

Apim – Associazione Professionale Italiana Musicoterapeuti

Musica & Terapia

Corso Triennale di Musicoterapia – Torino

Neuroplasticità e Musicoterapia



Relatore:

Dott. Gerardo Manarolo

Candidato:

Mariangela Rendini

Alla mia famiglia a cui dedico ogni mio successo.

A Donato che ormai ne fa parte.

Ad Annalisa, compagna di vita.

A Dario, amico e collega insostituibile.

Al Dott. Gerardo Manarolo che ha pazientemente revisionato questa tesi ed accolto e compreso ogni mia esigenza personale che mi hanno portato a rimandare più volte la discussione della stessa.

Al presidente Vincenzo Deluci che ho avuto modo di conoscere grazie a questa formazione: all'uomo e al professionista.

A tutti i bambini ed i ragazzi con i quali ho avuto modo di svolgere il tirocinio curriculare che mi hanno permesso di accrescere le mie conoscenze e competenze.

Indice generale

Abstract.....	3
Introduzione.....	5
1. IL CERVELLO NEUROPLASTICO.....	7
1.1. Teorie del cervello.....	8
1.2. La nuova scienza della mente.....	15
1.3. Epigenetica.....	18
1.4. La plasticità cerebrale.....	22
1.4.1. Plasticità strutturale.....	24
1.4.2. Plasticità funzionale.....	26
1.4.3. Plasticità strutturale e funzionale: processi distinti?.....	29
2. NEUROPLASTICITÀ E MUSICA.....	31
2.1. Pratica musicale e funzioni cognitive.....	34
2.2. Potenziali elettrici cerebrali.....	35
2.3. Modificazioni plastiche cerebrali.....	39
2.4. Sistema uditivo e neuroplasticità.....	42
2.5. Neuroplasticità, musica ed emozioni.....	43
2.6. Esami strumentali ed evidenze scientifiche.....	49
3. NEUROPLASTICITÀ E MUSICOTERAPIA.....	55
3.1. Ictus, trauma cranico e Musicoterapia.....	56
3.2. Disturbi del linguaggio e Musicoterapia.....	59
3.3. Demenza, memoria e Musicoterapia.....	63
3.4. Autismo e Musicoterapia.....	70

3.5. Casi Clinici.....	75
3.5.1. Il caso di O. A.	75
3.5.2. Il caso di L. C.	78
Appendice.....	83
Conclusioni.....	89
Bibliografia.....	91

Abstract

Questa tesi ha lo scopo di indagare, con una analisi critica della bibliografia pubblicata sul tema se vi sono delle effettive modificazioni cerebrali, sia da un punto di vista strutturale che funzionale, in soggetti esposti o coinvolti nella pratica musicale. Ricerche recenti e teorie neuroplastiche con l'ausilio delle *neuroimaging* lo hanno dimostrato. Queste scoperte hanno permesso di dare una validità scientifica alle tecniche musicoterapiche testimoniandone la validità e l'efficacia in vari contesti riabilitativi.

Introduzione

La musica nasce e si articola in molteplici forme e con diverse funzioni ovunque esiste vita e comunicazione umana. Ogni società possiede la propria musica esattamente come la propria lingua e cultura. Riveste quindi un ruolo importantissimo nella vita di ogni individuo e viene appresa esattamente come il linguaggio, coinvolgendo più sistemi ed aree cerebrali.

Lo scopo di questa tesi è quello di analizzare e mettere in evidenza le aree cerebrali e le strutture coinvolte nell'apprendimento e nell'esecuzione musicale evidenziando le analogie e le differenze strutturali e funzionali presenti in musicisti e non musicisti. Grazie al contributo di numerosi studi questo è stato dimostrato concretamente, mettendo in luce il potenziale plastico del cervello umano.

La neuroplasticità è una risorsa umana fondamentale: la capacità del cervello di rimodellarsi, adattandosi e riorganizzandosi dopo una determinata pratica dà piena conferma alla possibile efficacia di determinate tecniche riabilitative.

La musicoterapia rientra tra queste: il potere della musica di modificare l'attività neuronale all'interno di determinate strutture cerebrali ha implicazioni per lo sviluppo di terapie basate sulla musica per il trattamento di disturbi neurologici e psichiatrici associati a disfunzioni e ad anomalie morfologiche delle stesse (Koelsch, 2014).

La prima parte della tesi presenta un breve excursus storico relativo ai primi studi su cervello fino alle recenti tesi neuroplastiche, segue il secondo capitolo con una illustrazione delle attuali ricerche che

testimoniano le differenze strutturali e funzionali presenti in musicisti e non musicisti, differenze riscontrabili e dimostrate anche a livello cognitivo ed emotivo.

L'ultimo capitolo dimostra infine come la pratica musicoterapica porti a delle effettive modificazioni morfologiche e strutturali testimoniandone scientificamente l'efficacia in più contesti riabilitativi.

1. IL CERVELLO NEUROPLASTICO

Le vecchie teorie, tra le quali figura anche la psicologia dell'età evolutiva, ritenevano che il cervello fosse immutabile e che lo sviluppo psichico presentasse una fase di evoluzione, alla quale seguiva una fase di stabilità in età adulta ed infine una fase di involuzione in età senile (Camaioni, 2007).

Secondo questa vecchia teoria dopo l'infanzia il cervello andava incontro a cambiamenti dovuti solo ed unicamente ad un processo di deterioramento che durava per tutta la vita.

Questa convinzione si basava su tre principi (Doiige, 2007):

- 1) Pazienti con danni cerebrali raramente andavano incontro ad una guarigione completa;
- 2) Impossibilità di osservare a livello microscopico le attività del cervello vivo;
- 3) Cervello simile ad una macchina;

Utilizzando la metafora della macchina gli scienziati descrivevano il cervello assimilandolo ad una macchina costituita da parti, ciascuna con una funzione ben precisa da svolgere in cui l'unico cambiamento possibile con l'invecchiamento era la degenerazione dovuta all'uso, esattamente come una macchina che con il tempo si usura; perciò qualunque tentativo da parte di persone anziane di limitare il declino cerebrale, con l'utilizzo di esercizi specifici, era considerato inutile (Mecacci, 1982).

Studi successivi, tra i primi quelli di Vincenzo Giacinto Malacarne, hanno dimostrato l'esistenza della neuroplasticità: studiosi dotati di strumenti

opportuni che permettevano l'osservazione delle attività microscopiche del cervello vivente hanno provato che questo organo è in realtà in grado di modificarsi con il funzionamento (Doidge, 2007).

Di seguito è riportata brevemente la storia delle ricerche e delle scoperte che hanno dato nel tempo il loro contributo nello studio del cervello, fino a giungere all'attuale concezione di neuroplasticità.

1.1 . Teorie del cervello

Gli studi sul cervello sono passati dalla tassonomia cranica alla biologia cellulare e alla genetica (Fantini, 1976). Le ricerche non sono mai state lineari e non vi è stato un progresso unidirezionale che abbia portato alla conoscenza effettiva della logica del funzionamento cerebrale.

Il primo Novecento è stato dominato da tre correnti di pensiero che hanno cercato costantemente di prevalere l'una sull'altra (Fantini, 1976):

- Neolamarckismo: questa prima corrente accettava l'idea dell'ereditarietà dei caratteri acquisiti ma rifiutava quella della selezione naturale e delle mutazioni. Divenuta la teoria ufficiale della genetica sovietica con Lysenko nel 1948, rifiutava l'indeterminismo proprio della teoria evoluzionistica, definendolo un caos incontrollabile che sbarrava la strada ad ogni previsione scientifica, venendo così meno la pratica. Questa prima corrente non era pienamente materialistica, ma vitalistica, in quanto riconosceva la capacità dell'uomo di intervenire nell'evoluzione, negando la realtà materiale delle cause dell'evoluzione ed introducendo aspetti finalistici.

- Evoluzionistica: secondo questa seconda corrente il mondo organico è completamente dominato dal caso. L'origine delle variazioni evolutive è interna e va individuata nelle mutazioni imprevedibili subite dal substrato materiale dell'eredità. Per i mutazionisti le mutazioni sono l'unico modo in cui avviene l'evoluzione e la selezione naturale ha un compito unicamente negativo in quanto elimina i mutanti non adatti ad un certo ambiente.

L'evoluzione perciò è frutto del puro caso dato che le mutazioni sono fortuite e non orientate ad un adattamento.

- Neodarwiniana: per questa terza e ultima corrente un mondo completamente dominato dal caso è impossibile, deve necessariamente esserci un meccanicismo che spieghi materialisticamente l'interazione che viene a crearsi tra organismo e ambiente ai fini dell'adattamento. Questo meccanismo è per i darwinisti la sola selezione naturale ed ogni adattamento può essere spiegato grazie all'onnipotenza della selezione naturale. Quindi l'evoluzione è dovuta a cause interne e a cause esterne ed è determinata. Parlano di un determinismo statistico nel quale hanno un ruolo importante i fattori storici, l'esperienza passata della specie insita nel patrimonio genetico.

I tentativi di ridurre le funzioni cerebrali a quelle neuronali iniziarono dopo la scoperta del neurone, rivelandosi però insoddisfacenti per una adeguata comprensione del ruolo del cervello nel comportamento (Mecacci, 1982).

La riduzione dei processi psichici a funzioni cerebrali localizzate in strutture ben determinate invece ha avuto come riferimento teorico un principio fondamentale, utilizzato da secoli e assunto come paradigma delle scienze del comportamento e delle neuroscienze: l'arco riflesso.

L'arco riflesso è stato ed è ad oggi lo scheletro della costruzione realizzata dagli studiosi del cervello e del comportamento ed è costituita da tre elementi fondamentali (Mecacci, 1982):

- Ricezione dell'informazione;
- Elaborazione dell'informazione;
- Risposta comportamentale effettiva;

Secondo Cartesio la ricezione dell'informazione e la risposta comportamentale erano visibili esternamente mentre l'elaborazione dell'informazione poteva solo essere ipotizzata (Mecacci, 1982).

Sono state moltissime le ricerche compiute nella prima metà dell'ottocento per determinare la realtà anatomica e fisiologica dell'arco riflesso (Mecacci, 1982).

Skinner ha osservato che è la formulazione meccanicistica cartesiana a divenire il paradigma di tutte le successive teorie sul comportamento inteso come catena di riflessi. Nel modello cartesiano si distinguono vari studi e processi principali (ibidem):

- La ricezione periferica dello stimolo
- La trasmissione dell'impulso al cervello
- Un processo cerebrale
- Trasmissione dell'impulso del cervello alla periferia
- Esecuzione della risposta

Gli stadi del movimento invece sono tre (Mecacci, 1982):

- 1) Recezione e trasmissione dell'impulso dalla periferia al centro cerebrale;
- 2) Elaborazione della risposta nel centro cerebrale;
- 3) Esecuzione della risposta motoria;

La relazione tra funzioni psichiche e la struttura del cervello divenne invece oggetto di indagine sistemica alla fine del XIX: Franz J. Gall sostenne che le varie facoltà psichiche erano localizzate in zone diverse del cervello (Fantini, 1976). Gall ed il suo collaboratore Spurzheim furono i principali esponenti di un movimento che divenne molto popolare: la frenologia, che si diffuse soprattutto in Europa e negli Stati Uniti (Fantini, 1976). I principi della dottrina di Gall, basati sull'identità tra cervello e psiche, rappresentano una acquisizione importante degli studi sulle funzioni cerebrali.

Il localizzazionismo invece venne meno all'esigenza di oggettività espressa da Gall, ogni facoltà veniva sovrapposta all'anatomia cerebrale senza una concreta indagine dell'organizzazione del cervello.

Lo studio della localizzazione delle funzioni psichiche in aree cerebrali distinte è stato condotto nella metà del secolo XIX con metodi e tecniche diverse (Mecacci, 1982):

- Ablazione: tecnica più usata;
- Stimolazione della corteccia in punti specifici per stabilire la funzione della zona stimolata;
- Registrazione dell'attività elettrica cerebrale;

Flourens fu uno dei primi studiosi ad avvalersi della tecnica delle ablazioni di strutture delimitate dal cervello per determinarne le relative funzioni (Mecacci, 1982).

Apportò un'importante distinzione tra:

- Azione propria: specifica di una struttura cerebrale;
- Azione comune: svolta assieme ad altre strutture nervose nella regolazione del comportamento;

Tra i primi oppositori della corrente localizzazionistica va ricordato Leonardo Bianchi, il quale sosteneva la tesi che le funzioni psichiche non sono altro che l'integrazione di funzioni più elementari localizzate nelle varie aree cerebrali, quindi pensiero, volontà e tutte queste manifestazioni superiori della psiche non sono localizzabili ma il prodotto dell'attività di tutto il cervello (Mecacci, 1982).

Alla fine del XIX secolo la teoria dell'evoluzione delle specie animali funse da anello di congiunzione tra le ricerche sul cervello e quelle sul comportamento.

Darwin mise in relazione l'evoluzione del cervello e lo sviluppo della mente: sviluppandosi le varie facoltà mentali il cervello doveva necessariamente diventare più grande (Mecacci, 1982). Questa relazione fu condivisa dal neurologo inglese Jackson che concepì i vari centri del sistema nervoso secondo una scala gerarchica: i centri con funzioni complesse sono le strutture che filogeneticamente si sono sviluppati più recentemente (Mecacci, 1982). La concezione evoluzionistica di Jackson ha avuto una influenza importante sulle ricerche neurologiche di Freud e sui concetti della teoria psicoanalitica. Se nelle teorie delle funzioni cerebrali precedentemente citate ci si basava su dati sperimentali in cui con tecniche diverse si interveniva direttamente sull'attività cerebrale, nella teoria elaborata da Pavlov invece venne introdotta un'importante innovazione: l'elaborazione di un modello dell'attività cerebrale

esplicativo del comportamento osservato nell'animale in situazioni sperimentali controllate, senza alcun intervento diretto sul cervello (Mecacci, 1982). Le ricerche di Pavlov si concentrarono soprattutto sul riflesso condizionato: forma complessa di comportamento sviluppata dall'animale per un'interazione plastica con l'ambiente. Gli esperimenti condotti furono un riferimento essenziale nella ricerca sui processi di apprendimento, anche per gli psicologi che non aderivano completamente al modello pavloviano. Fino al 1955 la scuola pavloviana fu il principale indirizzo di ricerca in Unione Sovietica sul rapporto tra cervello e comportamento.

Nel 1920 nella letteratura neurofisiologica si diffuse l'elaborazione di principi funzionali che mettevano in evidenza l'attività integrata delle varie parti del cervello nello spiegamento dei processi comportamentali, importanti furono (Mecacci, 1982):

- il principio della diaschisi: concepito dal neurologo svizzero Monakow per descrivere la diffusione degli effetti della lesione dell'area colpita alle altre strutture connesse ad essa;
- Il concetto di vigilanza: introdotto dal neurologo inglese Head. Un elevato stato di efficienza fisiologica è assicurato dall'attività integrata di tutto il sistema nervoso, essenziale per il comportamento;

Tra il 1950 e il 1960 iniziò la tendenza ad assimilare il funzionamento del cervello a quello di un calcolatore, Shannon e Neumann da una parte mostrarono un certo interesse per questa analogia per comprendere i meccanismi cerebrali, dall'altra ne sottolinearono le differenze strutturali e funzionali tra i due sistemi (Mecacci, 1982).

Il progresso delle neuroscienze negli ultimi anni è dovuto sia alla convergenza teorica e sperimentale di vari indirizzi di ricerca, sia allo sviluppo tecnologico.

L'organizzazione neuronale dei processi sensoriali e percettivi è stato uno dei temi di ricerca più fertili delle neuroscienze contemporanee.

Le ricerche sui neuroni della corteccia visiva hanno avuto una influenza generale sull'elaborazione di questi modelli neurofisiologici della percezione.

Lo studio delle funzioni psichiche del cervello umano si è sviluppato in questi ultimi anni lungo due direzioni principali (Mecacci, 1982):

- Tecniche elettrofisiologiche: oggetto della ricerca erano la correlazione tra i processi fisiologici e i processi psichici in soggetti non affetti da disturbi organici cerebrali;
- Neuropsicologia: studiando soggetti con lesioni cerebrali sia per una più precisa diagnosi dei disturbi cognitivi conseguenti a danni cerebrali, sia per conseguire una conoscenza più approfondita della stessa organizzazione cerebrale nei soggetti sani. Una svolta decisiva nella neuropsicologia è stata determinata dagli studi sul cervello diviso che hanno permesso di precisare le funzioni specifiche dei due emisferi cerebrali.

Una straordinaria scoperta nel Novecento ha dato la svolta decisiva agli studi sul cervello (Doidge, 2007): il cervello modifica la propria struttura, perfezionando i propri circuiti in modo da adattarli più efficacemente al compito da svolgere.

Questa scoperta ha mostrato che:

- i bambini non sono sempre legati alle abilità mentali di cui dispongono dalla nascita;
- un cervello danneggiato può riorganizzarsi e quando una parte smette di funzionare l'altra la sostituisce;
- quando muoiono le cellule cerebrali possono essere sostituite;
- molti circuiti che pensiamo cablati non lo sono assolutamente;
- pensiero, apprendimento e azione: attivano o disattivano i geni modellando l'anatomia cerebrali e il comportamento di un individuo.

Tra i vari ricercatori, uno dei nomi più importanti che ha dato un contributo decisivo per gli studi neuroplastici è Eric Kandel, dimostrando che con l'apprendimento le connessioni fra neuroni aumentano (Doidge, 2007).

1.2 . La nuova scienza della mente

La scoperta della struttura del DNA nel 1953 con Watson e Crick rivoluzionò la biologia permettendo di capire come l'informazione dai geni controlla il funzionamento della cellula, questo ha permesso di comprendere come i geni sono regolati, come danno origine alle proteine che determinano il funzionamento delle cellule e di come lo sviluppo attiva e disattiva geni e proteine per definire lo schema corporeo di un organismo (Kandel, 2007).

La biologia ha quindi assunto, grazie ai sensazionali risultati, un ruolo determinante, centrale all'interno delle discipline scientifiche.

Tra le varie tematiche, uno degli obiettivi recenti della materia riguarda la comprensione della natura biologica della mente umana. Le recenti

scoperte relative all'argomento non sono state realizzate dalle discipline che per tradizione sono interessate alla mente umana (filosofia, psicologia), ma derivano da una combinazione di queste materie con la biologia del cervello (Kandel, 2007).

Questo ha portato ad una nuova scienza della mente che utilizza le proprie risorse per esaminare i misteri della vita che non sono ancora stati risolti.

La nuova scienza si fonda su cinque principi (Kandel, 2007):

- 1) Mente e cervello sono inseparabili: il cervello è un organo biologico complesso che costruisce le esperienze sensoriali, regola i pensieri, le emozioni e controlla le azioni. Il cervello perciò è responsabile non solo di comportamenti motori semplici ma anche di atti complessi che sono l'essenza e che contraddistinguono l'essere umano: pensiero, parola, etc. Vista in questa prospettiva quindi la mente è una serie di operazioni svolte dal cervello;
- 2) Tutte le funzioni mentali sono eseguite da circuiti neurali specializzati situati in differenti regioni del cervello;
- 3) Tutti questi circuiti sono costituiti dalle stesse unità di segnalazione elementari, cioè dalle cellule nervose;
- 4) I circuiti neurali utilizzano molecole specifiche per generare segnali all'interno e fra le cellule nervose;
- 5) Le "molecole segnale" si sono conservate nel corso di milioni di anni di evoluzione.

Dalla nuova scienza della mente si può ottenere oltre che le chiavi per una lettura di noi stessi anche una nuova prospettiva del genere umano all'interno dell'evoluzione biologica (Kandel, 2007).

Per la comunità scientifica la biologia della mente rappresenta per il XXI secolo ciò che la biologia del gene ha rappresentato per il XX.

Eric Richard Kandel è un neurologo, psichiatra e un neuroscienziato statunitense che ha condotto le sue ricerche basando i propri studi sui principi di questa nuova scienza.

Nel 2000 ha ricevuto il premio Nobel per la medicina per i contributi dati allo studio dell'immagazzinamento mnemonico nel cervello.

Le ricerche che lo hanno portato a conclusioni teoriche importantissime, durate parecchi anni, si sono basate sullo studio e l'osservazione della lumaca di mare *Aplysia Californica* (Kandel, 2007).

Convinto che analizzando i ricordi avrebbe potuto risalire alla chiave di comprensione relativa alla nostra stessa essenza e ritenendo che noi siamo ciò che ricordiamo, ha voluto dimostrare come tutto è memorizzato dentro di noi.

Scelse di studiare i meccanismi della memoria della lumaca *Aplysia*, in quanto si trattava di una lumaca particolare: lunga circa trenta centimetri e con solo 20.000 neuroni (Kandel, 2007).

Riprese gli studi di Ivan Pavlov ma non si limitò ad osservare il comportamento animale, si propose di scoprirne i circuiti neurali.

Identificando e analizzando dettagliatamente i circuiti sinaptici, le dinamiche e le azioni geniche coinvolte in specifici compiti, scoprì che il nostro apprendimento non avviene modificando i neuroni ma rafforzando le sinapsi, quindi le connessioni tra i neuroni o costruendone di nuove (Kandel, 2007).

Il rimodellamento delle sinapsi dipende dalla variazione dell'espressione genica, i geni oltre a stabilire il colore dei nostri occhi, modificano

continuamente il nostro cervello in seguito alle esperienze vissute. Non si limitano quindi a determinare il comportamento, ma sono al servizio dell'ambiente.

Una delle prime scoperte di Kandel fu che le lumache imparavano un compito in tempi differenti utilizzando lo stesso circuito neuronale, questo lo portò a dedurre che la natura della memoria fosse sinaptica, perché se l'apprendimento coinvolgeva sempre gli stessi neuroni la differenza nell'apprendere e la rapidità risiedeva nelle connessioni. Successivamente scoprì inoltre che la memoria a breve termine è creata da sinapsi esistenti, mentre quella a lungo termine richiede la formazione di nuove sinapsi (Kandel, 2007).

Gli studi di Kandel hanno dato un contributo notevole alle teorie neoplastiche, fu il primo a dimostrare che nel momento in cui viene appreso qualcosa di nuovo i neuroni modificano la loro struttura creando nuove connessioni sinaptiche.

Anche l'epigenetica ha dato un contributo rilevante, in termini scientifici, alle teorie neoplastiche, dimostrando come l'ambiente sia addirittura in grado di modificare l'espressione genica di un individuo (Bottaccioli, 2016).

Verrà spiegato nel dettaglio nel paragrafo che segue.

1.3. Epigenetica

Conrad H. Waddington tra il 1939 e il 1943 ha pubblicato due libri ed alcuni articoli nei quali ha proposto una visione innovativa della biologia e della genetica: in questi testi vengono utilizzati per la prima volta i termini "epigenetica" ed "epigenotipo" (Bottaccioli, 2016). Lo studio

portato avanti da Waddington si interrogava su quali fossero i meccanismi che portavano il patrimonio genetico contenuto nella cellula fecondata (zigote) all'individuo concreto: sono epigenetici, secondo Waddington, i meccanismi che portano al fenotipo e definisce epigenotipo invece la concatenazione di processi tali per cui un disturbo in fase precoce dello sviluppo può dare anomalie a numerosi organi e tessuti a distanza di tempo in maniera graduale (Bottaccioli, 2016).

Le ricerche del biologo britannico si basavano sulla convinzione che le dinamiche dello sviluppo di una nuova vita fossero più complesse delle informazioni contenute nei geni e che sono questi ultimi a guidare lo sviluppo dell'embrione.

Successivamente il genetista americano David Nanney, riprendendo le ricerche di Waddington ha avanzato delle idee fondamentali sui sistemi di controllo epigenetico a livello cellulare, dimostrando come si passa da un unico genoma ad una molteplicità di cellule tanto diverse tra loro (Allen, 1992).

Il genetista sostiene che nella cellula, parallelamente al sistema genico, lavora anche un sistema epigenetico responsabile della differenziazione cellulare. Questo sistema conferisce stabilità alla configurazione cellulare ed attribuisce alla cellula una memoria trasmissibile alle cellule figlie: cellule con lo stesso genotipo possono manifestare differenti fenotipi e queste differenze possono persistere indeterminatamente durante la divisione cellulare (Nanney, 1958).

Il torinese Salvatore Luria è il primo invece a dare una precisa definizione di epigenetica in chiave di biologia cellulare, definendo le modificazioni epigenetiche cambiamenti nell'espressione delle potenzialità genetiche

che possono intervenire a livello dell'azione primaria svolta dai geni o a livello del metabolismo cellulare, confermando la tesi di Nenny secondo cui la sede dei meccanismi epigenetici siano i cromosomi contenuti nel nucleo (Luria, 1960).

A seguito dei vari contributi scientifici ad oggi quindi l'epigenetica è per definizione lo studio dei cambiamenti nell'espressione genica non causati da mutazioni genetiche che possono essere ereditabili e che possono intervenire anche in cellule che non hanno eredi e quindi non si dividono (Sweatt, 2013).

L'epigenetica indica un determinato assetto dell'espressione genica che condiziona le attività della cellula in risposta agli stimoli ambientali: si tratta di un cambiamento adattivo.

Ad oggi i meccanismi di regolazione epigenetica identificati sono tre (Bottaccioli, 2016):

- Metilazione del DNA: meccanismo epigenetico identificato da più tempo (Bottaccioli, 2016). Consiste nel deposito di un metile che avviene esclusivamente a livello del nucleotide citosina, dove viene trasformata in 5-metilcitosina all'interno dei dinucleotidi CpG, dispersi nel genoma ed il 70% di essi è metilato (Suzuki, 2008). Ci sono anche delle "isole di citosina" vicine ai siti dove inizia la trascrizione o all'interno del gene stesso. Si tratta di isole non metilate. Se la metilazione avviene nell'area del promotore si ha l'effetto della repressione dell'espressione genica, se invece vengono metilate le isole che si trovano all'interno del gene, viene stimolata la trascrizione del DNA e il gene viene indotto a esprimersi (Suzuki, 2008). La metilazione ha effetti opposti a

seconda di dove sono collocate le citosine metilate. La metilazione agisce quando una cellula si divide ed è necessario trasferire la marcatura alle cellule figlie;

- Rimodellamento della cromatina tramite la marcatura degli istoni: attualmente i tipi di modificazioni istoniche sono 14, i principali sono (Tollefsbol, 2011):
 - Acetilazione-Deacetilazione;
 - Metilazione-Demetilazione;
 - Fosforilazione-Defosforilazione;
 - Ubiquitinazione;
 - Isomerizzazione della prolina;
 - Deposito-Rimozione di acetile;
 - Deposito-Rimozione di metile;
 - Deposito-Rimozione di fosfato;
 - Deposito di ubiquitina, proteina di 76 a. acidi;
 - Cambiamento di forma delle proteine istoniche tramite enzimi prolina isomerasi;

- Azione dei microRNA: il compito è quello di interferire con l'attività genica boccando i mRNA impedendo la sintesi proteica (Batista, 2013). I microRNA sono al centro della ricerca soprattutto per la loro possibile capacità diagnostica di alcuni tumori.

Questi meccanismi epigenetici intervengono in tutte le fasi della vita (Bottaccioli, 2016):

- Nell'imprinting del genoma: segnatura che può essere parzialmente reversibile (Human Genome Sequencing Consortium International, 2004);
- Nello sviluppo dell'embrione: segnatura permanente e trasmessa alle cellule figlie (Lubinsky, 2018);
- Nella vita dell'organismo sviluppato: segnatura reversibile, stabile e può essere trasmessa attraverso le generazioni (Klosin, 2016);

1.4 . La plasticità cerebrale

“Plasticità neurale (ingl. Neural plasticity; ted. Plastizität neural; fr plasticité neural) capacità del sistema nervoso di riorganizzare le connessioni tra neuroni e le funzioni delle aree cerebrali danneggiate. Si parla più spesso di plasticità corticale perché la corteccia cerebrale, la struttura più recente nello sviluppo del cervello umano, è quella che mostra la maggiore capacità di riorganizzazione in funzione di richieste ambientali. Il concetto di plasticità si riferisce a ogni modificazione cui è sottoposto il sistema nervoso in seguito a cambiamenti molecolari e/o strutturali associati a qualsiasi forma di apprendimento. Fino a non molti anni fa si pensava che solo nei bambini il sistema nervoso fosse in grado di riorganizzarsi e recuperare funzioni perdute (per esempio in seguito a traumi o lesioni). Gli studi effettuati in anni recenti sia sui primati sia sugli esseri umani hanno dimostrato che il cervello adulto ha capacità di recupero e di riorganizzazione corticale simili a quelle riscontrabili nel giovane. Anche nelle persone anziane il cervello continua a maturare e a cambiare: dunque c'è apprendimento, vi sono fenomeni di plasticità cerebrale. Nella persona anziana l'elevata perdita di neuroni causata

dall'invecchiamento viene normalmente compensata da un aumento delle connessioni e sinapsi dei neuroni rimanenti.”

(Galimberti, Psicologia, 1999, p. 779)

Il processo di plasticità rende possibile a tutti gli esseri umani di apprendere e condividere abilità sviluppate culturalmente non presenti nel genoma umano.

William James è stato il primo ad ipotizzare che la plasticità del sistema nervoso rappresentasse la base del processo di apprendimento e che fosse determinante non solo per il rinforzo delle connessioni già esistenti ma anche nel formare nuove associazioni mediante un processo di fusione di componenti neurali che si attivano in contemporanea o in successione (Blanco, 2014).

Il contributo di Ramón y Cajal è stato determinante, ha contrastato la prevalente teoria dell'epoca secondo cui l'architettura corticale fosse rigida e imm modificabile (Rakic, 2007). Introdusse la teoria secondo cui il cervello possiede le risorse necessarie per adattarsi alle variazioni dell'ambiente con una serie di mutamenti istologici. Riteneva inoltre che l'apprendimento fosse conseguente ad un allenamento mentale dovuta ad un rinforzo o alla formazione di connessioni interneuronali, perciò le differenze interindividuali nell'apprendimento di nuove abilità dipendono dal peso dell'esercizio svolto (Rakic, 2007). Lo studio delle basi anatomiche e funzionali della plasticità neuronale è diventato oggi uno dei campi di ricerca più esplorato, sia a livello clinico che sperimentale.

Esistono due forme in cui la plasticità neuronale è distinta: plasticità strutturale e plasticità neuronale (Denes, 2016).

1.4.1 Plasticità strutturale

La plasticità strutturale si riferisce alle variazioni morfologiche cerebrali dovute all'apprendimento o al declino cerebrale che porta alla perdita delle abilità acquisite relative sia all'elaborazione motoria che cognitiva (Leuner, 2010). Studi sperimentali su animali hanno dimostrato che modificazioni morfologiche accompagnano la plasticità neuronale: i fenomeni di "*sprouting*" (gemmazione) e la modificazione del numero delle sinapsi secondo Hebb sono il marker neuronale del processo di apprendimento e della memoria (Mosse, 2008).

Per ciò che concerne la plasticità strutturale la ricerca a livello sperimentale si è concentrata soprattutto sulle modificazioni delle spine dendritiche e degli assoni: l'azione combinata del processo di "*sprouting*" e le proprietà che le spine manifestano al contatto con le sinapsi con proprietà eccitatorie sono il fattore più importante alla base del processo della plasticità (Miquel, 2012). Alcune spine dendritiche sono stabili e imm modificabili nel tempo, altre possono aumentare o ritirarsi creando nuovi collegamenti; questa dinamica è sensibile sia all'esperienza sensoriale, sia alla sua mancanza che al danno cerebrale (Miquel, 2012). L'introduzione di nuove tecniche di risonanza magnetica cerebrale (MRI e fMRI) ha permesso di osservare in vivo le modificazioni strutturali relative al processo di plasticità neuronale e sono lo strumento migliore per correlare le modificazioni del comportamento introdotte dall'apprendimento e altri fattori (per esempio un danno cerebrale) con

le variazioni neuronali corrispondenti. I metodi utilizzati sono (Denes, 2016):

- Trasversali (o sincronici): prevedono lo studio delle variazioni di un fattore (per esempio l'età) in diversi soggetti in un momento preciso. A livello neuroplastico una ricerca trasversale comporta l'osservazione di una specifica funzione, motoria o cognitiva, per poi determinarne il substrato neuronale e studiarne le variazioni in gruppi di soggetti differenti (per età). Questo modello presenta delle criticità in quanto non permette di distinguere fra le varie possibilità che la struttura cerebrale si modifichi in rapporto alla variabilità comportamentale o viceversa, risulta difficile capire quindi se le variazioni che si presentano sono relative alla presenza di fattori preesistenti (genetiche) o se siano la conseguenza di un trattamento specifico;
- Longitudinali (o diacronica): ha come fine ultimo lo studio dell'evoluzione di un dato fenomeno nel corso del tempo. Comporta perciò ripetute osservazioni del substrato neuronale in uno o più soggetti per un periodo variabile in relazione ad una variabile nota (per esempio l'età).

L'utilizzo di metodi poco invasivi ha permesso inoltre di osservare le variazioni sia della sostanza grigia che di quella bianca in seguito a diversi fattori.

L'esempio più citato in letteratura relativo alla plasticità strutturale della sostanza grigia riguarda gli studi sulla variazione di volume dell'ippocampo (Denes, 2016). Piccoli mammiferi ed uccelli usano la memoria spaziale in compiti di ricerca e immagazzinamento di cibo

presentando un rapporto maggiore fra volume dell'ippocampo e massa corporea, questo porta a sostenere che questa struttura ha un ruolo specifico nell'elaborazione della rappresentazione e memoria spaziale (Sherry, 2010). Purtroppo in questi studi non è possibile determinare se queste specificità anatomiche siano predeterminate o rappresentino l'esito di uno specifico training.

La sostanza bianca è fondamentale per il processo di plasticità neuronale, sia durante il processo di sviluppo che in età adulta. L'incremento della mielinizzazione postnatale, molto attivo durante la prima infanzia, comporta un aumento dello spessore delle guaine mieliniche e dei diametri assonali (Kinney, 2018). Questo processo si prolunga nell'adolescenza nelle cortecce sensomotorie e durante l'età adulta nelle aree associative. Il training porta quindi a modificazioni significative della sostanza bianca nelle regioni corrispondenti alle zone corticali attivate durante l'esercizio in modo da raggiungere una maggiore velocità e precisione nella trasmissione dei segnali necessari per una corretta esecuzione del compito.

1.4.2 Plasticità funzionale

Il concetto di plasticità funzionale è associato allo sviluppo delle capacità di riorganizzazione dell'attività cerebrale successivamente all'apprendimento o durante il processo di recupero da un danno cerebrale e avvengono senza modificazioni del substrato anatomico (Denes, 2016).

Le modificazioni relative all'organizzazione cerebrale conseguenti al processo di plasticità possono essere analizzate sia:

- A livello temporale: la plasticità può durare microsecondi fino a modificazioni definitive;
- A livello spaziale: le modificazioni possono interessare intere regioni cerebrali e relative connessioni interregionali;
- A livello di mesoscala: la plasticità porta a una riorganizzazione dei circuiti corticali o sottocorticali;
- A livello di microscala: la plasticità sinaptica si accompagna a modificazioni cellulari e molecolari.

Le nuove tecniche di neuroimaging hanno permesso di analizzare le caratteristiche temporo-spaziali presenti alla base della plasticità neuronale (Sharma, 2013). Si è rivelato particolarmente utile lo studio dei meccanismi alla base dell'apprendimento motorio, di come si evolve nel tempo e di come interessino regioni cerebrali diverse (Hoyle, 1979). Anche l'analisi dei processi implicati si è mostrata determinante nell'apprendimento di sequenze motorie, sia semplici che complesse (richieste nei musicisti professionisti) e richiede un periodo di training lungo e faticoso.

L'apprendimento è diviso in due fasi (Denes, 2016):

- Fase iniziale: rapida, presenta un'unica sessione di apprendimento;
- Fase lenta: caratterizzata da un miglioramento delle prestazioni. Lo sviluppo temporale e le modificazioni neuronali relative all'apprendimento lento dipendono dalla difficoltà del compito. Nel processo di apprendimento lento, le strutture neurologiche che sono normalmente attive nel processo di apprendimento veloce tendono a spostarsi nelle zone corticali posteriori.

L'apprendimento a lungo termine vede un'attivazione biemisferica.

Gli studi di neuroimaging funzionale hanno dimostrato che l'apprendimento rapido di un compito motorio sequenziale è accompagnato da una attivazione della corteccia frontale dorso-laterale delle aree motorie primarie e supplementari (Hoyle, 1979). L'attivazione di queste aree si attenua gradualmente con il progredire del processo di apprendimento, supportando l'ipotesi che la fase iniziale dell'apprendimento richieda un reclutamento di numerose strutture neuronali, mentre la successiva attivazione riflette un processo di stabilizzazione dell'apprendimento coinvolgendo minori risorse neuronali (Denes, 2016).

La durata dell'apprendimento è ovviamente legata alla difficoltà del compito ed una volta acquisite le capacità motorie possono mantenersi per un periodo prolungato o deteriorarsi.

Modificazioni funzionali possono verificarsi a vari livelli, da quello sinaptico fino ad un processo di riorganizzazione di circuiti o aree cerebrali. Il cervello umano è in grado di modificare velocemente l'estensione dei campi recettivi corticali o dei moduli di output motorio in seguito a diversi stimoli.

La base della plasticità funzionale riguarda la procedura in grado di modificare l'energia delle singole sinapsi attraverso un processo di amplificazione all'interno di una rete neuronale strutturata. I fattori più importanti di questo processo sono la depressione e il potenziamento a lungo termine che sono alla base dei meccanismi cellulari e molecolari

responsabili delle modificazioni sinaptiche durante l'apprendimento (Murthy, 1998).

La rappresentazione dello spazio a livello corticale è distribuita in diverse mappe spaziali: i neuroni corticali rispondono a stimoli multisensoriali presenti nello spazio adiacente al volto e allo spazio peripersonale.

1.4.3 Plasticità strutturale e funzionale: processi distinti?

Numerosi studi hanno provato che in seguito ad un training prolungato le zone relative al processo di plasticità strutturale e funzionale tendono a coincidere: Swain e colleghi nel 2003 hanno dimostrato, eseguendo un esperimento in cui hanno sottoposto dei ratti ad un training motorio prolungato che zone della corteccia motoria dimostrano variazioni coincidenti sia funzionali che strutturali (Swain, 2003).

Queste due tipologie di plasticità non sono quindi considerabili dei processi così tanto distinti ed indipendenti data l'importante correlazione dimostrata da più studi, oltre all'esperimento citato.

2. NEUROPLASTICITÀ E MUSICA

L'influenza della musica sul cervello umano è stata studiata recentemente in numerosi studi ed è stato dimostrato che l'allenamento musicale a lungo termine porta alla comparsa di processi neuroplastici cerebrali strutturali e funzionali producendo differenze cognitive tra musicisti e non musicisti (Münste, 2002).

Studi condotti con l'ausilio della risonanza magnetica, l'elettroencefalografia e la magnetoencefalografia sul cervello di musicisti hanno dimostrato concretamente i cambiamenti cerebrali che l'attività musicale prolungata comporta, sia da un punto di vista strutturale che funzionale.

Nel dettaglio, sono stati riscontrati dei cambiamenti strutturali nei musicisti a livello del:

- Corpo calloso: uno studio condotto da Schlaug e colleghi ha riscontrato, misurando la morfometria del corpo calloso che la sua porzione anteriore è significativamente più grande nei musicisti rispetto a non musicisti e che le dimensioni sono maggiori in chi inizia la formazione musicale anni prima (Schlaug, 1995);
- Corteccia motoria: uno studio condotto su un campione di musicisti destrorsi e non musicisti ha mostrato un minor grado di asimmetria tra gli emisferi nei musicisti in quanto presentano una corteccia motoria destra più ampia. Inoltre è stato riscontrato un aumento del volume della materia grigia (Amunts, 1997);
- Cervelletto: uno studio condotto sempre da Schlaug e colleghi ha mostrato, misurando il volume del cervelletto in musicisti e non

musicisti maschi, un livello di densità della materia grigia superiore nel cervelletto destro dei musicisti (Schlaug, 1998). Questo aumento è stato spiegato come la conseguenza dell'adattamento microstrutturale del cervello in risposta all'inizio e alla pratica continua di sequenze bimanuali complicate;

- Corteccia uditiva: uno studio condotto da Gaser e colleghi ha rilevato un aumento del volume della materia grigia nelle aree cerebrali motorie, uditive e visuospaziali dei musicisti (Gaser, 2003);
- Capsula interna: uno studio condotto con l'intento di analizzare gli effetti dell'ampia pratica del pianoforte durante l'infanzia, adolescenza ed età adulta sulla materia bianca ha mostrato una maggior strutturazione della capsula interna posteriore destra nei musicisti (Bengtsson, 2005). L'allenamento può indurre la plasticità della materia bianca se avviene nel periodo in cui le fibre interessate sono ancora in fase di maturazione.

Dal punto di vista funzionale invece nella:

- Corteccia sensomotrice: studiando la rappresentazione corticale somatosensoriale del pollice e del mignolo dei suonatori d'archi (violinisti, violoncellisti) e non musicisti è stato riscontrato che dopo l'eccitazione del pollice e del mignolo della mano sinistra, la forza di attivazione corticale è più alta nei musicisti rispetto ai soggetti di controllo (Elbert, 1995). Effetto particolarmente pronunciato per il mignolo. Non vi era invece alcuna differenza nelle rappresentazioni corticali dopo la stimolazione della mano destra. La rappresentazione cerebrale migliora per le dita della

mano che viene utilizzata più intensamente nei suonatori d'archi e più un dito viene stimolato e maggiore è la risposta corticale. Questo studio di Elbert e colleghi ha quindi dimostrato che i musicisti presentano un aumento della rappresentazione corticale delle dita della mano;

- Corteccia uditiva: uno studio di Pantev e colleghi ha analizzato la rappresentazione corticale uditiva in musicisti e non musicisti notando la presenza di un aumento della rappresentazione corticale dei toni nei musicisti rispetto ai non musicisti superiore del 25% (Pantev, 1998). Sia Elbert che Pantev hanno inoltre rilevato un maggior grado di rappresentazione corticale nei musicisti che hanno iniziato presto l'allenamento musicale (Elbert, 1995);
- L'ippocampo: Herdener e colleghi hanno studiato le capacità plastiche dell'ippocampo valutando le risposte cerebrali indotte dalla novità temporale nei musicisti e in non musicisti (Herdener, 2010). L'ippocampo ha un ruolo chiave nella memoria e nella navigazione spaziale ma è anche coinvolta in modo cruciale in varie forme di rilevamento della novità. Lo studio ha rilevato la presenza di risposte migliorate alla novità nell'ippocampo anteriore sinistro in musicisti professionisti (studio trasversale) e studenti di musica dopo un anno di formazione di abilità uditive intensive (studio longitudinale);
- Tronco cerebrale: Musacchia e colleghi hanno dimostrato che i musicisti presentano risposte uditive ed audiovisive più rapide e ampie agli stimoli vocali e musicali (Musacchia, 2007).

La complessità delle reti neurali migliora quindi con la complessità delle informazioni uditive. L'allenamento musicale può aggiungere rappresentazioni mentali della musica che possono coinvolgere diversi substrati cerebrali.

I musicisti professionisti utilizzano perciò secondo Altenmüller reti neurali più grandi e complesse rispetto ai non musicisti (Altenmüller, 2001).

2.1. Pratica musicale e funzioni cognitive

I processi neuroplastici strutturali e funzionali verificati nel cervello dei musicisti influenzano il loro funzionamento cognitivo producendo differenze evidenti tra musicisti e non musicisti. Imparare a suonare uno strumento è un compito complesso che implica l'interazione di più funzioni cognitive.

Un prolungato allenamento musicale porta quindi ad:

- Un potenziamento delle abilità visuospatiali con una relativa capacità di attenzione visuospatiali più equilibrata (Brochard, 2004);
- Strategie oculomotorie più efficienti (Kopiez, 2002);
- Un aumento della capacità di attenzione visiva divisa (Rodriguez, 2007);
- Una elaborazione visiva avanzata dei dettagli locali (Stoesz, 2007);
- Una memoria visiva superiore (Jakobson, 2008);
- Memoria verbale superiore (Brandler, 2003).

Non è ancora chiaro tuttavia se gli studi sulle abilità cognitive avanzate riscontrate nei musicisti siano una conseguenza dell'allenamento a lungo termine o capacità innate in quanto la maggior parte degli studi condotti sono di natura correlazionale o di natura esperienziale, ostacolando così la determinazione di un chiaro nesso causale (Caramelli, 2010). Tuttavia questi studi hanno fornito prove che supportano l'idea degli effetti musicali legati alla formazione del cervello e della cognizione.

2.2. Potenziali elettrici cerebrali

L'elettroencefalogramma registra le oscillazioni dei potenziali elettrici nel cervello. Usato per valutare le azioni sinaptiche nella corteccia cerebrale, connesse allo stato del cervello, riflettono ed identificano l'attività elettrica cerebrale di base. L'attività cerebrale non dipende da specifici stimoli sensoriali ma potrebbe essere alterata dagli stessi, come registrato dai risultati degli elettroencefalogrammi (Kučikienė, 2018).

Le tracce di tensione registrate dagli elettroencefalogrammi sono descritte come onde e definite in base a tre parametri: ampiezza, frequenza e fase. Altra unità importante che nell'elettroencefalogramma descrive le onde cerebrali è la potenza spettrale delle onde, espressa in Volt al quadrato per Hz (V^2/Hz) (ibidem).

La potenza assoluta delle onde cerebrali descrive la potenza di alcune componenti di frequenza in un determinato periodo di tempo mentre la potenza relativa riflette il ruolo di una frequenza specifica nel contesto di tutte le frequenze.

A seconda della frequenza le onde possono essere classificate come (Nunez, 2007):

- Delta (1 - 4 Hz): frequenze molto basse, presenti durante il sonno profondo, il coma e l'anestesia;
- Theta (4 – 8 Hz): registrate durante l'esecuzione di compiti, come il calcolo mentale e l'utilizzo della memoria di lavoro (Sammler, 2007);
- Alfa (8 – 13 Hz): presente in uno stato di riposo da sveglia, rilassato o concentrato. La frequenza alfa e l'attività cerebrale sono inversamente correlate, quindi maggiore è la potenza alfa meno vi sarà attività cerebrale (Kučikienė, 2018);
 - Alfa 1 (8 – 10 Hz);
 - Alfa 2 (11 – 13 Hz);
- Beta (più di 13 Hz): associato all'integrità corticale. Queste onde si verificano durante lo stato di veglia e l'aumento delle stesse può essere causato da stress ed emozioni intense. L'assenza di queste onde invece si riscontra in caso di lesioni corticali, motivo per cui vengono utilizzate come indicatore di una compromissione delle funzioni corticali (Kozelka, 1990);
- Gamma (30 – 40 Hz).

Le onde cerebrali indicano stati distinti del cervello e variano in base a diversi fattori. Possono essere modificate da vari stimoli esterni, come gli stimoli uditivi e quindi dalla musica (Kučikienė, 2018).

Molti studi che hanno voluto indagare l'effetto della musica sul cervello di soggetti sani hanno utilizzato la sonata in Re maggiore per due pianoforti di Mozart. Lo stesso pezzo ha infatti ispirato l'effetto Mozart

di Campbell. Secondo la letteratura attuale questa sonata infatti provoca un aumento significativo della potenza della banda alfa, cambiamento che non si è verificato nell'ascolto di "Per Elisa" di Beethoven (Verrusio, 2015).

Questa sonata di Mozart è nota anche per il miglioramento delle prestazioni spaziali; le onde cerebrali correlate a questo miglioramento sono (Rideout, 1996):

- Theta: con una riduzione della potenza nell'area temporale sinistra;
- Beta: con un aumento della potenza nella regione temporale sinistra, frontale sinistra e temporale destra;
- Alfa 1: che aumenta e resta così protratta nel tempo.

L'effetto della musica non è tuttavia strettamente correlato ad un pezzo specifico. Degli studi hanno dimostrato che la musica che piace personalmente ad un soggetto migliora gli spettri di potenza dell'elettroencefalogramma a livello globale: l'effetto si nota maggiormente nelle frequenze beta ed alfa, nelle regioni frontale e temporale destra (O'Kelly, 2013).

Sono stati effettuati inoltre degli studi per analizzare l'impatto della musica sull'attività bioelettrica del cervello su soggetti con disturbi della coscienza. Nello specifico i pazienti trattati, in stato comatoso, presentavano delle lesioni cerebrali traumatiche. Lo studio ha dimostrato che l'applicazione della musicoterapia portava in questi soggetti alla diminuzione della quantità delle onde a bassa frequenza ed aumentava le onde ad alta frequenza (Nunez, 2007). Quando un soggetto è in coma l'attività delle onde cerebrali è ridotta e rallentata, l'aumento

della quantità di onde ad alta frequenza riscontrato con l'ausilio della musicoterapia dimostra quindi la sua efficacia.

Lo stesso studio è stato svolto su pazienti con sindrome da veglia non rispondente, una condizione per cui i soggetti si svegliano dal coma, aprendo anche le palpebre, ma restano in uno stato non rispondente ad alcuno stimolo. In questo caso lo studio ha dimostrato che l'ascolto del proprio brano preferito portava i soggetti ad una riduzione del rapporto theta/beta e della potenza theta (Keller, 2015). La diminuzione del rapporto theta/beta deriva dalla diminuzione delle ampiezze theta che mostrano uno spostamento del ritmo dominante nella banda alfa, condizione che porta al recupero della integrità cerebrale (Schiff, 2014).

Lo stato di minima coscienza viene registrato nell'elettroencefalogramma come picco spettrale nell'intervallo theta. Gli studi hanno dimostrato che l'ascolto del brano preferito portava a dei picchi negli emisferi destro e sinistro dimostrando che la musica può avere un effetto attivatore sull'encefalo di soggetti con disturbo della coscienza (O'Kelly, 2013).

Gli effetti della musicoterapia a lungo termine sono stati studiati anche su pazienti psichiatrici, dimostrando un significativo aumento delle onde alfa e la riduzione delle onde beta in pazienti con depressione maggiore, schizofrenia o disturbi d'ansia. La musica piacevole aiuta i pazienti ad entrare in uno stato di tranquillità e li distrae da sentimenti e pensieri spiacevoli, stimolando i recettori uditivi (Fachner, 2013).

Evidenze scientifiche hanno inoltre dimostrato che la musicoterapia a lungo termine in pazienti con diagnosi di depressione porta ad un significativo aumento della potenza alfa frontotemporale sinistra e della

potenza theta temporoparietale sinistra. Oltre a queste evidenze è stata osservata una riduzione di sintomi depressivi ed ansiogeni dopo ogni seduta di musicoterapia. Secondo gli autori questi risultati dimostrano l'azione della musicoterapia sull'attività corticale e la relativa riorganizzazione neurale (Kwon, 2013).

Vi sono numerose condizioni croniche che potrebbero trarre beneficio dalla musicoterapia, uno di questi è il dolore cronico. Il dolore cronico può essere causato da numerosi fattori, psicologici e fisiologici. La musica, in associazione ad altri tipi di terapia può essere un possibile approccio terapeutico utile per i pazienti che presentano questa problematica. Come precedentemente detto l'ascolto del proprio brano preferito porta ad una riduzione delle onde delta nel giro cingolato, distogliendo l'individuo da pensieri ed emozioni spiacevoli (Clément, 2012).

2.3. Modificazioni plastiche cerebrali

Sono coinvolte numerose regioni cerebrali, corticali e subcorticali, nell'ascolto e nella produzione musicale. Le regioni primarie e secondarie nella corteccia cerebrale sono fondamentali per qualsiasi percezione cosciente delle informazioni sensoriali, uditive, visive o somatosensoriali. La musica influenza e modifica l'attività cerebrale nelle regioni adibite alla regolazione sensoriale e quelle della regolazione motoria: frontali, parietali e temporoccipitali (Altenmüller M. , 2007).

Il lobo frontale è responsabile dell'attenzione, della pianificazione e preparazione motoria, dell'integrazione delle informazioni uditive e motorie, dell'imitazione e dell'empatia.

L'imitazione e l'empatia hanno un ruolo importante nell'acquisizione delle abilità musicali. Le regioni che si occupano dell'integrazione multisensoriale nel lobo parietale e nelle aree temporoccipitali integrano diversi input sensoriali del sistema uditivo, visivo e somatosensoriale.

Il cervelletto svolge un ruolo importante nell'esperienza musicale perché consente il coordinamento motorio, consentendo un adeguato tempismo nell'esecuzione di un brano, viene infatti attivato durante l'elaborazione del ritmo (Tramo, 2001).

La rete emotiva è cruciale per le percezioni emotive della musica e di conseguenza influiscono sulla motivazione di un individuo ad ascoltare o impegnarsi in qualsiasi attività musicale, l'attivazione di questa rete dipende dai due lobi frontali, dal giro cingolato e dalle strutture cerebrali delle parti evolutivamente vecchie del cervello come l'amigdala, l'ippocampo ed il mesencefalo (ibidem).

Il cervello è un organo che cambia e si adatta in base agli input che riceve dall'ambiente esterno. L'attività musicale è un potente stimolo ambientale che porta l'encefalo all'adattamento mediante la plasticità cerebrale (Wan S. , Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life-span, 2010).

La plasticità cerebrale indotta mediante la produzione musicale può quindi recare numerosi benefici (Altenmüller S. , 2015):

- Cambiare o ripristinare le reti cerebrali sensomotorie compromesse;

- Influenzare lo stato neuroormonale, quindi i processi cognitivi ed emotivi in individui sani e neurologicamente compromessi;
- Indurre dei miglioramenti in soggetti che presentano disabilità motorie ed emotive mediante la musicoterapia.

Gli effetti della plasticità cerebrale sono più evidenti in musicisti professionisti, in quanto essa richiede un intenso e continuo allenamento (Wan S. , Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life-span, 2010).

La plasticità cerebrale può verificarsi in periodi temporali diversi, l'efficienza e le dimensioni delle sinapsi possono variare in tempi che variano da secondi a minuti e la crescita delle sinapsi e dei dendriti possono richiedere da ore a giorni. Altre modificazioni plastiche possono richiedere anche diverse settimane, come l'aumento della densità della materia grigia che porta ad un ampliamento dei neuroni e ad un cambiamento della densità sinaptica, delle cellule gliali riducendo l'apoptosi.

Anche la densità della sostanza bianca cambia a seguito dell'allenamento musicale perché porta ad un ampliamento delle cellule mieliniche: esse, avvolte attorno agli assoni contribuiscono ad aumentare la velocità degli impulsi elettrici che viaggiano lungo i tratti delle fibre nervose. In condizioni in cui è richiesto un rapido trasferimento di informazioni ed una elevata precisione temporale queste cellule mieliniche crescono e aumentano la velocità di conduzione nervose.

All'interno di queste guaine mieliniche gli assoni possono formare nuove connessioni (Wan Z. M., 2014).

Le regioni cerebrali coinvolte in compiti specifici possono anche ampliarsi dopo un allenamento a lungo termine a causa della crescita di strutture a supporto della funzione nervosa, come i vasi sanguigni (responsabili del trasporto di ossigeno e glucosio) o cellule gliali (responsabili dell'omeostasi locale).

Il confronto tra l'anatomia cerebrale dei musicisti esperti e quello dei non musicisti mostra come la pratica strumentale prolungata porti ad allargamento dell'area della mano nella corteccia motoria (Amunts S. J., 1997).

Uno studio di Gaser e Schlaug (2003) ha inoltre dimostrato l'aumento della densità della materia grigia nelle regioni motorie sensoriali corticali, uditive, nella corteccia prefrontale dorsolaterale sinistra e nel cervelletto nei musicisti esperti rispetto ai non musicisti o rispetto a dei dilettanti (Gaser, 2003).

2.4. Sistema uditivo e neuroplasticità

Il sistema uditivo è fondamentale nella musica ed è quindi il sistema più coinvolto e modificato nella pratica musicale. I cambiamenti funzionali e strutturali dovuti all'esperienza musicale coinvolgono varie fasi del percorso uditivo: dal tronco cerebrale al livello della corteccia primaria e le aree circostanti alle aree coinvolte nella cognizione uditiva di ordine superiore (Bermudez, 2009).

Studi neurofisiologici su animali hanno mostrato cambiamenti nelle risposte corticali uditive suscitate da una esposizione a lungo termine o a breve termine a specifici suoni strutturati. Sono stati quindi riscontrati

cambiamenti a lungo termine che mappano le proprietà della corteccia uditiva in funzione dell'esposizione a stimoli specifici (Ahissar, 1998). A seconda del paradigma comportamentale utilizzato (condizionamento classico, apprendimento stimolo risposta, etc.) questi cambiamenti prendono forme diverse comportando delle modifiche al campo recettivo ed agli aspetti temporali. Questi cambiamenti sono specifici per le attività anche all'interno della stessa regione corticale e la riorganizzazione è più forte quando l'input uditivo è rilevante a livello comportamentale e se viene istruita attivamente (Fritz, 2005).

La rimappatura corticale e l'adattamento della sintonizzazione neurale dipendono in modo critico dal valore di ricompensa dello stimolo imparato ed è relativo alle influenze neuromodulatorie derivanti dal mesencefalo e dai nuclei del proencefalo (Bakin, 1996). Questi cambiamenti sono inoltre influenzati dallo stato di maturità del sistema nervoso, maggiore durante i primi anni di sviluppo (De Villiers-Sidani, 2008). Vi sono anche cambiamenti a breve termine nella proprietà di risposta neurale che riflettono le contingenze di una determinata attività e sono rapidamente reversibili.

2.5. Neuroplasticità, musica ed emozioni

I principi della neuroplasticità dimostrano gli effetti positivi della musicoterapia nel trattamento di varie patologie.

Studi di neuroimaging funzionale su musica ed emozioni mostrano che la musica può modulare l'attività delle strutture cerebrali note per essere coinvolte in modo cruciale nelle emozioni, come (Koelsch, 2014):

- Il nucleo accumbens: in quanto il piacere evocato dalla musica è associato all'attivazione di una rete di ricompensa filogeneticamente vecchia che funziona per assicurare la sopravvivenza dell'individuo e della specie;
- L'ippocampo: che ha un ruolo fondamentale nella generazione di emozioni legate all'attaccamento e può essere attivato dalla musica grazie alla capacità della stessa di sostenere l'attaccamento sociale;
- L'amigdala superficiale: coinvolta nell'elaborazione delle informazioni socio-affettive di base, compresa la musica;
- L'ipotalamo: che valuta il comportamento emotivo e garantisce una risposta rapida agli stimoli in entrata;
- L'insula: sorgente delle emozioni e dell'empatia;
- La corteccia cingolata: in quanto la musica evoca cambiamenti nell'attività delle regioni centrali del cervello che sono la base delle emozioni;
- La corteccia orbitofrontale: cruciale nella formazione di ricordi emozionali.

Associando una musica gratificante a comportamenti desiderati e non musicali i terapeuti possono attingere al percorso di ricompensa del cervello: l'obiettivo della musicoterapia è quindi quello di suscitare cambiamenti comportamentali a loro volta sostenuti da cambiamenti nel cervello (Zatorre, 2015).

I principi neurolplastici che spiegano gli effetti della musicoterapia sono essenzialmente tre:

- Il piacere evocato dalla musica è associato all'attività del percorso della ricompensa mesolimbica dopaminergica: la dopamina è un neurotrasmettitore primario coinvolto nella neuroplasticità ed i neuroni dopaminergici nella rete retributiva del cervello, tra cui l'area tegmentale ventrale ed il nucleo accumbens, sono implicati nel rimodellamento corticale correlato alla ricompensa, apprendimento e potenziamento a lungo termine dell'ippocampo (Koelsch, 2014). Esattamente come il cibo e le droghe la musica piacevole attiva queste reti coinvolte nella ricompensa;
- I neuroni che si attivano simultaneamente si legano: affinché due neuroni realizzino una nuova connessione o ne rafforzino una esistente devono attivare i potenziali di azione in modo sincrono, effetto visibile ed indotto per esempio in musica dagli stimoli sensoriali.

Accoppiando la musica con altre attività come il movimento, la vocalizzazione o la respirazione il musicoterapista provoca nel soggetto il coinvolgimento simultaneo di neuroni nelle aree cerebrali coinvolte nel controllo di tali comportamenti, rafforzando la connettività dei neuroni e portando a cambiamenti più rapidi e permanenti nei loro pazienti (Stegemöller, 2014);

- L'esposizione al rumore è stressante, compromettendo la cognizione e la memoria: una ricerca condotta da Stegemöller e colleghi ha dimostrato che la musica e le canzoni sono più consonanti della parola e che musicisti formati presentano meno "rumore" nei loro segnali acustici sia parlati che cantati. I musicoterapisti quindi, presentando una formazione musicale sia

strumentale che vocale hanno la capacità di ridurre al minimo la quantità di rumore ottimizzando la precisione della risonanza dei loro suoni musicali e promuovendo in tal modo la neuroplasticità nel cervello dei pazienti trattati (Stegemöller, 2008).

Il potere della musica di modificare l'attività neuronale all'interno di queste strutture cerebrali ha implicazioni per lo sviluppo di terapie basate sulla musica per il trattamento di disturbi neurologici e psichiatrici associati a disfunzioni e ad anomalie morfologiche in queste strutture (Koelsch, 2014).

Sono coinvolte numerose regioni cerebrali, corticali e subcorticali, nell'ascolto e nella produzione musicale. Le regioni primarie e secondarie nella corteccia cerebrale sono fondamentali per qualsiasi percezione cosciente delle informazioni sensoriali, uditive, visive o somatosensoriali. La musica influenza e modifica l'attività cerebrale nelle regioni adibite alla regolazione sensoriale e quelle della regolazione motoria: frontali, parietali e temporoccipitali (Altenmüller M. , 2007).

Il lobo frontale è responsabile dell'attenzione, della pianificazione e preparazione motoria, dell'integrazione delle informazioni uditive e motorie, dell'imitazione e dell'empatia.

L'imitazione e l'empatia hanno un ruolo importante nell'acquisizione delle abilità musicali. Le regioni che si occupano dell'integrazione multisensoriale nel lobo parietale e nelle aree temporoccipitali integrano diversi input sensoriali del sistema uditivo, visivo e somatosensoriale.

Il cervelletto svolge un ruolo importante nell'esperienza musicale perché consente il coordinamento motorio, consentendo un adeguato

tempismo nell'esecuzione di un brano, viene infatti attivato durante l'elaborazione del ritmo (Tramo, 2001).

La rete emotiva è cruciale per le percezioni emotive della musica e di conseguenza influiscono sulla motivazione di un individuo ad ascoltare o impegnarsi in qualsiasi attività musicale, l'attivazione di questa rete dipende dai due lobi frontali, dal giro cingolato e dalle strutture cerebrali delle parti evolutivamente vecchie del cervello come l'amigdala, l'ippocampo ed il mesencefalo (ibidem).

Il cervello è un organo che cambia e si adatta in base agli input che riceve dall'ambiente esterno. L'attività musicale è un potente stimolo ambientale che porta l'encefalo all'adattamento mediante la plasticità cerebrale (Wan S. , 2010).

La plasticità cerebrale indotta mediante la produzione musicale può quindi recare numerosi benefici (Altenmüller S. , 2015):

- Cambiare o ripristinare le reti cerebrali sensomotorie compromesse;
- Influenzare lo stato neuroormonale, quindi i processi cognitivi ed emotivi in individui sani e neurologicamente compromessi;
- Indurre dei miglioramenti in soggetti che presentano disabilità motorie ed emotive mediante la musicoterapia.

Gli effetti della plasticità cerebrale sono più evidenti in musicisti professionisti, in quanto essa richiede un intenso e continuo allenamento (Wan S. , Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life-span, 2010).

La plasticità cerebrale può verificarsi in periodi temporali diversi, l'efficienza e le dimensioni delle sinapsi possono variare in tempi che

variano da secondi a minuti e la crescita delle sinapsi e dei dendriti possono richiedere da ore a giorni. Altre modificazioni plastiche possono richiedere anche diverse settimane, come l'aumento della densità della materia grigia che porta ad un ampliamento dei neuroni e ad un cambiamento della densità sinaptica, delle cellule gliali riducendo l'apoptosi.

Anche la densità della sostanza bianca cambia a seguito dell'allenamento musicale perché porta ad un ampliamento delle cellule mieliniche: esse, avvolte attorno agli assoni contribuiscono ad aumentare la velocità degli impulsi elettrici che viaggiano lungo i tratti delle fibre nervose. In condizioni in cui è richiesto un rapido trasferimento di informazioni ed una elevata precisione temporale queste cellule mieliniche crescono e aumentano la velocità di conduzione nervose.

All'interno di queste guaine mieliniche gli assoni possono formare nuove connessioni (Wan Z. M., 2014).

Le regioni cerebrali coinvolte in compiti specifici possono anche ampliarsi dopo un allenamento a lungo termine a causa della crescita di strutture a supporto della funzione nervosa, come i vasi sanguigni (responsabili del trasporto di ossigeno e glucosio) o cellule gliali (responsabili dell'omeostasi locale).

Il confronto tra l'anatomia cerebrale dei musicisti esperti e quello dei non musicisti mostra come la pratica strumentale prolungata porti ad allargamento dell'area della mano nella corteccia motoria (Amunts S. J., 1997).

Uno studio di Gaser e Schlaud (2003) ha inoltre dimostrato l'aumento della densità della materia grigia nelle regioni motorie sensoriali corticali,

uditive, nella corteccia prefrontale dorsolaterale sinistra e nel cervelletto nei musicisti esperti rispetto ai non musicisti o rispetto a dei dilettanti (Gaser, 2003).

2.6. Esami strumentali ed evidenze scientifiche

Gli esseri umani hanno la capacità di ottenere piacere da stimoli astratti, come la musica e l'arte, stimoli non essenziali per la sopravvivenza e non considerabili rinforzi secondari o condizionati. Uno studio condotto da Salimpoor e colleghi (2011) ha dimostrato il ruolo che hanno i meccanismi dopaminergici nel suscitare reazioni emotive piacevoli durante l'ascolto di un brano musicale. Per lo studio è stata utilizzata la tomografia ad emissione di positroni a base di ligandi (PET) per stimare in modo specifico il rilascio di dopamina nello striato, sulla base della competizione tra la dopamina endogena e il raclopride per legarsi ai recettori della dopamina D₂.

Il piacere, di base, è un fenomeno soggettivo che è difficile valutare oggettivamente, tuttavia i cambiamenti fisiologici si verificano nei momenti di estremo piacere, cambiamenti che possono essere utilizzati per indicizzare gli stati piacevoli che un soggetto vive in risposta alla musica (Salimpoor, 2011). Sono stati utilizzati come indice di riferimento i brividi, indicatore della massima risposta emotiva alla musica (Grewe, 2007). I brividi implicano uno schema chiaro e discreto di eccitazione del sistema nervoso autonomo e consentono di verificare il raggiungimento dell'obiettivo attraverso misurazioni psicofisologiche.

Le preferenze musicali sono molto individuali, quindi per garantire le massime risposte emotive è stato chiesto ai partecipanti dello studio condotto da Salimpoor e colleghi (2011) di scegliere la propria musica preferita. Dopo un ampio screening, è stato reclutato un gruppo di persone che sperimentano costantemente brividi, oggettivamente verificabili, durante il picco delle loro risposte emotive, in modo da quantificare presenza e tempistica delle più intense risposte di piacere. Sono state raccolte misurazioni psicofisologiche durante la scansione PET per verificare i cambiamenti nel sistema nervoso autonomo:

- Frequenza cardiaca;
- Frequenza respiratoria;
- Conduttanza cutanea elettrodermica;
- Ampiezza delle pulsazioni del volume sanguigno;
- Temperatura periferica.

Successivamente, sono state fatte ascoltare le canzoni preferite, scelte dai partecipanti (stimolo positivo) e quelle scelte dagli altri (stimolo neutro) per verificare le differenze. La PET non consente una risoluzione temporale, richiesta per esaminare queste distinzioni, quindi nello studio è stata combinata la specificità temporale della risonanza magnetica funzionale (fMRI) con la specificità neurochimica della PET (ibidem).

Le scansioni della fMRI sono state acquisite con gli stessi partecipanti e con gli stessi stimoli per esaminare il profilo temporale del livello di ossigenazione del sangue, in modo particolare nelle regioni che mostrano nella PET il rilascio di dopamina.

La PET ha avuto luogo in due sessioni, i partecipanti hanno ascoltato sia piacevole che neutrale durante l'intera sessione. Durante entrambe le

sessioni sono stati raccolti sia gli indicatori soggettivi che oggettivi di eccitazione emotiva. Le risposte soggettive dalle scale di valutazione includevano un'auto rapporto sul calcolo del numero di brividi provati durante l'ascolto, l'intensità dei brividi ed il grado di piacere sperimentato nell'ascolto di ogni brano.

Lo studio ha riportato i seguenti dati:

- Il numero medio di brividi per ogni brano musicale piacevole era 3,7 (SD=2,8);
- Il maggior grado di piacere è stato sperimentato durante l'ascolto della canzone preferita rispetto all'ascolto del brano non scelto dal soggetto;
- Una correlazione positiva tra l'intensità riferita dei brividi provati ed il grado di piacere provato, dimostrando come la misurazione dei brividi sia di fatto una rappresentazione concreta del piacere provato durante l'ascolto del brano musicale;
- Le misurazioni oggettive dei segnali psicofisologici indicativi dell'eccitazione emotiva, raccolti durante le due sessioni di scansione PET ha mostrato un significativo aumento dell'attività del sistema nervoso autonomo durante l'ascolto del brano preferito, precisamente:
 - Un aumento della frequenza cardiaca;
 - Una risposta elettrodermica;
 - Diminuzione della temperatura corporea;
 - Diminuzione dell'ampiezza del flusso sanguigno.

- Le misurazioni soggettive relative all'intensità dei brividi hanno dimostrato una significativa correlazione con l'eccitazione del sistema nervoso autonomo, precisamente:
 - Aumento della frequenza cardiaca;
 - Aumento della respirazione;
 - Aumento della risposta elettrodermica;
 - Diminuzione della temperatura;
 - Diminuzione dell'ampiezza del flusso sanguigno.

L'analisi dei dati raccolti con la PET ha rilevato un aumento della trasmissione della dopamina endogena, come indicizzato dalla diminuzione del potenziale di legame del reclopride, bilateralmente, nello striato dorsale e ventrale, quando si presenta il contrasto tra la musica piacevole e quella neutra come mostrato in Figura 1 (Salimpoor, 2011).

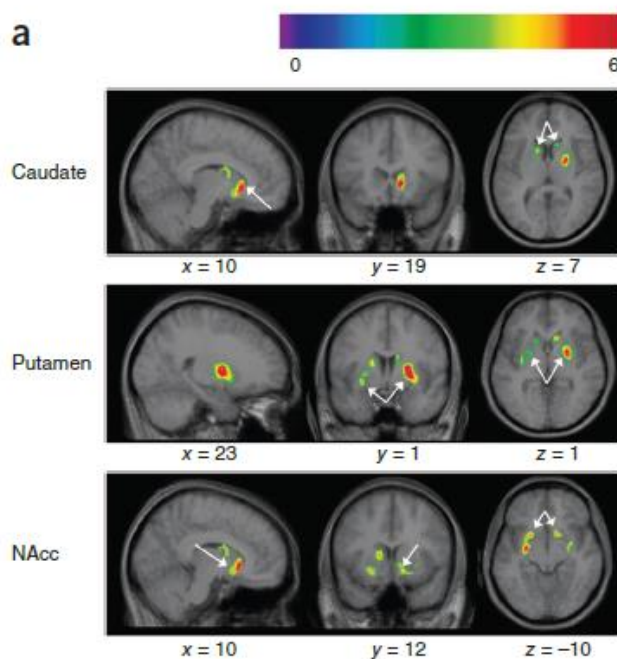


Figura 1 La PET dimostra il rilascio della dopamina durante l'ascolto di un brano ritenuto dal soggetto piacevole. Le mappe parametriche statistiche rilevano che il legame di potenziale del reclopride diminuisce bilateralmente nel caudato, nel putamen e nel nucleo accumbens (NAcc), indicando un maggior rilascio di dopamina durante l'ascolto del proprio brano preferito.

La percentuale del cambiamento del legante di potenziale della dopamina è più alta nel caudato destro e nel nucleo accumbens (Figura 2).

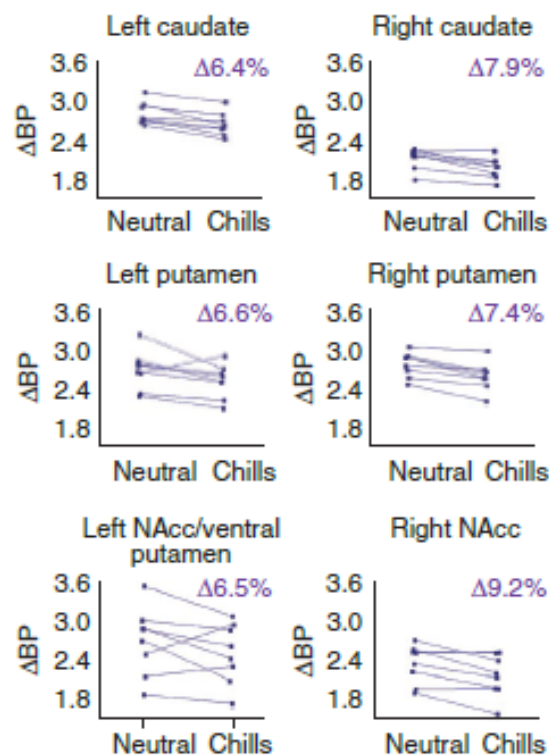


Figura 2 La variazione del valore dei potenziali (BP) tracciati separatamente per ogni individuo mostrano che il cambiamento è stato coerente per la maggior parte delle persone.

Questi risultati dimostrano che l'esperienza del piacere provato durante l'ascolto della musica è associata con il rilascio della dopamina nei sistemi striatali di ricompensa (Salimpoor, 2011).

Per ottenere informazioni relative alla dinamica temporale del rilascio di dopamina sono state acquisite scansioni fMRI durante l'ascolto del brano preferito del soggetto e durante l'ascolto del brano neutro. Gli ascoltatori indicavano con la pressione di un pulsante quando

avvertivano i brividi. Questa procedura ha permesso di integrare meglio l'emodinamica e i risultati neurochimici. I risultati di questo studio hanno permesso di dimostrare che l'intenso piacere provato durante l'ascolto di un brano musicale è associato all'attività della dopamina nel sistema di ricompensa mesolimbico, inclusi il dorsale e lo striato ventrale. Questo circuito, filogeneticamente antico, si è evoluto per rinforzare i comportamenti biologici di base che hanno un alto valore adattivo. Le qualità gratificanti dell'ascolto musicale non sono ovviamente direttamente adattive.

La percezione che si traduce in risposta gratificante è specifica per ogni ascoltatore, data la variabilità dei gusti musicali. Attraverso meccanismi cognitivi complessi gli esseri umani sono in grado di provare piacere durante l'ascolto della musica, piacere paragonabile a quello recato da stimoli biologici basilari (Salimpoor, 2011).

3. NEUROPLASTICITÀ E MUSICOTERAPIA

Gli studi sulla plasticità cerebrale, precedentemente citati, hanno dimostrato come la musica abbia degli effetti importanti su funzioni diverse, non specificatamente musicali, come per esempio (Schön, 2018):

- Nella memorizzazione di sequenze sonore;
- Nella discriminazione di suoni linguistici;
- Nell'apprendimento di una lingua straniera;
- In alcune competenze visuo-spaziali;
- Nell'attenzione;
- Nella selezione delle informazioni.

Queste modificazioni sono indotte da un aumento delle connessioni sinaptiche di determinate regioni cerebrali e da una migliore mielinizzazione assonale, cioè da una migliore "lubrificazione" di determinati fascicoli di sostanza bianca (ibidem). Gottfried Schlaug ha condotto numerosi studi per documentare le modificazioni plastiche indotte dalla musica ed insieme alla collega Catherine Wan nell'articolo *"Music making as a tool for promoting brain plasticity across the lifespan"* ha dimostrato come la plasticità del cervello sia alla base dello sviluppo, della maturazione, dell'apprendimento, della memoria, del recupero inseguito a infortunio, delle conseguenze di privazione sensoriale e di come imparare a suonare uno strumento ponga in evidenza le capacità adattive del cervello dato il coinvolgimento di più abilità contemporaneamente (Wan, 2010).

La musica inoltre non coinvolge solo la mente ma anche il corpo, ascoltare e produrre musica può portare infatti anche a cambiamenti fisiologici (Särkämö, 2012):

- Alla frequenza cardiaca;
- Alla respirazione;
- Alla temperatura cutanea;
- Alla secrezione ormonale.

Questo dimostra quindi che la musica può essere utilizzata come terapia efficace sia per problematiche cognitive che fisiche. Negli ultimi vent'anni le scienze cognitive e le neuroscienze si sono sempre più interessate alla musica e all'uso della stessa come mezzo riabilitativo di diversi disturbi, dimostrando in che modo possa essere utilizzata come pratica riabilitativa di alcune funzioni cognitive al pari di altri metodi utilizzati ad oggi nel sistema sanitario. Malgrado questo riconoscimento l'uso della musica in ambito riabilitativo resta ancora oggi molto limitato, soprattutto in Italia, dove la figura del musicoterapeuta a differenza degli altri paesi europei non è ancora riconosciuta.

3.1. Ictus, trauma cranico e Musicoterapia

L'ictus cerebrale è causato dall'improvvisa chiusura o rottura di un vaso cerebrale e dalla conseguente lesione delle cellule cerebrali dovuta dalla mancanza di ossigeno (ischemia) o alla compressione causata dal sangue fuoriuscito dal vaso (emorragia cerebrale). Caratteristica principale dell'ictus è la sua manifestazione improvvisa e solitamente

indolore. Solo nell'emorragia cerebrale è presente la cefalea. I sintomi tipici sono la comparsa improvvisa di astenia, formicolio o assenza di sensibilità ad un arto. Può anche verificarsi una difficoltà nella verbalizzazione o nella vista (Särkämö, 2012).

A volte questi sintomi compaiono solo per alcuni minuti per poi svanire completamente: si parla in questi casi di attacchi ischemici transitori (TIA), importanti campanelli di allarme per una futura comparsa di un ictus.

La chiusura dei vasi cerebrali può essere anche causata da emboli che si staccano dalle placche di aterosclerosi del collo (arterie) e dal cuore o da aterosclerosi dei piccoli vasi all'interno dell'encefalo.

L'ictus può provocare delle invalidità temporanee o permanenti. La loro gravità dipende da quanto a lungo il cervello è rimasto privo dell'afflusso sanguigno e dalla parte di cervello colpita (Jun, 2013).

Le complicazioni tipiche dell'ictus sono:

- Paralisi semi-totale o totale dei muscoli motori: si verifica se il cervello è rimasto privato a lungo di sangue. Il paziente non riesce più a controllare determinati muscoli degli arti e del viso, generalmente su un singolo lato del corpo;
- Difficoltà nella verbalizzazione e nella deglutizione: perdita di controllo dei muscoli della bocca e di quelli deputati alla deglutizione. Il soggetto non riesce a deglutire, a produrre e comprendere il linguaggio correntemente parlato;
- Perdita di memoria e incapacità di ragionamento;
- Dolore post-ictus: dolore continuo e formicolio. Ipersensibilità agli sbalzi termici;

- Problemi emotivi e cambiamenti comportamentali: perdita del controllo delle proprie emozioni, frequente comparsa di depressione;
- Perdita dell'autonomia: incapacità di prendersi cura della propria persona.

Il trauma cranico è una lesione cranica o encefalica causato da un evento fisico di tipo meccanico (Khan, 2003). Possono essere di vario genere:

- Focale: quando interessa un'area specifica del cervello;
- Diffuso: quando la lesione interessa molteplici aree cerebrali.

Le complicazioni che derivano da un trauma cranico sono analoghe a quelle tipiche dell'ictus.

Le vittime di ictus o di un trauma cranico possono trarre importanti benefici dalla musicoterapia dato che spesso questi pazienti si trovano a combattere con deficit del linguaggio, della vista e del movimento: la pratica musicoterapica aiuta questi pazienti a riacquisire tali funzioni oltre che a favorire un tono dell'umore più elevato (Särkämö, 2012).

In modo particolare la *“Neurologic Music Therapy”* può essere una triplice soluzione per questi pazienti in quanto si tratta di una applicazione terapeutica della musica alle disfunzioni cognitive, sensoriali e motorie in seguito ad una patologia neurologica che coinvolge il sistema nervoso con l'intento di potenziare il funzionamento sensomotorio, linguistico e cognitivo (Hegde, 2014).

Per ciò che riguarda il funzionamento sensomotorio, in entrambe le patologie, si può verificare la perdita del controllo di un determinato distretto muscolare o di un intero lato del corpo rendendo il soggetto paralizzato. In questi casi è la *“Music-Movement Therapy”* ad aiutare

questi soggetti a riacquisire l'uso delle aree coinvolte da tale paralisi (Jun, 2013).

Eun-Mi Jun e colleghi hanno studiato l'effetto della "*Music-Movement Therapy*" sulla salute fisica ed emotiva dei pazienti affetti da ictus ipotizzando che tale terapia avrebbe aiutato i soggetti a riprendere a muovere il distretto corporeo paralizzato. Lo studio è stato condotto analizzando in parallelo due gruppi: uno sperimentale (che beneficiava della "*Music-Movement Therapy*") ed uno di controllo. Questo studio ha permesso di provare come questa terapia portasse i soggetti ad un aumento del range del movimento della spalla, anca e gomito, rispetto al gruppo di controllo, ai quali invece il range diminuiva o rimaneva lo stesso (ibidem). Questo studio ha permesso inoltre di dimostrare che i soggetti che hanno beneficiato di questa terapia presentavano un tono dell'umore più elevato e che questo trattamento oltre a consentire di riacquisire il movimento muscolare permetteva di migliorare l'andatura, con una camminata costante, mediante l'ausilio di strumenti ritmici (ibidem).

Per la riacquisizione del linguaggio o della fluenza verbale invece vengono utilizzate le stesse metodologie utilizzate per il disturbo del linguaggio analizzate nel paragrafo che segue.

3.2. Disturbi del linguaggio e Musicoterapia

Nel canto e nella verbalizzazione vi sono evidenti somiglianze comportamentali, esattamente come vi sono delle somiglianze nei correlati neurali condivisi e distinti di entrambi. Questo ha portato a far

valutare a degli esperti se il canto potesse essere utilizzato come risorsa per trattare alcune anomalie fonomotorie del linguaggio associate a varie condizioni neurologiche (Wan S. , 2010).

L'afasia è una complicanza comune in soggetti affetti da ictus o altre lesioni cerebrali: porta alla perdita della capacità di produrre e/o comprendere il linguaggio. La natura e la gravità della disfunzione del linguaggio dipendono dalla posizione e dall'entità della lesione cerebrale.

L'afasia può infatti essere classificata in (Altenmüller S. , 2015):

- Fluente: deriva da una lesione che coinvolge il lobo temporale superiore posteriore (area di Wernicke). I pazienti in questo caso parlano fluentemente e mostrano un linguaggio articolato con una lunghezza di espressione relativamente normale ma il loro discorso può risultare completamente incomprensibile, possono essere violate le regole sintattiche e grammaticali e ed esser presenti gravi deficit di comprensione del linguaggio;
- Non fluente: deriva da una lesione del lobo frontale sinistro che coinvolge la regione frontale inferiore posteriore sinistra (area di Broca). I pazienti in questo caso presentano una comprensione relativamente intatta del linguaggio ma hanno marcati deficit nell'articolazione e nella produzione linguistica.

Secondo le teorie recenti vi sono due percorsi differenti per il recupero dell'afasia in base alla tipologia di lesione:

- Pazienti con piccole lesioni nell'emisfero sinistro: si tende a reclutare durante il processo di recupero entrambe le cortecce

perilesionali emisferiche sinistre con il coinvolgimento delle regioni omologhe di destra (Altenmüller, 2015);

La musica ha una stretta connessione con l'elaborazione linguistica. Dal punto di vista neuroscientifico la musica è molto simile ad altri sistemi di comunicazione: le aree implicate nell'ascolto e nella pratica musicale infatti sono simili a quelle del linguaggio, di conseguenza in caso di deficit linguistici spesso vi sono associati deficit musicali (Schön, 2018).

Sebastian Jentschke ha realizzato uno studio ponendo in relazione due gruppi composti da bambini: nel primo vi erano bambini facenti parti di un coro, nel secondo gruppo bambini non esposti a questa pratica musicale. Tale studio ha permesso di notare delle importanti differenze: i bambini che ricevevano una formazione musicale elaboravano la sintassi linguistica più prontamente dei bambini che non presentavano tale formazione (Mannes, 2013).

Lo stesso Brian Cates ha dimostrato l'importante sovrapposizione che vi è nell'elaborazione musicale e in quella linguistica dato che entrambe le funzioni attivano le aree linguistiche del cervello: l'area di Broca e l'area di Wernicke (Cates, 2015). La connessione tra musica e linguaggio è quindi molto importante perché la musica può essere usata come un metodo di trattamento benefico per pazienti che presentano problemi nella produzione del discorso, nella comprensione del linguaggio o nella scrittura (ibidem). I pazienti con ictus spesso presentano danni all'area di Broca, posta nell'emisfero sinistro, responsabile della produzione del linguaggio. La lesione di quest'area può portare ad afasia, quindi

all'incapacità in un soggetto di esprimersi mediante le parole, la scrittura o di comprendere le parole o testi scritti da altri (Conklyn, 2012). Studi hanno dimostrato che pazienti che presentano afasia, sebbene non siano in grado di pronunciare le parole sono però in grado di cantarle (Horowitz, 2013). Questo dimostra che l'elaborazione musicale coinvolge maggiormente l'emisfero cerebrale destro, rispetto al linguaggio che coinvolge l'emisfero sinistro (Conklyn, 2012).

La "*Melodic Intonation Therapy*" tratta nello specifico pazienti con afasia. Si tratta di un trattamento graduale che combina la melodia con parole e frasi con l'intento di sfruttare la capacità del paziente di cantare per facilitare l'output vocale (Conklyn, 2012). Scansioni cerebrali hanno dimostrato che l'area di Broca è più attiva durante questa terapia rispetto a quando il soggetto esegue la logopedia, questo attesta come l'emisfero destro possa svolgere un ruolo importante, assistendo l'emisfero sinistro quando vengono entrambi attivati (ibidem). Nei casi in cui l'emisfero sinistro è completamente danneggiato l'emisfero destro può lentamente imparare a prendere completamente il controllo del processo vocale. Questa ipotesi è stata dimostrata da uno degli studi di Schlaug, il quale ha rilevato che ciascuno degli emisferi cerebrali hanno una notevole capacità di compensare le reciproche parti in caso di lesioni (Horowitz, 2013). Questa capacità del cervello fornisce una riprova delle abilità plastiche del cervello.

Uno studio condotto da Dwyer Conklyn e colleghi ha dimostrato inoltre che la "*Melodic Intonation Therapy*", soprattutto se utilizzata subito dopo un ictus, aiuta i pazienti a riprendere la parola dando ulteriore prova dell'efficacia della musicoterapia (Conklyn, 2012).

3.3. Demenza, Memoria e Musicoterapia

La perdita della memoria è una delle complicanze che può insorgere in seguito ad un trauma cranico o ad un ictus, come illustrato precedentemente.

Le cause più comuni che determinano la perdita della memoria sono:

- Demenza: perdita della memoria associata ad una disfunzione cognitiva e comportamentale;
- Disturbi cognitivi: immagazzinamento di nuove informazioni relativamente preservato e recupero dei ricordi più lento. Solitamente è intaccata la memoria a breve termine;
- Depressione: può causare la perdita della memoria determinando una pseudodemenza;
- Compromissione della memoria legata all'invecchiamento cerebrale: si ha in seguito all'invecchiamento. L'immagazzinamento dei nuovi ricordi è relativamente preservato, tempi prolungati nella formazione di un ricordo.

La memoria può essere paragonata a un enorme magazzino all'interno del quale un individuo può conservare tracce della propria esperienza passata cui attingere per affrontare situazioni di vita presente e futura. Questo registro non ha proprietà statiche e passive ma può essere definito come un costruttore attivo di rappresentazioni sul mondo (Tomei, 2017).

La letteratura scientifica individua tre fasi principali dei processi di elaborazione mnestica:

- la fase di codifica: la nuova informazione viene trasformata in un codice che la memoria è in grado di riconoscere. Il processo di codifica viene influenzato da diversi fattori: le caratteristiche dello stimolo e i fattori emotivo-cognitivi-motivazionali del soggetto;
- la fase di ritenzione: in questa fase il ricordo viene rafforzato e fissato in modo stabile e a lungo termine;
- la fase di recupero: recupero dell'informazione e del ricordo dalla memoria a lungo termine alla memoria di lavoro per utilizzarla.

Non si tratta di stadi necessariamente separati e sequenziali e rappresentano l'intero processo dell'elaborazione mnestica (Tulving, 1972).

Tra i classici e i primi modelli esplicativi della memoria ritroviamo il noto modello di Atkinson e Shiffrin (1968) che postula l'esistenza di tre tipi di memoria: memoria sensoriale, memoria a breve termine (MBT) e memoria a lungo termine (MLT).

La memoria a breve termine (MBT) contiene le informazioni per un periodo di tempo molto breve, solitamente una decina di secondi, dopo la traccia decade. Una delle peculiarità di questo magazzino mnestico è quella di contenere contemporaneamente poche unità di informazioni. In un soggetto adulto le unità contenibili nella MBT sono cinque più o meno due, mutano a seconda delle caratteristiche del materiale da ricordare. Se queste informazioni non vengono trasferite nel magazzino a lungo termine decadono e svaniscono. La MBT svolge una funzione transitoria e di servizio tra la memoria sensoriale e la memoria lungo termine. Se queste tracce riescono a essere consolidate tramite strategie

comportamentali fluiscono nella memoria a lungo termine, e se così non fosse, allora sono destinate a scomparire.

La memoria a lungo termine (MLT) è un archivio avente una capacità quasi illimitata, sono conservate tutte le esperienze e le conoscenze acquisite nel corso della vita. La memoria a lungo termine si suddivide in memoria esplicita, o memoria dichiarativa, e memoria implicita o memoria procedurale.

La memoria esplicita, o dichiarativa, racchiude tutto ciò che può essere raccontato consapevolmente dal soggetto, è suddivisa in: memoria episodica, memoria semantica e memoria autobiografica. La memoria procedurale o implicita, al contrario, contiene abilità motorie, percettive e cognitive.

Baddeley e Hitch nel 1974 introdussero successivamente il modello della memoria di lavoro o working memory (WM), come modello alternativo e più specifico rispetto alla concettualizzazione della memoria a breve termine di Atkinson e Shiffrin (Baddeley, 2007). La working memory è una forma di memoria a breve termine che mantiene una quantità circoscritta di informazioni in un tempo limitato. L'informazione presente nella memoria di lavoro permette l'utilizzo dell'informazione stessa nel qui ed ora.

La memoria di lavoro:

- mantiene ed elabora le informazioni durante l'esecuzione di compiti cognitivi;
- mantiene attiva l'informazione per metterla al servizio degli altri processi cognitivi implicati nello svolgimento di un compito o di un'attività.

Questo sistema di memoria ha però una capacità limitata e può trattenere l'informazione per un periodo limitato di tempo.

Il modello della memoria di lavoro implica diversi sottosistemi:

- l'"esecutivo centrale": sistema di controllo attenzionale responsabile della selezione e del coordinamento di una serie di processi;
- il "circuito fonologico": sistema in grado di mantenere attiva l'informazione verbale anche mediante un meccanismo di ripetizione subvocalica;
- il "taccuino visuo-spaziale": un sistema la cui funzione è quella della ritenzione temporanea delle caratteristiche visuo-spaziali delle informazioni.

Le strutture maggiormente imputabili nei processi mnestici sono l'ippocampo e l'amigdala: strutture sottocorticali situate nel lobo temporale, facenti parte del sistema limbico (Berman, 1986). L'ippocampo gioca un ruolo fondamentale nella formazione della memoria a breve termine ma non nel consolidamento della traccia mnestica: raggruppa informazioni processate da altre aree cerebrali sintetizzandole in un'unica configurazione di stimoli sensoriali esterni. L'amigdala consente invece il controllo dell'informazione sensoriale e l'attribuzione di un particolare significato affettivo o emotivo a tale informazione. Essa è considerata anche la struttura grazie alla quale è possibile unire uno stimolo ad un premio (ricompensa) o ad una punizione (stimolo avversivo). L'ippocampo e l'amigdala sono strutture intercambiabili ma al mancare di entrambe si realizzano vere e proprie perdite di memoria.

Studi condotti sulle scimmie mostrano come la rimozione bilaterale dell'ippocampo e dell'amigdala provochi, nell'animale sottoposto al compito di identificazione di oggetti non familiari, prestazioni di poco superiori alla semplice scelta casuale (Cestari, 2001). Altre strutture implicate nei processi di memoria sono l'ipotalamo, il talamo ed in parte i lobi frontali (soprattutto per i processi mnestici legati alle emozioni). Da un punto di vista neuronale, il dato esterno viene ricevuto da recettori sensoriali "periferici" per poi essere trasmesso alla stazione talamica specifica per ciascuna modalità sensoriale ed infine giunge alla corteccia primaria dove viene elaborata in modo da produrre una risposta comportamentale coerente con la stimolazione ambientale.

La demenza è un problema di salute pubblica che colpisce circa cinquanta milioni di persone in tutto il mondo. Con l'aumento dell'aspettativa di vita si stima un aumento significativo nei prossimi decenni: potrebbe triplicarsi entro il 2050 (Blackburn, 2014). Vi sono diverse cause che portano all'insorgere di questa patologia e la sua diagnosi dipende dalla conoscenza delle diverse manifestazioni cliniche e da una sequenza di specifici esami complementari. Le quattro forme più comuni di demenza sono (Schlindwein, 2010):

- La malattia di Alzheimer;
- La demenza vascolare;
- La demenza frontotemporale;
- La demenza con corpi di Lewy.

Per diagnosticare la demenza i deficit cognitivi o comportamentali dovrebbero interessare almeno due di questi domini (Baird, 2015):

- Memoria;

- Funzioni esecutive;
- Abilità visuo-spaziali;
- Disturbi del linguaggio;
- Disturbi della personalità;
- Comportamento: sbalzi d'umore, agitazione, apatia, disinteresse e isolamento sociale.

La demenza insorge solitamente in soggetti con età superiore ai 65 anni, problemi di salute fisica come diabete e ipertensione aumentano il rischio di Alzheimer o di una demenza vascolare. La riserva cognitiva può essere un fattore protettivo portando a minimizzare il declino cognitivo e funzionale. I fattori che aumentano la riserva cognitiva sono: l'esercizio fisico, la stimolazione intellettuale o le attività svolte nel tempo libero per tutta la vita. La riduzione del rischio si verifica anche nel caso di predisposizione genetica (Livingston, 2017). Le opzioni di trattamento di prima linea utilizzati vedono l'assunzione di farmaci che rallentano la progressione della malattia e farmaci antipsicotici per trattare i disturbi comportamentali (Blackburn, 2014). Sono altamente raccomandate strategie individuali nella scelta del farmaco adeguato a causa dell'individuale decorso della malattia e della diversa risposta ai farmaci e ai loro effetti avversi (Sacuiu, 2016). La musicoterapia è un trattamento non farmacologico che mira a minimizzare i sintomi (Vale, 2011). Questo tipo di intervento viene spesso utilizzato con pazienti con Alzheimer, è meno dannoso dei trattamenti farmacologici e consente di migliorare le funzioni cognitive, l'umore e la qualità della vita dei pazienti. Quando la musica viene utilizzata come terapia la musica svolge un ruolo primario nell'intervento mentre il terapeuta un ruolo secondario, quando la

musica è usata in terapia invece il terapeuta assume un ruolo primario e la musica un ruolo secondario (Bruscia, 2014). Il musicoterapista è un professionista qualificato che ha la capacità di sviluppare interventi musicali adatti alle esperienze e alla malattia del paziente. La terapia neuromusicale è una modalità di intervento clinico della musicoterapia che agisce per promuovere la riabilitazione cognitiva dei pazienti neurologici (Alcântara-Silva, 2014). Studi hanno dimostrato l'efficacia di questo trattamento per ridurre sintomi comportamentali tipici della demenza come agitazione, irritabilità, depressione e apatia (Arroyo-Anlló, 2013). Nell' Alzheimer la capacità di riconoscere la musica resta relativamente preservata, la memoria musicale viene risparmiata, soprattutto all'inizio della malattia (Särkämö, 2014). Il sistema di memoria umano prevede, come precedentemente illustrato, un processo di codifica, archiviazione e recupero delle informazioni. La memoria musicale può essere definita come la codifica neurale delle esperienze musicali, la memorizzazione di queste esperienze e la successiva rievocazione di queste informazioni. Uno studio di Jacobsen (2015) su pazienti con Alzheimer ha dimostrato come in questi soggetti vi è una maggiore conservazione delle aree cerebrali coinvolte nell'elaborazione musicale (Jacobsen, 2015). Gli autori hanno scoperto che la memoria musicale è parzialmente indipendente dagli altri sistemi di memoria e quindi in questi pazienti può essere parzialmente preservata, i meccanismi neurali e i substrati della memoria musicale coinvolgono diverse reti cerebrali anatomiche. Diversi aspetti della memoria musicale possono restare intatti mentre l'anatomia del cervello e le funzioni cognitive vengono compromesse. Inoltre le regioni correlate

alla memoria musicale come la corteccia cingolata anteriore caudale e l'area motoria supplementare hanno mostrato un livello minimo di atrofia corticale e l'interruzione del metabolismo del glucosio rispetto al resto del cervello, la deposizione del β -amiloide in queste regioni è in una fase iniziale. Questi risultati possono spiegare la sorprendente conservazione della memoria musicale. La codifica musicale può servire come aiuto mnemonico nell'Alzheimer.

3.4. Autismo e Musicoterapia

Nella scuola dell'infanzia, come strategia educativa, vengono utilizzate frequentemente le canzoni e filastrocche cantilenate, questo perché la musica, come dimostrano diversi studi, reca numerosi benefici (Särkämö, 2012):

- Aiuta a richiamare più facilmente le informazioni;
- Migliora il consolidamento della memoria;
- Facilita l'attenzione;
- Migliora il ragionamento.

Questo è il motivo per cui la musicoterapia viene utilizzata spesso in età prescolare e scolare, specialmente con i bambini che presentano un disturbo dello spettro autistico (Särkämö, 2012).

Il disturbo dello spettro autistico è un disturbo del neurosviluppo caratterizzato da deficit persistenti nella comunicazione, nell'interazione e nei comportamenti sociali con interessi o attività limitate e ripetitive (American Psychiatric Association, 2013). Questi sintomi sono identificabili durante i primi anni dello sviluppo e causano una

significativa compromissione nel funzionamento sociale, lavorativo e quotidiano; sono sintomi che possono variare in termini di gravità in ogni soggetto (Horovitz, 2011). Si tratta di una patologia frequente soprattutto in America, dove si stima che ne sia affetto un bambino su ottantotto (Särkämö, 2012).

L'improvvisazione libera e le musiche pre-composte sono molto utili per lavorare con bambini con bisogni speciali (ibidem).

Gli obiettivi della musicoterapia variano ampiamente e sono determinati dalle esigenze dei pazienti. Con i soggetti che presentano il disturbo dello spettro autistico la musicoterapia verte sullo sviluppo (Kelpan, 2005):

- Delle abilità comunicative;
- Delle abilità linguistiche;
- Delle abilità comportamentali;
- Delle abilità sociali.

Sono molti i musicoterapisti che lavorano con i bambini che presentano questo disturbo riscontrando evidenti benefici, tra cui (Vries, 2015):

- Un aumento dei comportamenti sociali appropriati;
- Un aumento dell'attenzione nell'esecuzione di compiti;
- Un aumento delle vocalizzazioni e delle verbalizzazioni;
- Una maggior comprensione del vocabolario;
- Una maggior comunicazione e abilità sociali;
- Una maggior consapevolezza e coordinazione del corpo;
- Una riduzione dell'ansia.

Grazie alla musica il mondo esterno riesce a penetrare nella mente del bambino autistico.

Ricerche hanno comprovato che la musica è dominio di interesse ed è una capacità conservata e sviluppata nell'autismo. Nello specifico, la ricerca comportamentale empirica ha dimostrato che soggetti con autismo hanno:

- Una capacità superiore di elaborazione del timbro (Heaton, 2009);
- Memoria melodica potenziata (Heaton, 2003);
- Preservate le abilità che consentono di comprendere le regole dell'armonia e la complessità del processo melodico (Heaton, 2009);
- Intatta la capacità di sincronizzare il ritmo (Tryfon, 2017).

Un dato particolarmente importante emerso dalla ricerca ha dimostrato inoltre che comunemente nell'autismo le informazioni di tono vengono elaborate in modo eccellente (Heaton, 2009): bambini autistici senza alcuna formazione musicale sono in grado di associare con precisione i toni musicali alle corrispondenti note, abilità conosciuta come altezza assoluta che consente di identificare o produrre l'altezza di un tono senza riferimento ad uno standard esterno (Heaton, 2009). Questa capacità sviluppata di elaborare un semplice stimolo uditivo come i toni musicali contrasta con una generale ridotta capacità di elaborazione sociale o di suoni meno complessi che consentono l'utilizzo della parola: paradosso che ha consentito di studiare l'elaborazione sensoriale atipica dei soggetti affetti da autismo (Chowdhury, 2017). Vi è inoltre una iperestesia a determinati suoni o forti rumori, non associata all'ipersensibilità delle vie uditive ma ad una difficoltà riscontrata dai sistemi di elaborazione corticale (Funabiki, 2012). Di recente è stato dimostrato anche il ruolo che lo stimolo musicale ha nei soggetti con

autismo nell'elaborazione emotiva: consente di identificare correttamente la valenza positiva o negativa degli stimoli emotivi musicali (Brown, 2017). Questi risultati sono coerenti con quelli ottenuti negli studi effettuati con gli studi di neuroimaging che hanno dimostrato che i circuiti corticale e subcorticale, responsabili dell'elaborazione affettiva e della ricompensa, sono conservati (Caria, 2011). Un recente studio (2013) inoltre ha provato che sebbene le risposte emotive alla musica siano preservate in soggetti autistici con comorbidità di alessitimia (assenza di intuizione cognitiva delle proprie emozioni) essi hanno difficoltà ad attribuire una etichetta affettiva per queste emozioni. Questi studi indicano quindi che sebbene siano presenti deficit significativi nell'elaborazione emotiva nei contesti sociali è preservata la capacità di identificare il contenuto emotivo di stimoli affettivi non socialmente complessi, come la musica. Per ciò che concerne il linguaggio invece, nonostante siano comunemente presenti difficoltà nel linguaggio, recenti studi di neuroimaging hanno dimostrato che sono spesso preservate le abilità musicali vocali-analogiche: l'area di Broca generalmente poco attiva durante l'emissione del linguaggio risulta significativamente attiva durante l'elaborazione musicale; anche la connessione frontotemporale significativamente interrotta durante l'interazione mediante la verbalizzazione viene preservata durante il canto (Sharda, 2015). Questi risultati suggeriscono che possono essere utilizzati meccanismi alternativi di elaborazione mediante il canto, dovuto ad una differenza funzionale e strutturale nell'emissione della lingua parlata ed in quella cantata (metrica e più lenta).

Comunicazione sociale e deficit linguistici sono tradizionalmente le aree target primarie in musicoterapia. Lim (2010) si è occupato dell'acquisizione di parole target in soggetti con autismo mediante l'ausilio di una tecnica di musicoterapia neurologica chiamata "Sviluppo della parola e formazione linguistica attraverso la musica" (DSLIM) (Thaut, 2014). La tecnica è stata progettata per lo sviluppo appropriato di esperienze e materiali musicali per migliorare il linguaggio e lo sviluppo del linguaggio cantando, suonando strumenti musicali e combinando musica, linguaggio e movimenti. In questo studio sono stati presentati ai bambini video preregistrati di canzoni create dal musicoterapista nel quale sono state incluse parole target. L'intervento è stato somministrato due volte al giorno per tre giorni ed i test finali sono stati completati solo dopo sei sessioni di allenamento. I risultati hanno dimostrato i soggetti che sia i soggetti ad alta e a bassa funzionalità hanno aumentato la produzione verbale sia nella formazione musicale che nel parlato.

L'approccio di intervento utilizzato per sviluppare l'abilità di comunicazione sociale è invece l'improvvisazione musicale (Geretsegger, 2015). In questo approccio la musica è utilizzata come mezzo per esprimersi, comunicare, interagire e per sviluppare e riabilitare un adeguato funzionamento socio-emotivo. Kim, Wigram e Gold (2008) hanno studiato gli effetti della musicoterapia improvvisativa sull'attenzione congiunta. Lo studio ha riportato un miglioramento nell'inizio di una attenzione congiunta, nell'attenzione visiva, nella durata del contatto visivo e del contatto visivo alternato durante e dopo le sessioni di terapia (Kim, 2009).

La musicoterapia e le artiterapie sono quindi fondamentale in questo ambito di intervento perché consentono di creare un canale comunicativo che permette di sviluppare competenze, educare e consentir loro di comunicare.

3.5. Casi Clinici

3.5.1. Il caso di O. A.

Di seguito viene riportato un caso trattato durante l'esperienza di tirocinio svolta dal 11/10/2016 al 24/01/2017 con la supervisione del musicoterapista Luca Zoccolan presso la Cascina Teghillo, una City Farm Community che ha sede a Torino in Strada della Pronda 69. Cascina Teghillo nasce dalla ristrutturazione di una delle storiche cascine dell'area torinese di cui conserva la caratteristica disposizione con la corte interna. Situata al centro di un'area verde vincolata di circa 16000 mq, l'ampia area di pertinenza è utilizzata per attività occupazionali di tipo agricolo e per attività terapeutiche. Lavoro e momenti abilitativi e psicoeducazionali si alternano in un ambiente protetto. La Cascina è una delle prime Comunità in Italia ad ospitare in trattamento socio-riabilitativo specializzato per soggetti affetti da Disturbi dello Spettro Autistico. Si tratta di un luogo di vita dove i soggetti autistici sono aiutati e stimolati a esprimere tutte le loro potenzialità di autonomia, di umanità, di capacità, di comunicazione e integrazione con il contesto sociale.

I nuclei residenziali sono due:

- Comunità Fiordaliso (12 utenti);

- Comunità Girasole (12 utenti).

L'attività di tirocinio è stata svolta presso la comunità Girasole.

O. A. è una ragazza di 20 anni affetta da Disturbo dello Spettro Autistico a basso funzionamento ed è stata presa in carico dalla Comunità Girasole da circa due anni.

Presenta un'evidente difficoltà a stabilire una relazione: assente il contatto visivo e la reciprocità interattiva durante la comunicazione verbale. Verbalizzazione limitata all'uso di singole e esigue parole ripetute in modo compulsivo. Condotte comportamentali compulsive e fissazione per i lucchetti disposti nella stanza utilizzati per chiudere gli armadi metallici. Non presenta azioni anticipatorie e attenzione condivisa. Sguardo periferico e rigetto del contatto fisico. L'incontro con l'altro avviene in maniera evitante, non stabilisce il contatto oculare, saluta solo se sollecitata più volte, mantiene una mimica fissa ed inespressiva e si dirige immediatamente verso la porta d'uscita e sui lucchetti disposti sugli armadi. Ignora spesso le richieste e prosegue nelle sue attività. La ragazza manifesta un costante stato di instabilità psicomotoria, cammina ed esplora tattilmente le pareti e gli oggetti che incontra sul suo percorso.

I motivi che hanno suggerito l'invio di O. A. al trattamento musicoterapico vertono sui seguenti aspetti:

- Diagnosi di Disturbo generalizzato dello sviluppo psicologico;
- Necessità di integrare le competenze cognitive ed emotivo-affettive;
- Ridurre le condotte ansiose ed ossessive;

- Richiesta della madre che riconosce una dimensione musicale nell'espressività della ragazza.

La presenza di atteggiamenti di tipo esplorativo rivolti agli strumenti musicali hanno costituito un criterio sufficiente per una presa in carico musicoterapica. Il progetto di intervento proposta ad O. A. prevedeva una seduta alla settimana di 45 minuti con l'ausilio di una tecnica musicoterapica attiva.

Gli obiettivi posti per questo intervento erano:

- Aumentare i tempi di permanenza all'interno del setting musicoterapico e stabilizzarli;
- Contenere gli stati ansiogeni;
- Regolare l'emotività;
- Potenziare il canale vocale attraverso la modulazione melodica;
- Ampliare le condotte esplorative degli strumenti.

Il setting terapeutico proposto ad A. vedeva la disposizione di due tavoli paralleli, rispettivamente uno pieno di strumenti ed uno vuoto. L'inizio di ogni seduta prevedeva l'esecuzione di un brano durante il quale ogni singolo strumento veniva suonato e riposto sul tavolo vuoto opposto. Seguiva l'esecuzione di un secondo brano durante il quale veniva associata ad una stimolazione acustica una stimolazione visiva: ad ogni colore citato nel brano veniva presentato uno strumento o un oggetto dello stesso colore. La dimensione ludica facilitava la proposta comunicativa alla quale seguiva un riconoscimento ed un'emissione sonora del brano. Seguiva un dialogo sonoro dove O. A. veniva stimolata all'esplorazione degli strumenti. Durante la seduta è stato inoltre proposto l'ausilio del disegno.

Tale intervento ha permesso di raggiungere un livello soddisfacente di empatia. L'uso del canale vocale durante le sedute si è intensificato ed i momenti ansiogeni prevalentemente causati dalla vista dei lucchetti si sono progressivamente attenuati. L'esplorazione strumentale è gradualmente cambiata: gli strumenti ritmici, inizialmente bruscamente percossi ora vedono una rapida esplorazione sonora con l'ausilio di un adeguato movimento verticale. C'è stato inoltre un aumento dell'esplorazione degli strumenti.

Gli obiettivi inizialmente prefissi sono stati progressivamente raggiunti.

3.5.2. Il caso di L. C.

Di seguito viene riportato un caso trattato durante l'esperienza di tirocinio svolta dal 15/01/2019 al 23/03/2019 con la supervisione del Dott. Gerardo Manarolo presso l'Associazione Accordiabili che ha sede a Fasano (BR) in Via Santa Margherita.

L'Associazione "AccordiAbili" è un sodalizio nato a Fasano (BR), sul finire del 2011, con l'obiettivo di promuovere la ricerca e lo sviluppo di tecnologie in grado di avvicinare un disabile, con facoltà cognitive integre, all'utilizzo di uno strumento musicale (Progetto eMotion). L'idea di avviare un'associazione con questi fini, nasce prima di tutto dallo stesso presidente, Vincenzo Deluci, da tempo tetraplegico a causa di un incidente stradale il quale, però, dopo lunghi e faticosi anni di riabilitazione, ha recuperato parzialmente l'utilizzo dell'avambraccio sinistro e, pertanto, riesce a suonare il suo strumento, appositamente riadattato in base alle sue esigenze. Di qui l'idea di sviluppare e trasferire

questa esperienza ad altri casi di disabilità, con la nascita di "AccordiAbili", fondata da Vincenzo Deluci, Fabrizio Giannuzzi, Bruno Marchi, Giuliano Di Cesare e Cinzia Marasciulo.

L'associazione, inoltre, si avvale della collaborazione di volontari nonché amici, i "SognatoriAbili". Per lo sviluppo di tutti i progetti sono necessarie ingenti risorse finanziarie che AccordiAbili si prefigge di raccogliere attraverso la produzione di eventi musicali, teatrali e di formazione professionale.

L. ha 7 anni, presenta la diagnosi di Disturbo da Deficit di Attenzione. Al bambino è stato proposto un incontro a cadenza settimanale della durata di un'ora che prevedeva:

- Nei primi 30 minuti attività di musicoterapia svolta in una stanza adibita per l'attività. Il setting prevedeva una stanza la cui pavimentazione era totalmente coperta da tappetini di gomma morbidi sul quale il bambino aveva la possibilità di muoversi liberamente senza scarpe. Al centro era disposto lo strumentario Orff, con una netta prevalenza di strumenti percussivi per i quali il bambino ha mostrato sin dalla prima seduta maggior interesse. La stanza disponeva inoltre di un lettore musicale.

I primi incontri si sono basati principalmente sulla la produzione di una serie di brani selezionati accuratamente con la madre del bambino delle sigle dei cartoni animati che il bambino predilige. Nella seduta durante l'ascolto dei brani proposti veniva proposto un dialogo sonoro con gli strumenti percussivi o con il canto;

- Seguivano 15 minuti di attività didattico-musicale con il maestro di batteria, attività richiesta espressamente dal bambino. L'affiancamento del docente vedeva la messa in atto di strategie che consentivano di focalizzare l'attenzione dell'alunno che consentivano il proseguo dell'attività didattica.

Il percorso terapeutico proposto è stato svolto a piccoli passi con l'intento iniziale di indurre nel bambino un interesse per l'attività e di instaurare una relazione. I primi incontri sono stati determinanti e hanno visto inizialmente lo svolgimento delle sedute nel corridoio della struttura e solo successivamente nella stanza di terapia rispettando i tempi di L. che viveva uno stato agitazione psicomotoria nel momento in cui lo si confinava nella stanza di terapia. La successione di ogni incontro ha visto un graduale interesse del bambino all'attività, al suono, agli input sonori proposti e alla relazione. Lo stato di protesta iniziale che precedeva l'ingresso nella stanza di terapia è stato gradualmente sostituito dall'ingresso volontario e alla richiesta continua di proseguire l'attività anche al termine della stessa.

Durante le sedute di musicoterapia a L. venivano proposte le canzoni accuratamente selezionate dalla madre e la contemporanea esplorazione degli strumenti proposti nel setting. L. si mostrava disponibile nella esplorazione dei vari strumenti proposti con un attento ascolto ed esplorazione tattile dello stesso e mostrando un maggiore interesse per gli strumenti percussivi. Ogni seduta iniziava e terminava con la stessa proposta sonora, venivano dati input sonori ma anche lasciato lo spazio per l'improvvisazione e l'esplorazione. Il setting terapeutico consentiva inoltre a L. la libera espressione corporea: questo

aspetto ha permesso di garantire al bambino un benessere psicofisico che andava a protrarsi anche nel contesto domestico (come riportato dalla madre).

Al termine del percorso terapeutico sono stati raggiunti gli obiettivi inizialmente prefissati, L. ha iniziato a mostrare un interesse costante per la musica al punto da riproporlo continuamente nel contesto ludico quotidiano.

Appendice

Oliver Sacks: Musicofilia

Oliver Sacks nacque a Londra il 9 Luglio 1933 da madre e padre medici di origine ebraica. Sacks è il più piccolo di quattro fratelli, di cui uno, Micheal, affetto da schizofrenia. All'età di sei anni fugge da Londra a causa degli attacchi aerei tedeschi e si rifugia in un collegio nelle Midlands. Finita la guerra lascia il vecchio collegio ed inizia a frequentare la *St. Paul's School*, dove ha potuto coltivare la sua prima grande passione: la chimica. Dopo la laurea in Medicina e Chirurgia ad Oxford inizia ad esercitare la professione di medico negli Stati Uniti. Nel 1966 diventa professore di neurologia e dal 1970 inizia a scrivere dei disturbi neurologici dei suoi pazienti, pubblicando libri e articoli di carattere scientifico per vari periodici, quali il *The New Yorker* e il *The New York Review of Books*. Tra i lavori più famosi c'è:

- *Risvegli*: primo libro di successo. Saggio di argomento medico pubblicato nel 1973 che racconta le storie dei pazienti che furono vittime negli anni Venti dell'epidemia di encefalite letargica (Sacks, *Risvegli*, 1987). Verso la metà degli anni Sessanta, Sacks provò ad aiutare alcuni di questi ancora in vita, ricoverati al *Beth Abraham Hospital* nel Bronx, struttura di lungodegenza in cui erano stati ospitati tutti i pazienti che presentavano questa patologia. Il trattamento sperimentale utilizzato fu l'allora innovativo farmaco L-Dopa, le reazioni dei pazienti all'assunzione del farmaco vengono raccontate da Sacks in modo dettagliato. Da questo libro è stato

tratto nel 1990 l'omonimo film interpretato da Robin Williams e Robert De Niro;

- *L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello*: pubblicato nel 1985, riporta esperienze cliniche di tipo neurologico e descrive casi di pazienti con lesioni encefaliche di vario tipo che portavano a comportamenti singolari ed imprevedibili (Sacks, 1986);
- *Un antropologo su Marte*: pubblicato nel 1995, riporta sette casi, sette racconti neurologici di sette vite diverse. Un viaggio verso la realtà più profonda della malattia che trascende la medicina e si intreccia al significato stesso dell'esistenza (Sacks, 1995);
- *Vedere voci*: pubblicato nel 1990 e dedicato agli studi su pazienti affetti da sordità (Sacks, Vedere voci, 1990);
- *L'isola dei senza colore*: saggio pubblicato per la prima volta nel 1996. Il libro è diviso in due parti: la prima parte descrive il caso della popolazione dell'atollo micronesiano di Pingelap, affetta da una alta incidenza di acromatopsia, la seconda parte si interroga invece sulle misteriose origini della sindrome neurogenerativa rara che affligge i nativi dell'isola di Guam (Sacks, 1997);
- *Musicofilia*: pubblicato per la prima volta nel 2007.

Musicofilia è una raccolta di ventinove saggi in cui Sacks esplora il rapporto tra la musica e la mente concentrandosi su casi neurologici, in parte nuovi ed in parte derivati da libri precedenti.

Il libro è diviso in quattro parti:

- Nella prima parte vengono descritti vari casi, uno dei più celebri è il caso del chirurgo americano Tony Cicoria entrato in una cabina

telefonica durante un forte temporale e trafitto da un fulmine. A seguito di questo incidente diventa un musicofilo ossessivo pur essendo totalmente privo di precedenti competenze musicali (Sacks, 2007). Vengono citati inoltre casi di pazienti che dopo l'ascolto di determinate sinfonie hanno riportato delle vere e proprie crisi epilettiche e casi di pazienti che vivono costantemente con allucinazioni musicali. Sacks riporta inoltre in questa prima parte degli studi effettuati da Zatorre e colleghi nel 2005 che hanno dimostrato come l'immaginazione di un brano musicale attivi la corteccia uditiva con una intensità pari a quella che viene indotta dall'ascolto reale. Hanno inoltre notato che se un soggetto immaginava di suonare attivava anche la corteccia motoria (Zatorre H. , 2005);

- Nella seconda parte l'autore documenta, riportando anche in questa parte numerosi casi, aspetti legati alla capacità o meno di un soggetto di comprendere la musica, spaziando dai casi di soggetti con "orecchio assoluto" a casi di pazienti che presentavano una amusia cocleare.

Tra i casi più interessanti vi è quello di Martin, nato con un disturbo visivo che all'età di tre anni contrasse una meningite che gli causò crisi epilettiche, problemi cognitivi e motori. Sacks ebbe modo di incontrarlo in età adulta scoprendo il suo talento musicale: conoscitore di più di duemila opere di cui ne aveva imparato la parte di ogni strumento e di ogni voce.

Altro caso importante, riportato in questa parte è quello di Jorgen Jorgensen che a seguito della rimozione di un neurinoma al nervo

acustico perse completamente l'udito all'orecchio destro e in concomitanza questo lo portò una compromissione della qualità acustiche del suono e della ricezione emotiva, risultando così la musica all'ascolto piatta e bidimensionale. Ponendo in analisi questo caso, Sacks dimostra che la percezione non ha luogo esclusivamente nel presente ma attinge dal passato, citando a questo proposito l'esperienza che Edelman riconosce come "presente ricordato": ogni atto di percezione è allo stesso tempo un atto di creazione ed un atto di memoria è un atto di immaginazione, in questo modo vengono chiamate in causa l'esperienza, le conoscenze, l'adattabilità e l'elasticità cerebrale (Edelman, 1998);

- Nella terza parte Sacks riporta casi che testimoniano come la musica possa diventare uno strumento terapeutico in casi di afasia espressiva e come con l'ausilio della musica riescono a comunicare attraverso l'uso della parola cantata. Non è considerabile una comunicazione proposizionale ma consente di comunicare uno stato esistenziale ed emozionale, forma di comunicazione fondamentale perché consente al paziente di sentirsi vivo.

Vengono riportati inoltre casi di pazienti parkinsoniani che attraverso l'ascolto di determinate melodie riescono a superare gli episodi di "blocco improvviso" (Hackney, 2007).

Altro aspetto affrontato è quello della distonia focale dei musicisti in cui Sacks mette in evidenza come questa disfunzione neurale sia molto più frequente di quanto non si dica e spesso oltre a non

essere diagnosticata ad oggi non ci sono delle aspettative terapeutiche definitive e risolutive;

- Nella quarta ed ultima parte vengono poste in evidenza situazioni straordinarie, come quelle che confermano che la musica dei sogni è uguale a quella dello stato di veglia. Si tratta di una conclusione a cui è giunto Massey nel 2006 confermando le caratteristiche di permanenza ed accuratezza della qualità della memoria musicale nelle allucinazioni musicali, nei tarli e nell'immaginazione e di come esse permangono nonostante la mente possa essere compromessa da amnesia, demenza, psicosi o Parkinson (Massey, 2006). Viene inoltre dimostrato come la musica possa essere un valido strumento per uscire da stati di anedonia che esprimono un'insensibilità completa sia al piacere che alla tristezza: la musica riesce ad abbattere tutte le resistenze emotive permettendo il fluire dei sentimenti e quindi il ritorno alla vita (Sacks, 2007).

Conclusioni

L'intento di questa tesi è quello di dimostrare, mediante un'analisi critica degli studi e del materiale bibliografico scritto sul tema, che la musicoterapia ha la capacità di recare nel soggetto oltre a delle modificazioni comportamentali anche delle modificazioni morfologiche a livello cerebrale (Jun, 2013).

E' stato fatto un excursus storico sui contributi scientifici che hanno condotto le neuroscienze alle recenti tesi neuroplastiche, sono stati mostrati i contributi che numerosi studi hanno dato alla musicoterapia dimostrandone l'efficacia, al pari di altri metodi riabilitativi riconosciuti attualmente dal sistema sanitario.

Sono state inoltre illustrate le recenti ricerche effettuate in ambito riabilitativo, certificando l'efficacia della musicoterapia per la risoluzione di problematiche comportamentali, emotive, linguistiche e sociali.

Lo scopo di questa tesi è stato quello di mettere in luce tutti gli studi che negli anni hanno dato una credibilità scientifica ad un metodo terapeutico che ad oggi non giova degnamente nel panorama italiano dello spazio e della validità che merita.

Bibliografia

- Ahissar, A. A. (1998). Hebbian-like functional plasticity in the auditory cortex of the behaving. *Neuropharmacology* 37, 633–655.
- Alcântara-Silva. (2014). Musicoterapia, reabilitação cognitiva e doença de Alzheimer:revisão sistemática. *Rev Bras Musicoter*, 56–68.
- Allen. (1992). A tribute to David L. Nanney. An Experimental Ciliatologist. . *Developmental Genetics*, 1-8.
- Altenmüller. (2001). How many music centers are in the brain? *The biological foundations of music*, 273–280.
- Altenmüller, M. (2007). G. Motor learning and instrumental training. *Neurosciences in Music Pedagogy*, 145-155.
- Altenmüller, S. (2015). Apollo’s gift: new aspects of neurologic music therapy. *Prog Brain Res*, 237-252.
- Amunts, S. J. (1997). Motor cortex and hand motor skills: structural compliance in the human brain. *Hum Brain Mapp*, 206–215.
- Amunts, S. J. (1997). Motor cortex and hand motor skills: structural compliance in the human brain. *Hum. Brain Mapp*, 206-215.
- Arroyo-Anlló. (2013). Familiar music as an enhancer of self-consciousness in patients with Alzheimer's Disease. *Biomed Research International*. , 1–10.
- Association, American Psychiatric. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. Washington.
- Baddeley. (2007). *Working Memory, Thought and Action*. OUP Oxford.
- Baird. (2015). Music and dementia. *Prog Brain Res*, 207-235.
- Bakin, W. (1996). Induction of a physiological memory in the cerebral cortex by stimulation of the nucleus basalis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 93, 11219–11224.
- Batista. (2013). Long Noncoding RNAs: cellular address codes in development and disease. *Cell*, 1298-1307.

- Bengtsson, N. S. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nat Neurosci.*, 1148–1150.
- Berman. (1986). *The Physiological Process of Memory*. New York.
- Bermudez, L. E. (2009). Neuroanatomical correlates of musicianship as revealed by cortical thickness and voxel-based morphometry. *Cereb. Cortex* 19, 1583–1596.
- Blackburn. (2014). Music therapy for service users with dementia: a critical review of the literature. *J Psychiatr Ment Health Nurs.*, 879-88.
- Blanco. (2014). The principal sources of William James' idea of habit. *Front Hum Neurosci*, 274.
- Bottaccioli, F. (2016). *Epigenetica e Psiconeuroendocrinoimmunologia. Le due facce della Rivoluzione in corso nelle scienze della vita. Saggio scientifico e filosofico*. Milano: Edra S.p.A.
- Brandler, R. (2003). Differences in mental abilities between musicians and non-musicians. *Psychol Music*, 123–138.
- Brochard, D. D. (2004). Effect of musical expertise on visuospatial abilities: evidence from reaction times and mental imagery. *Brain Cogn*, 103–109.
- Brown. (2017). The influence of music on facial emotion recognition in children with autism spectrum disorder and neurotypical children. *Journal of Music Therapy*, 54, 55–79.
- Bruscia. (2014). *Defining music therapy*. Barcelona Publisher.
- Camaioni, D. B. (2007). *Psicologia dello sviluppo*. Milano: Il Mulino.
- Caramelli, L. R. (2010). Musical training, neuroplasticity and cognition. *Dementia Neuropsychologia*, 277–286.
- Caria. (2011). Functional and dysfunctional brain circuits underlying emotional processing of music in autism spectrum disorders. *Cerebral Cortex*, 21, 2838–2849.

- Cates. (2015). He Started the Whole World Singing a Song. *Musical Offerings* 6.
- Cestari. (2001). I disturbi dell'apprendimento e della memoria. *Le Scienze Quaderni "Le malattie del cervello"* 119, 72-78.
- Chowdhury. (2017). Auditory pitch perception in autism spectrum disorder is associated with non verbal abilities. . *Perception*, 46, 1298–1320.
- Clément, B. (2012). Effect of disease severity on neural compensation of item and associative recognition in mild cognitive impairment. *Alzheimers Dis*, 109-123.
- Conklyn. (2012). The Effects of Modified Melodic Intonation Therapy on Nonfluent Aphasia: A Pilot Study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 55, 1463.
- D'Ausilio, A. I. (2006). Cross-modal plasticity of the motor cortex while listening to a rehearsed musical piece. *Eur. J. Neurosci.* 24, 955–958.
- De Villers-Sidani, S. L. (2008). Manipulating critical period closure across different sectors of the primary auditory cortex. *Nat. Neurosci.*, 957–965.
- Denes, G. (2016). *Plasticità cerebrale. Come cambia il cervello nel corso della vita*. Roma: Carocci editore S.p.A.
- Doidge, N. (2007). *Il cervello infinito*. Milano: Adriano Salani Editore s.u.r.l.
- Edelman. (1998). *Il presente ricordato*. Milano: Rizzoli.
- Elbert, P. W. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 305–307.
- Fachner, G. E. (2013). Music therapy modulates fronto-temporal activity in rest-EEG in depressed clients. *Brain Topogr.*, 338-54.
- Fantini, B. (1976). *La macchina vivente. Meccanicismo e vitalismo nella biologia del Novecento*. Milano: Longanesi & C.

- Fritz, E. S. (2005). Active listening: task-dependent plasticity of spectrotemporal receptive fields in primary auditory cortex. *Hear. Res.* 206, 159–176.
- Funabiki. (2012). Cortical activation during attention to sound in autism spectrum disorders. *Research in Developmental Disabilities*, 33, 518–524.
- Galimberti. (1999). *Psicologia*. Milano: Garzanti Libri S.p.a.
- Gaser, S. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *J Neurosci.* , 9240–9245.
- Geretsegger. (2015). Common characteristics of improvisational approaches in music therapy for children with autism spectrum disorder: Developing treatment guidelines. *Journal of Music Therapy*, 52, 258–281.
- Grewe, N. K. (2007). Emotions over time: synchronicity and development of subjective, physiological, and facial affective reactions to music. *Emotion* 7, 774-788.
- Hackney, M. K. (2007). Effects of tango on functional mobility in Parkinson's disease: A preliminary study. *Journal of Neurologic Physical Therapy* 31, 173-179.
- Heaton. (2003). Pitch memory, labelling and disembedding in autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 44, 543–551.
- Heaton. (2009). Assessing musical skills in autistic children who are not savants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 364, 1443–1447.
- Hegde. (2014). Music-Based Cognitive Remediation Therapy for Patients with Traumatic Brain Injury. *Frontiers in Neurology* 5.
- Herdener, E. e. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *J Neurosci*, 1377–1384.

- Horovitz, M. S. (2011). The relationship between parents' first concerns and symptoms of autism spectrum disorders. *Developmental Neurorehabilitation* 14, 372–377.
- Horowitz. (2013). The Healing Power of Music and Dance. *Alternative and Complementary Therapies* 19, 265.
- Hoyle. (1979). Mechanisms of simple motor learning. *Trends in Neurosciences*, 153-155.
- Human Genome Sequencing Consortium International. (2004). Finishing the euchromatic sequence of the human genome. *Nature*, 391-945.
- Jacobsen. (2015). Why musical memory can be preserved in advanced Alzheimer's disease. *Brain*, 2438-50.
- Jakobson, L. K. (2008). Memory for verbal and visual material in highly trained musicians. *Music Percept*, 41–55.
- Jun, R. K. (2013). The Effect of MusicMovement Therapy on Physical and Psychological States of Stroke Patients. *Journal of Clinical Nursing* 22, 22-23.
- Kandel. (2007). *Alla ricerca della memoria. La storia di una nuova scienza della mente*. Torino: Codisce Edizioni.
- Kaplan, S. (2005). An analysis of music therapy program goals and outcomes for clients with diagnoses on the autism spectrum. *Journal of Music Therapy* 41, 2-19.
- Keller, G. (2015). Neurofeedback in three patients in the state of unresponsive wakefulness. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, 349-56.
- Khan. (2003). Rehabilitation after traumatic brain injury. *Med J Aust* 178, 5-290.
- Kim. (2009). Emotional, motivational and interpersonal responsiveness of children with autism in improvisational music therapy. *Autism*, 13 , 389–409.

- Kinney. (2018). Myelination Events. *Volpe's Neurology of the Newborn*, 176-188.
- Klosin. (2016). Mechanisms, timescales and principles of trans-generational epigenetic inheritance in animals. *Current Opinion in Genetics & Development*, 41-49.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 170–180.
- Kopiez, G. (2002). The musicians' glance: a pilot study comparing eye movement parameters in musicians and non-musicians. *Causal Productions*, 683–686.
- Kozelka, P. (1990). Beta and mu rhythm. *J. Clin Neurophysiol*, 191-207.
- Kučikienė, P. (2018). The impact of music on the bioelectrical oscillations of the brain. *Acta Medica Lituanica Vol. 25 N. 2*, 101 - 106.
- Kwon, G. O. (2013). Effect of the group music therapy on brain wave, behavior, and cognitive function among patients with chronic schizophrenia. *Asian Nurs Res*, 168-74.
- LaGasse. (2014). Effects of a Music Therapy Group Intervention on Enhancing Social Skills in Children with Autism. *Journal of Music Therapy* 51, 251.
- Leuner. (2010). Structural plasticity and hippocampal function. *Annu Rev Psychol*, 274.
- Livingston. (2017). Dementia prevention, intervention, and care. *Lancet*, 2673-2734.
- Lotze, S. T. (2003). The musician's brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *Neuroimage* 20, 1817–1829.
- Lubinsky. (2018). An epigenetic association of malformations, adverse reproductive outcomes and fetal origins. *J Assist Reprod Genet*, 1-12.
- Luria. (1960). Viruses, cancer cells and the genetic concept of virus infection. *Cancer. Res.*, 677-688.

- Mannes. (2013). The Power of Music: Pioneering Discoveries in the New Science of Song. *Paperback*, 81-84.
- Massey. (2006). The musical dream revisited: Music and language in dreams. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 42-50.
- McDonald. (2013). Impairments in social cognition following severe traumatic brain injury. *J Int Neuropsychol Soc* 19, 46-231.
- Mecacci, Z. (1982). *Teorie del Cervello. Dall'Ottocento ad Oggi*. Torino: Loescher Editore.
- Miquel. (2012). Structural plasticity of dendritic spines. *Curr Opin Neurobiol*, 383-388.
- Mosse. (2008). Hebb learning, verbal short-term memory and the acquisition of phonological forms in children. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 505-514.
- Münte, A. J. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nat Rev Neurosci.*, 473–478.
- Murthy. (1998). Synaptic plasticity: step-wise strengthening. *Current Biology*, R650-R653.
- Musacchia, S. S. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 15894–15898.
- Nanney. (1958). Epigenetic control system. *Proceedings of National Academy of Sciences USA* , 712-717.
- Nunez, S. (2007). Electroencephalogram. *Scholarpedia*, 1348.
- O'Kelly, J. P. (2013). Neurophysiological and Behavioral Responses to Music Therapy in Vegetative and Minimally Conscious States. *Front Hum Neurosci*, 884.
- O'Kelly, J. P. (2013). Neurophysiological and Behavioral Responses to Music Therapy in Vegetative and Minimally Conscious States. *Front Hum Neurosci*, 884.

- Pantev, O. E. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 811–813.
- Patston, K. R. (2007). The unusual symmetry of musicians: musicians have equilateral interhemispheric transfer for visual information. *Neuropsychologia*, 2059–2065.
- Penhune, S. (2012). Parallel contributions of cerebellar, striatal and M1 mechanisms to motor sequence learning. *Behav. Brain Res.* 226, 579–591.
- Rakic. (2007). The radial edifice of cortical architecture: from neuronal silhouettes to genetic engineering. *Brain Res Rev*, 204-219.
- Rideout, L. (1996). EEG correlates of enhanced spatial performance following exposure to music. *Percept Mot Skills*, 427–32.
- Rodrigues, G. L. (2007). Visual attention in musicians and non-musicians: a comparative study. *Proceedings of the 3rd International Conference on Interdisciplinary Musicology*.
- Sacks. (1986). *L'uomo che scambiò sua moglie per un cappello*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacks. (1987). *Risvegli*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacks. (1990). *Vedere voci*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacks. (1995). *Un antropologo su Marte*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacks. (1997). *L'isola dei senza colore*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacks. (2007). *Musicofilia*. Milano: Adelphi Edizioni.
- Sacuiu. (2016). Dementias. *Handb Clin Neurol.*, 123-51.
- Salimpoor, B. L. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience* , 257-262.
- Sammler, G. F. (2007). Music and emotion: electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*, 293–304.

- Särkämö. (2014). Cognitive, emotional, and social benefits of regular musical activities in early dementia: randomized controlled study. *Gerontologist*, 634–650.
- Särkämö, S. (2012). Music Listening after Stroke: Beneficial Effects and Potential Neural Mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1252, 267-268.
- Schlaug, J. H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 1047–1055.
- Schlaug, L. T. (1998). Macrostructural adaptation of the cerebellum in musicians. *Soc Neurosci.*, 842–847.
- Schlindwein. (2010). Dementia in the elderly: Neuropsychological aspects. *Rev Neurosci.* , 220–226.
- Schlindwein. (2010). Dementia in the elderly: Neuropsychological aspects. *Rev Neurosci.*, 220–226.
- Schön. (2018). *Il cervello musicale. Il mistero svelato di Orfeo*. Bologna: il Mulino.
- Sharda. (2015). Fronto-temporal connectivity is preserved during sung but not spoken word listening, across the autism spectrum. *Autism Research*, 8, 174–186.
- Sharma. (2013). Neural plasticity and its contribution to functional recovery. *Handb Clin Neurol*, 3-12.
- Sherry. (2010). Seasonal hippocampal plasticity in food-storing birds. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 933-943.
- Stegemöller. (2008). Music training and vocal production of speech and song. *Music Perception*, 419-28.
- Stegemöller. (2014). Exploring a neuroplasticity model of music therapy. *J Music Ther*, 211-27.
- Stoesz, J. K. (2007). Local processing advantage in musicians: evidence from disembedding and constructional tasks. *Music Percept*, 153–165.

- Suzuki. (2008). DNA methylation landscapes; provocative insights from epigenomics. *Nat Rev Genet*, 295-304.
- Swain. (2003). Controversial issues in a disabling society. *Journal of social policy*, 639-640.
- Sweatt. (2013). *Epigenetic regulation in the nervous system*. Amsterdam: Academic Press.
- Thaut. (2014). Human brain basis of musical rhythm perception: Common and distinct neural substrates for meter, tempo, and pattern . *Brain Sciences*, 4, 428–452.
- Tollefsbol. (2011). *Handbook of Epigenetics. The new molecular and medical genetics*. London: Academic Press.
- Tomei. (2017). *Condividere i ricordi. Psicoterapia cognitiva e funzioni della memoria*. Franco Angeli Editore.
- Tramo. (2001). Biology and music. Music of the hemispheres. *Science*, 54-56.
- Tryfon. (2017). Auditory-motor rhythm synchronization in children with autism spectrum disorder. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 35, 51–61.
- Tulving. (1972). *Organization of Memory*. New York.: Academic Press.
- Vale. (2011). Treatment of Alzheimer's disease. *Dement Neuropsychol.* , 34–48.
- Verrusio, E. V. (2015). The Mozart effect: a quantitative EEG study. *Conscious Cogn.*, 150-5.
- Vries, D. (2015). Music as a Therapeutic Intervention with Autism: A Systematic Review of the Literature. *Therapeutic Recreation Journal* 49, 221.
- Wan, S. (2010). Music making as a tool for promoting brain plasticity across the life-span. *Neuroscientist*, 566-577.
- Wan, S. (2010). Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Lifespan. *The Neuroscientist* 16, 566.

Wan, Z. M. (2014). Intensive therapy induces contralateral white matter changes in chronic stroke patients with Broca's aphasia. *Brain Lang*, 1-7.

Wheeler, S. P. (2005). *Clinical training guide for the student music therapist*. Barcelona: Gilsum.

Zatorre. (2015). Musical pleasure and reward: Mechanisms and dysfunction. *Ann N Y Acad Sci*, 202-11.

Zatorre, H. (2005). Mental concerts: Musical imagery and auditory cortex. *Neuron* 47, 9-12.