dati comportamentali dei musicisti e non-musicisti. D = Fascio nervoso che collega il “planum temporale” destro con quello sinistro.

Le analisi dei dati comportamentali hanno effettivamente dimostrato un vantaggio dei musicisti nell’elaborazione di questi elementi basilari del linguaggio. In aggiunta, la migliore prestazione dei musicisti era accompagnata da un’espansione della superficie del “planum temporale” sinistro³⁹ e da un aumento dell’attività cerebrale nella stessa regione⁴⁰. Abbiamo anche riscontrato una correlazione tra il grado di mielinizzazione del fascio nervoso che collega il “planum temporale” dei due emisferi, la prestazione comportamentale dei partecipanti durante il compito di categorizzazione fonetica e l’attività del “planum temporale” sinistro⁴¹. Nel loro insieme, questi risultati suggeriscono che i vantaggi comportamentali dei musicisti nell’elaborazione di sillabe (e vocali) non

dipendono solo dall’architettura funzionale e strutturale della corteccia uditiva ma anche dalla “divisione del lavoro” all’interno del sistema uditivo (connettività di tipo strutturale e funzionale). In futuro, bisognerà cercare di capire come questi effetti plastici che sono osservabili su più scale, interagiscono con il tipo di allenamento musicale, l’inizio del *training*, e le ore di allenamento musicale.

2.2. L’apprendimento della discriminazione fonetica

Dopo aver documentato cambiamenti funzionali e strutturali del sistema uditivo che portano a vantaggi comportamentali dei musicisti nella discriminazione e categorizzazione di sillabe, abbiamo sviluppato nuovi

³⁹ ELMER S., HÄNGGI J., MEYER M. & JÄNCKE L., Ivi.

⁴⁰ ELMER S., MEYER M. & JANCKE L., Ivi.

⁴¹ ELMER S., HÄNGGI J. & JANCKE L., Ivi.

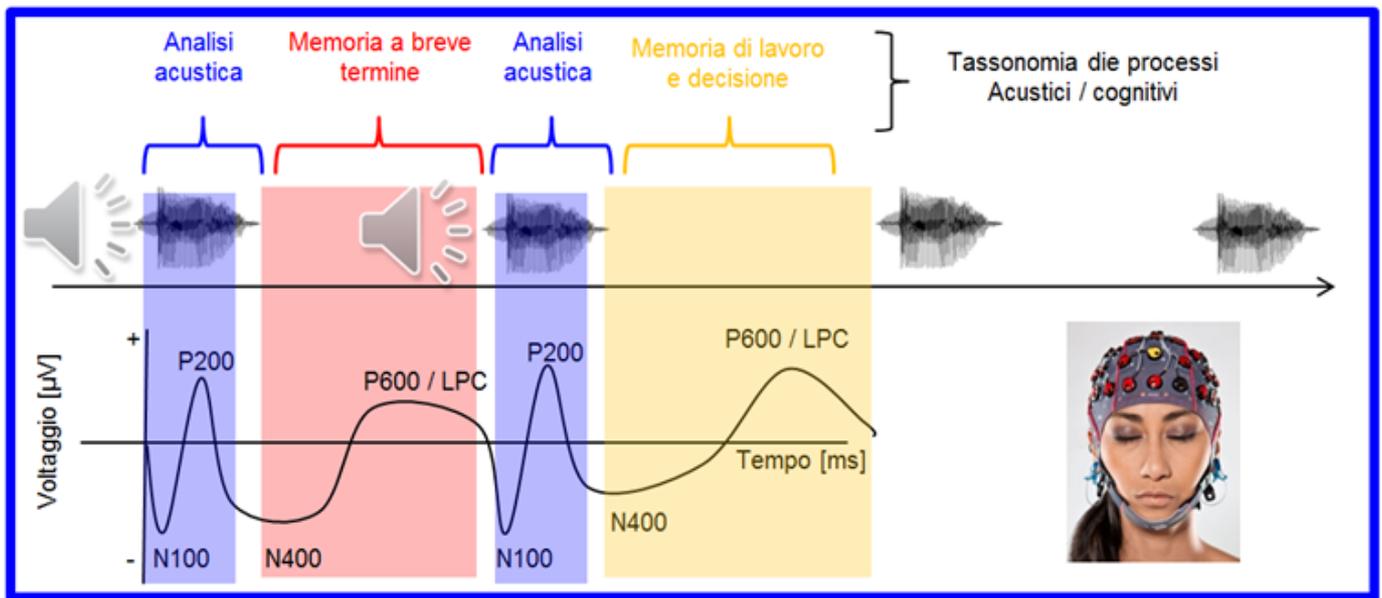


Figura 2: Dinamica temporale dell'esperimento concernente l'apprendimento della discriminazione fonetica, tassonomia dei processi acustici e cognitivi, e risposte encefalografiche.

esperimenti per esaminare possibili interazioni tra percezione fonetica e processi mnemonici. In questo ambito, abbiamo usato l'elettroencefalografia per misurare l'attività cerebrale di un gruppo di musicisti e non-musicisti mentre i partecipanti dovevano apprendere a distinguere due sillabe (consonante-vocale) manipolate nella dimensione spettrale della vocale (prima formante, 364-476 Hz) presentate in successione con un tempo di esposizione di 300 ms, un intervallo di 1 secondo tra i due stimoli e un intervallo di 1.5 secondi prima di presentare la successiva combinazione di sillabe⁴².

Usando un esperimento di questo tipo siamo in grado di definire una tassonomia dei processi acustici e cognitivi necessari per svolgere il compito di discriminazione fonetica. Come visibile nella *figura 2*, la codifica dei due stimoli richiede una analisi spettro-temporale delle sillabe. In aggiunta, per svolgere il compito, il primo stimolo deve essere tenuto nella memoria a breve termine e le tracce mnemoniche del primo e secondo stimolo devono essere paragonate (memoria di lavoro) in

modo da poter giudicare la similarità acustica tra le due sillabe. Tutti questi processi acustici e mnemonici possono essere associati a delle caratteristiche curve dell'elettroencefalogramma. Le analisi acustiche evocano un potenziale elettrico chiamato complesso N100/P200 che rispecchia l'attività della corteccia uditiva.

D'altro canto i processi mnemonici sono associati a risposte toniche tra 400 e 1000 ms (N400 e LPC).

L'analisi dei dati comportamentali ha rivelato tempi di reazione generalmente più brevi nei musicisti rispetto ai non-musicisti. In aggiunta, i musicisti commettono meno errori nel compito di discriminazione fonetica, ma solo nel terzo blocco dell'esperimento.

Questi dati comportamentali sono particolarmente interessanti perché dimostrano che il vantaggio dei musicisti nel discriminare fonemi che fanno parte del repertorio linguistico della lingua nativa è mediato da un processo di apprendimento più rapido piuttosto che da un vantaggio di tipo generico. Infine, è interessante notare che le analisi elettroencefalografiche hanno dimostrato

⁴² ELMER S., GREBER M., PUSHPARAJ A., KUHNIS J. & JANCKE L., *Faster native vowel discrimination learning in musicians is mediated by an optimization of mnemonic functions*, in *Neuropsychologia* 104, 64-75, doi:10.1016/j.neuropsychologia.2017.08.001 (2017).

che i due gruppi non differiscono nell'ampiezza del complesso N100/P200 ma solo nelle risposte elettroencefalografiche tardive (N400 e LPC).

Questi risultati suggeriscono che i vantaggi dei musicisti nell'apprendimento della discriminazione fonetica non sono ristretti a una migliore risoluzione del sistema uditivo ma possono anche essere mediati da un'ottimizzazione dei processi mnemonici.

2.3. La segmentazione del linguaggio e l'apprendimento del significato di nuove parole

La segmentazione del linguaggio è uno dei processi basilari che contribuisce all'identificazione delle parole all'interno di un segnale acustico continuo come il linguaggio. Infatti, adulti che imparano una lingua straniera (per esempio il cinese) devono essere in grado di riconoscere i punti di transizione che indicano dove inizia e dove finisce una parola. Diversi esperimenti condotti con neonati hanno dimostrato che il riconoscimento di singole parole è mediato dalla transizione probabilistica delle sillabe, ovvero dalla probabilità di successione di sillabe che formano una parola⁴³. Recentemente, un gruppo di ricerca di Barcellona⁴⁴ che ha analizzato la connettività di tipo strutturale e funzionale del cervello, ha fatto vedere che partecipanti adulti (non-musicisti), che imparano meglio a ricordare delle pseudo-parole presentate in modo acustico all'interno di un flusso continuo di altre pseudo-parole, dimostrano una connettività maggiore

nell'emisfero sinistro tra la corteccia uditiva e l'area di Broca. Questi risultati indicano che la segmentazione del linguaggio necessita la comunicazione tra il sistema uditivo e centri articolatori situati nel lobo frontale. Ispirati da questi risultati, abbiamo tentato di effettuare un esperimento simile con un gruppo di musicisti e non-musicisti focalizzandoci sulla connettività funzionale misurata con l'elettroencefalografia⁴⁵.

Questo studio era motivato dal fatto che musicisti professionisti spesso dimostrano una connettività strutturale e funzionale maggiore tra il lobo temporale-parietale e frontale. Le analisi dei dati comportamentali dimostrano che i musicisti hanno un vantaggio nella segmentazione del linguaggio e si ricordano più pseudo-parole dei non-musicisti. In aggiunta, come da ipotesi, i musicisti erano caratterizzati da una connettività maggiore nell'emisfero sinistro tra il lobo parietale e l'area di Broca.

In un ultimo esperimento ci siamo chiesti se i musicisti dimostrano anche vantaggi simili quando si tratta di imparare il significato di nuove parole. Vantaggi di questo genere potrebbero avere origine nell'ottimizzazione delle funzioni uditive o cognitive che vengono mediate tramite l'allenamento musicale. In collaborazione con un gruppo di ricerca di Marsiglia⁴⁶, abbiamo presentato a un gruppo di musicisti e non-musicisti delle sillabe della lingua thai che variavano in diversi parametri acustici in associazione con delle immagini. Il compito dei partecipanti era di imparare il significato di queste nuove parole thai (per

⁴³ KUHL P. K., *Early language acquisition: Cracking the speech code*, in *Nature Reviews Neuroscience* 5, 831-843 (2004).

⁴⁴ LOPEZ-BARROSO, D. ET AL., *Word learning is mediated by the left arcuate fasciculus* in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, 13168-13173 (2013).

⁴⁵ ELMER S., ALBRECHT, J., VALIZADEH S. A., FRANCOIS, C. & RODRIGUEZ-FORNELLS A., *Theta Coherence Asymmetry in the Dorsal Stream of Musicians Facilitates Word Learning*, in *Sci Rep* 8, 4565, doi:10.1038/s41598-018-22942-1 (2018).

⁴⁶ DITTINGER E. ET AL. *Professional music training and novel word learning: from faster semantic encoding to longer-lasting word representations*, in *Journal of Cognitive Neuroscience* 28, 1584-1602 (2016).

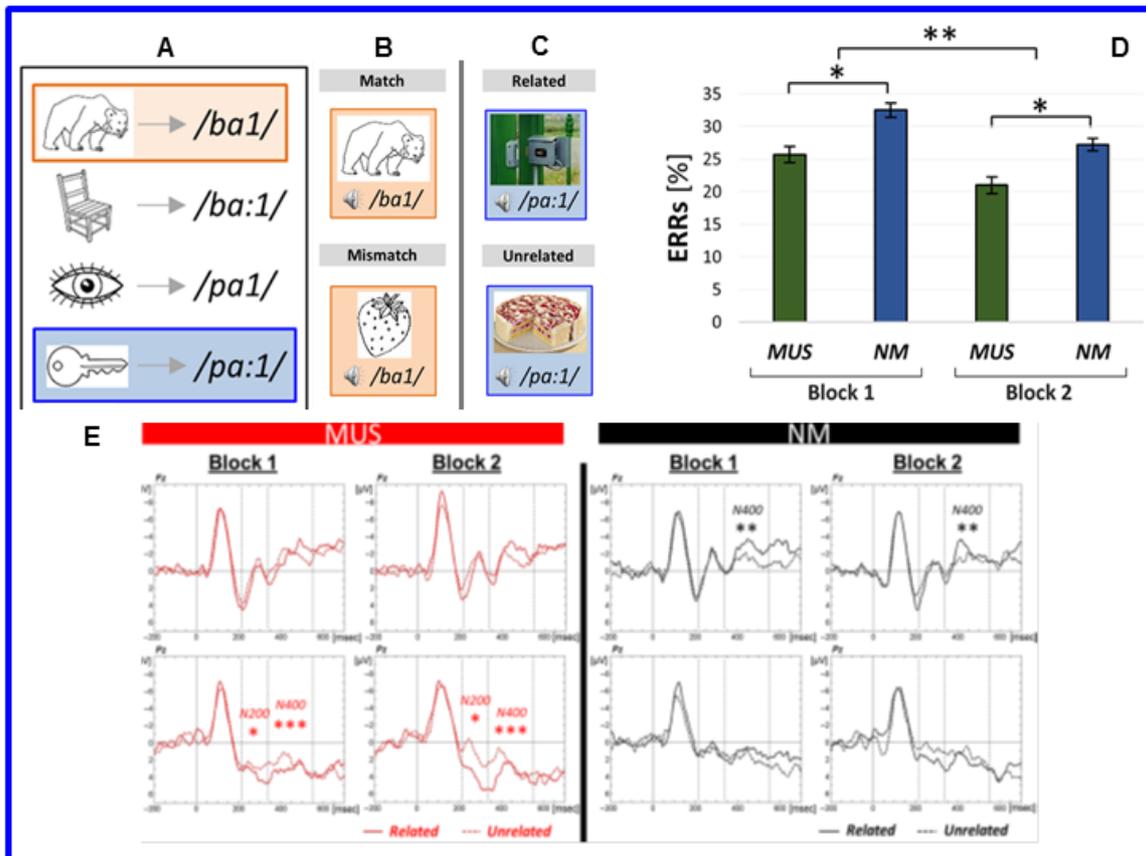


Figura 3: A = fase di apprendimento; B = fase associativa; C = fase semantica. D = dati comportamentali (MUS = musicisti, NM = non-musicisti). E = dati elettroencefalografici.

esempio /pa/ = orso polare). L'esperimento comprendeva tre fasi, una fase di apprendimento, una fase associativa, e una fase semantica. Nella fase di apprendimento i partecipanti dovevano imparare le nuove associazioni. Nella fase associativa i partecipanti avevano il compito di decidere se le combinazioni di parole e immagini corrispondevano a quelle apprese nella prima fase. Infine, nella fase semantica abbiamo usato delle nuove immagini che erano semanticamente affini (per esempio l'immagine di una fragola e una torta di fragole) o non affini a quelle imparate in precedenza. Quest'ultima manipolazione è stata usata soprattutto per accertare che i partecipanti non imparassero solo le associazioni tra parole e immagini ma risolvessero il compito tramite un accesso alla memoria lessicale-semantica. Anche in questo esperimento abbiamo osservato un vantaggio comportamentale nei musicisti, ma solo nel compito

semantico. In aggiunta, le analisi elettroencefalografiche hanno dimostrato che solo i musicisti mostravano tipiche curve dell'encefalogramma sul lobo parietale che sono caratteristiche per un accesso di tipo lessicale-semantico (componente N400). Questo ultimo studio è particolarmente interessante perché mostra che i vantaggi dei musicisti non sono solo ristretti a semplici analisi acustiche o funzioni mnemoniche ma si estendono a funzioni complesse del linguaggio come l'apprendimento di nuove parole.

3. Conclusioni

- Il training musicale influenza la struttura e la funzione del cervello sin dalla giovane età (neuroplasticità)
- La neuroplasticità è un fenomeno sistemico e non locale

- Il training musicale facilita l'elaborazione spettro-temporale di sillabe e vocali tramite l'ottimizzazione di processi acustici e cognitivi
- I musicisti dimostrano vantaggi nella segmentazione del linguaggio e sono facilitati nell'apprendimento di nuove parole
- Le relazioni tra training musicale e linguaggio si possono osservare già durante l'infanzia e vengono conservate in età avanzata