



UNIVERSITÀ DI PARMA

Università degli Studi di Parma
Dipartimento di Medicina e Chirurgia,
Corso di Laurea magistrale in Psicobiologia e
neuroscienze cognitive

Funzioni adattive della musica come strumento riabilitativo e di potenziamento scolastico

Relatrice:
Chiar.ma Prof.ssa
Dolores Rollo

Laureando:
Kevin Jhonson
Lanza

Anno Accademico 2021-2022

INDICE

| | |
|---|-------|
| Introduzione | pg.1 |
| Capitolo 1: Filogenesi della musica: approcci comparativi | pg.3 |
| 1.1 Ritmo come fenomeno sociale..... | pg.4 |
| 1.2 Propensione alla produzione ritmica..... | pg.7 |
| 1.3 Basi neurofisiologiche della produzione ritmica..... | pg.10 |
| 1.4 Strutture proto-musicali in animali non umani..... | pg.13 |
| Capitolo 2: Origini e funzioni adattive della musica nell'uomo | pg.16 |
| 2.1 Teorie sull'origine della musica..... | pg.17 |
| 2.2 Aspetti fisiologici, neurobiologici e neurochimici della musica | pg.21 |
| 2.3 Musica e sistema motorio..... | pg.30 |
| 2.4 Pathway condivisi tra musica e linguaggio..... | pg.38 |
| Capitolo 3: Applicazioni cliniche della musica | pg.44 |
| 3.1 Malattie neurodegenerative..... | pg.45 |
| 3.2 Autismo e neurodiversità..... | pg.51 |
| Capitolo 4: Interventi musicali in ambito scolastico | pg.61 |
| 4.1 Proposta di ricerca: laboratorio di musica a scuola..... | pg.66 |
| Conclusioni | pg.69 |
| Riferimenti bibliografici | pg.71 |

INTRODUZIONE

La produzione musicale è un fenomeno trasversale tra gli esseri umani. Se da un lato è indubbiamente parte integrante di un più ampio ventaglio comportamentale, in particolare nell'esigenza umana di produrre, fin dall'antichità, artefatti artistici e tecnologici, dall'altro sembra avere radici troppo profonde per potersi considerare un prodotto secondario di altri domini cognitivi. Esistono innumerevoli prove a conferma dell'ipotesi che la capacità di *entrainment* sia pressoché innata, ed è verosimile ritenere che possa essere legata ad aspetti fisiologici di basso livello quali la produzione endogena di una pulsazione cardiaca e l'alternarsi ciclico di attivazioni nei circuiti CPG che regolano la locomozione. Questo, a fronte di esempi di sincronia comportamentale in specie filogeneticamente lontane dall'uomo quali le lucciole del sud est asiatico o le rane Kajika del Giappone, indica che la musica, almeno nelle sue componenti ritmiche, potrebbe considerarsi un fenomeno precognitivo, legato a livelli di elaborazione estremamente primitivi. D'altra parte, molte ricerche hanno riscontrato forti risposte di fronte a stimoli musicali "emotivamente connotati", sia per caratteristiche armoniche che ritmiche. Inoltre, è stato osservato come la melodia delle ninna-nanne contribuisce non soltanto a lenire uno stato acuto di stress, ma permetterebbe anche la costruzione di risorse adattive per la regolazione emotiva del bambino nel corso della crescita.

Nel presente elaborato verranno indagati gli aspetti filogenetici della produzione musicale, a partire dall'ottica evuzionistica proposta in primis dallo stesso Darwin e, successivamente, da altri autori, che sempre più hanno delineato importanti correlazioni tra l'ascolto e la produzione della musica e una moltitudine di risposte fisiologiche e cerebrali. Verrà, inoltre, preso in esame il valore adattivo della musica nell'uomo, in particolare il ruolo sociale che ha avuto e ha ancora oggi per la nostra specie. La musica potrebbe anche considerarsi un corollario ad altri importanti aspetti comunicativi, quali la prosodia; ciò potrebbe meglio spiegarne non soltanto l'origine, ma anche le ragioni per suscitare una così forte risposta emotiva nell'uomo. Infine, verrà proposta una progettazione musicale in forma laboratoriale che vuole utilizzare la musica come strumento in un ambito ecologico quale quello scolastico, in particolare per ragazzi di prima media o di prima liceo. Sono numerose le ricerche che dimostrano effetti di potenziamento linguistico, miglior coesione sociale e migliori competenze motorie nei bambini a cui vengono proposte attività musicali basate su metodi quali l'Orff-Schulwerk o il metodo BAPNE. Il progetto di ricerca qui proposto si pone come obiettivo quello di riscontrare se anche all'inizio dell'adolescenza, come nell'infanzia, si possono

riscontrare effetti positivi sull'apprendimento e sul benessere scolastico dei ragazzi, al pari di quanto osservato nei bambini fino alle scuole elementari. In particolare, si vuole indagare da un lato se il laboratorio ha un effetto sulla coesione sociale, misurata tramite analisi incrociate del Test Sociometrico di Moreno, e dall'altro se porta a migliori capacità metalinguistiche rispetto ad una classe di controllo in cui non verrebbero svolte attività musicali.

Capitolo 1

FILOGENESI DELLA MUSICA: APPROCCI COMPARATIVI

Una delle domande che spesso ci si pone per meglio comprendere caratteristiche e comportamenti umani riguarda la possibilità che essi siano stati ereditati da altre specie animali. La presenza di aspetti condivisi tra specie diverse facilita il raggiungimento di due scopi. Da un lato, permette di meglio comprenderne l'origine ed il valore adattivo, tracciandone una storia evolutiva per indagare nel dettaglio le loro caratteristiche. Dall'altro, consente di confrontare tra loro le diverse espressioni di una stessa caratteristica nell'uomo e in altre specie, evidenziando spesso omologie che permettono la modellizzazione in laboratorio di comportamenti, attivazioni cerebrali specifiche e strutture anatomiche, nelle loro proprietà e nei loro ruoli funzionali. Per quanto riguarda la musica, la sola osservazione etologica ha fornito diversi esempi in natura di quella che l'occhio dell'uomo definirebbe una sorta di primitiva esecuzione e fruizione musicale. La prima speculazione in merito venne proposta da Charles Darwin, prima ancora che si potesse parlare di etologia in chiave moderna, dapprima in un'appendice del celebre saggio *The origin of species* (1851) e, successivamente, nel suo lavoro del 1871, *The descent of man and selection in relation to sex*, in cui scrive: "E' probabile che la percezione, se non la fruizione, delle cadenze musicali (i.e., melodie) e del ritmo sia comune a tutti gli animali, e, senza dubbio, dipende dagli aspetti fisiologici condivisi del loro sistema nervoso." Nell'opera sono presenti diverse menzioni a comportamenti di competizione sessuale basati sulla vocalizzazione. Darwin riconosce che la produzione vocale entro uno spettro di frequenze specie-specifico non può che avere un ruolo adattivo, e a sostegno di ciò esamina tartarughe, rane e uccelli di svariate specie, che nel corso della loro evoluzione hanno sviluppato la capacità di produrre specifiche sequenze di suoni con lo scopo di attrarre partner sessuali. In un passaggio, il ricercatore afferma che "un orecchio capace di discriminare i suoni – e chiunque ammette l'elevata importanza di questa capacità – deve essere sensibile alle note musicali." Questa affermazione è di fondamentale rilevanza, in quanto sottintende che la capacità di discriminare tra loro note musicali sia paragonabile a quella di riconoscere qualitativamente i pattern tipici della vocalizzazione nel mondo animale, costruendo così un ponte evolutivo tra l'uomo e altre specie. Di seguito vedremo come la ricerca abbia nel tempo avvalorato

l'esistenza di comportamenti "musicali" nel mondo animale, e come essi siano esempi essenziali per meglio comprendere l'origine dell'espressione musicale nella nostra specie. Verranno presi in esame da un lato il ritmo, nella sincronia tra animali e a partire dalle basi fisiologiche che lo sottendono, dall'altro la produzione e la discriminazione di suoni presente in molte specie di uccelli e in alcuni primati.

1.1 Ritmo come fenomeno sociale

Tra i fenomeni di comportamento simil-musicale nel mondo animale la letteratura spesso utilizza un costrutto chiamato *entrainment*. Questo fenomeno viene comunemente definito come l'interazione tra sistemi ritmici, che oscillano nel tempo in maniera sincrona o con pattern complementari (Clayton 2012, Bittman 2020). La locuzione "sistemi ritmici" si riferisce a tutto ciò che in natura presenta un'oscillazione nel tempo, in circostanze che spesso prevedono l'autoregolazione reciproca di due o più elementi in un pattern ciclico. Questa definizione si applica ad un numero estremamente vasto di circostanze, dall'interazione di due pendoli all'attività periodica delle cellule pacemaker, dalla regolazione del ritmo circadiano al coordinamento motorio implicato in sport come il canottaggio. Per gli scopi di questo elaborato, il concetto di *entrainment* verrà circoscritto per includere soltanto casi di sincronia comportamentale tra individui o tra un individuo ed uno stimolo ritmico esogeno. Tale sincronia, quando considerata in specie al di là dell'uomo, non può considerarsi propriamente musicale, in quanto nel mondo animale non sono ancora stati osservati gli strumenti cognitivi che permetterebbero la consapevolezza necessaria per fare musica in maniera conscia. D'altra parte, nella sincronia si riscontrano elementi che pongono le basi per comportamenti complessi quali il ballo, il canto e la capacità di suonare strumenti musicali, che derivano dalla capacità innata di allinearsi spontaneamente gli uni con gli altri.

Uno dei primi studi in cui viene preso in esame il concetto di *entrainment* in base ai parametri sopra descritti concerne una specie sorprendentemente lontana dall'uomo: la lucciola del sud est asiatico. Fino ad allora vennero riportati aneddoti in cui si descrivono folli sciame di lucciole che "lampeggiano" sulle chiome degli alberi in maniera perfettamente sincrona presso il fiume Chao Phraya in Thailandia, poco lontano dalla capitale Bangkok. John ed Elisabeth Buck vennero incuriositi dal fenomeno e nel 1968 andarono sul campo, dove registrarono le intermittenze luminose con un fotometro (*figura 1*) e prelevarono alcuni esemplari di lucciole da portare in laboratorio per delle osservazioni sperimentali. Sia le registrazioni esterne che quelle in laboratorio indicano una precisione ed una regolarità molto elevate. Durante la

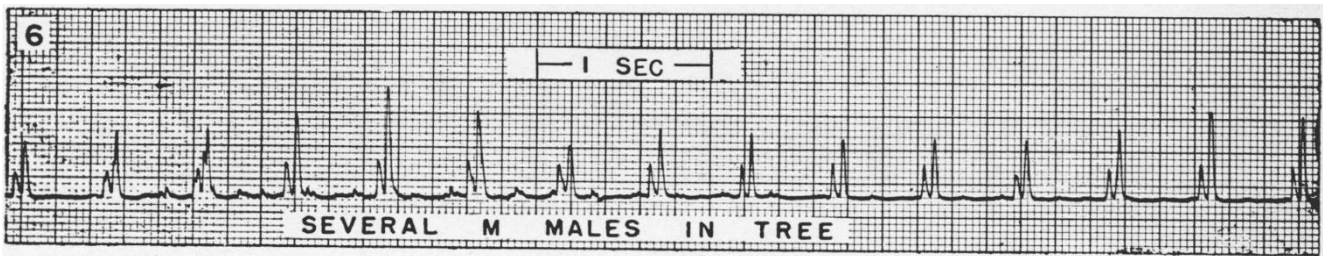


Figura 1: Scariche sincrone di bioluminescenza delle lucciole, registrate sul campo con un fotometro. I flash si presentano con elevata regolarità, circa ogni 200ms.

registrazione sul campo, le lucciole aveva una latenza media intorno a ± 20 ms, con picchi di durante i quali il 95% degli insetti non superava ± 5 ms di asincronia. In laboratorio, i ricercatori utilizzarono una telecamera per filmare gli insetti e riscontrarono una regolarità altrettanto buona con scariche intermittenti ogni 60ms. Stimarono, inoltre, una latenza massima tra gli esemplari analoga a quella osservata in condizioni naturali. È stato riscontrato che le lucciole hanno una scarica bioluminescente propria se poste a distanza da altri esemplari, e la sincronizzano spontaneamente nell'arco di pochi secondi quando si trovano in prossimità di un conspecifico. Gli autori hanno manipolato la vicinanza fisica dei singoli esemplari, frapponendo uno schermo opaco tra essi quando erano sincroni. Questo risultò nel ritorno ad una pulsazione propria, endogena ed asincrona, indicando come l'assenza di vicinanza fisica e visiva impedisca il fenomeno di sincronizzazione sopra descritto. Nelle conclusioni si afferma che l'ordine temporale delle asincronie osservate non permette di considerare il fenomeno come un riflesso comportamentale in risposta a bioluminescenze isolate, quanto ad una pulsazione condivisa, a cui i singoli esemplari si allineano spontaneamente in modo analogo a quanto riscontrato nell'uomo. Il comportamento di sincronia sarebbe quindi paragonabile a quelli degli esseri umani e, come vedremo, di una moltitudine di altre specie.

La famiglia degli ortotteri presenta numerosi esempi di sincronia comportamentale simili a quella riscontrata nelle lucciole. Greenfield e colleghi (2008) descrivono il canto sincrono che si verifica nei maschi di diverse specie di cicale nella competizione sessuale. Per verificarne l'entità, i ricercatori hanno esposto le cicale di due diverse specie allo stimolo acustico del canto di un conspecifico, emesso da uno speaker in laboratorio. È stato riscontrato come gli insetti tendevano a variare la propria produzione ritmica, governata da una pulsazione endogena, in risposta allo stimolo, allungando o riducendo l'intervallo temporale tra un suono e il successivo per allinearsi con il ritmo esterno. Pur non avendo risposte conclusive riguardo la funzione adattiva di tale comportamento, osservato sia in natura sia in ambito laboratoriale, i ricercatori ritengono che la sincronia tra conspecifici negli ortotteri sia una caratteristica che in alcune specie sembra essere secondaria allo scopo riproduttivo degli insetti, e dovuta perlopiù

al range limitato di pulsazioni ritmiche possibili per questi animali. D'altra parte, esistono specie in cui la sincronia sembra avere un ruolo nella competizione sessuale. Nelle *N. nebrascensis*, una cavalletta originaria degli stati uniti, le femmine tendono a rispondere meglio a richiami scanditi, con una netta distinzione tra un suono e il successivo durante il canto. Questo ha portato evolutivamente ad una maggiore sincronia in questa specie rispetto ad altre prese in esame dagli autori, ed indica come l'allineamento temporale del canto da parte di diversi individui possa avere un valore adattivo significativo.

Ulteriori ricerche hanno evidenziato casi di sincronia tramite l'utilizzo di uno stimolo esterno in animali non umani. Patel e colleghi (2009) hanno manipolato il tempo di un brano dei Backstreet boys, e l'hanno presentato ad un cacatua come stimolo acustico per verificare se e fino a che punto l'animale fosse in grado di eseguire movimenti sincroni ad esso (muovere la testa a tempo, "ballare", ecc.). I risultati della ricerca evidenziano che il cacatua si muoveva a tempo con la musica in maniera abbastanza consistente da ritenersi non casuale, né specifica ad un proprio ritmo endogeno, ma effettivamente associata a quella dello stimolo. Risultati simili furono ottenuti da Cook e colleghi (2013) con un leone marino sottoposto ad un task di sincronia ritmica. A differenza del cacatua, il leone marino non aveva precedente esperienza con stimoli musicali, e i ricercatori hanno eseguito un training per preparare l'animale ai compiti sperimentali. Dapprima furono presentati due stimoli ritmici con tempo diverso e, successivamente, il leone marino fu sottoposto a 5 nuovi stimoli ritmici tra 80 e 120 bpm. L'animale fu in grado di sincronizzare con buona accuratezza i movimenti della testa e del collo agli stimoli presentati, dimostrando, come il cacatua, la capacità di allineare il proprio comportamento ad uno stimolo ritmico. Tale movimento non aveva la stessa precisione metronomica che si riscontra negli esseri umani in task analoghi, ma dimostra un'ulteriore istanza nella quale un animale è in grado di manifestare una qualche forma di competenza proto-musicale.

Arriviamo ora a specie filogeneticamente vicine agli esseri umani. Ricerche simili a quelle sopra presentate sono state svolte con primati non umani. Una di esse (Takeya et al., 2017) indaga la sincronia ad una pulsazione ritmica nei macachi. A differenza di studi di tapping svolti in precedenza (Zacro et al., 2009; Merchant et al., 2014), in cui le latenze dei macachi rispetto allo stimolo erano notevoli (tra 100 e 300 ms), Takeya e colleghi hanno ideato un paradigma che avesse una maggiore aderenza etologica con le competenze dei primati. Utilizzarono uno stimolo visivo, che lampeggiava ad intervalli regolari in due punti dello schermo; il compito dei primati era quello di eseguire saccadi volontarie in corrispondenza agli stimoli visivi presentati. Dopo un periodo di training, una scimmia era in grado di sincronizzarsi

allo stimolo meglio di quanto visto nelle ricerche precedenti (latenza tra -34 e ± 104 ms) e in prove successive, con stimoli ritmici diversi da quelli utilizzati nel training, altre scimmie ottennero risultati simili. Un recente studio (Katsu et al., 2019) ha preso in esame anche la capacità di *entrainment* di un gruppo di macachi, evidenziando come essi alternavano i loro vocalizzi gli uni con gli altri, con intervalli significativamente diversi durante la vocalizzazione eseguita da soli rispetto a quella eseguita verso altri conspecifici. Le scimmie sembrano adattarsi al ritmo dei richiami dei conspecifici, “rispondendo” ad essi in maniera complementare e con regolarità temporale precisa.

Quelli sopra citati sono solo alcuni dei molti studi eseguiti nell’ultimo mezzo secolo per indagare diversi aspetti della sincronia comportamentale nell’ambito della zoomusicologia. Da un lato, queste ricerche riscontrano la capacità di apprendere comportamenti ritmici in specie non umane (Cook et al., 2017; Takeya et al., 2017); dall’altro, descrivono comportamenti sincroni o complementari che emergono spontaneamente tra conspecifici in condizioni ecologiche o con stimoli ecologicamente rilevanti (Buck et al., 1968; Greenfield et al., 2008; Katsu et al., 2019). Nonostante sia difficile trattare questi esempi come evidenze di competenze sociali o musicali, soprattutto per specie quali le lucciole e gli ortotteri, è possibile utilizzare i dati raccolti per modellizzare tali competenze negli esseri umani, sia in ambito sociale sia, in particolare, per quanto riguarda le competenze musicali acquisite individualmente e come espressione collettiva. I risultati ottenuti finora in ricerca contengono tasselli importanti per la comprensione dell’origine dei comportamenti musicali nella nostra specie, la loro importanza nella dimensione sociale e la propensione del singolo verso la musica.

1.2 Propensione alla produzione ritmica

Abbiamo finora preso in esame casi in cui la produzione di un comportamento simil-musicale avviene in un contesto collettivo, o quantomeno si associa a stimoli esterni che elicitano questo tipo di espressioni comportamentali nel corso di un apprendimento specifico o in maniera spontanea da parte dell’animale. Vedremo ora casi in cui i pattern ritmici si esprimono autonomamente l’uno dall’altro, in una dimensione che non dipende più dalla sincronia, ma da una propria pulsione endogena. In particolare, verranno presi in esame studi sugli uccelli canori e su alcune specie di primati che in natura eseguono vocalizzazioni ben definite e, in alcuni casi, comportamenti ritmicamente scanditi. Successivamente, prenderemo in esame i meccanismi fisiologici che in alcune specie rendono possibili questi fenomeni anche a livelli di elaborazione molto primitivi. Molte ricerche testimoniano una forte somiglianza tra i processi

che permettono l'apprendimento linguistico nell'uomo e il canto degli uccelli (Saito & Maekawa, 1993; Doupe & Kuhl, 1999). Gli uccelli canori hanno la capacità di imparare diversi tipi di canto, che non si limitano esclusivamente al contesto dell'accoppiamento ma hanno anche funzioni territoriali e di allarme (Catchpole & Slater, 1995). Inoltre, è stato dimostrato che questi uccelli sono in grado di imitare le vocalizzazioni sia di conspecifici sia di altre specie (Kelley et al., 2006). Questa caratteristica, insieme alla presenza di una finestra critica per consolidare l'apprendimento (riferimento), accomuna gli uccelli canori con gli esseri umani, seppur con differenze evidenti riguardo la portata della capacità comunicativa. Oltre al repertorio sillabico importante che acquisiscono durante la crescita, gli uccelli canori in alcune istanze hanno un canto ritmicamente scandito. Uno studio di Norton e Scharff (2016) indaga questa caratteristica nei diamanti mandarino, descrivendo il ritmo in termini di *isocronia*. Questo termine in ricerca indica la cadenza regolare di eventi nel tempo e la presenza un pattern preciso e periodico in essi. In questi termini, si possono accorpate vocalizzazioni diverse in una finestra temporale, per valutarne la precisione ritmica dapprima in maniera puramente osservativa e successivamente con misurazioni più precise relative agli onsets delle singole "note". Norton e Scharff hanno preso in esame 15 esemplari di diamante mandarino in laboratorio, che cantavano sia individualmente sia in risposta ad uno stimolo acustico. Hanno individuato una pulsazione ritmica in ognuno di essi, prendendo in esame intervalli temporali in cui non ci fossero pause più lunghe di 300ms tra una sillaba e la successiva. La maggior parte degli uccelli scandivano le loro vocalizzazioni con frequenze tra i 25 ed i 45Hz. Si tratta di un ordine temporale ben diverso da quello che comunemente viene percepito dagli esseri umani come ritmo, in quanto i diamanti mandarino hanno una maggiore risoluzione temporale nella codifica neurale e nell'espressione comportamentale delle vocalizzazioni. Nonostante ciò, dimostrano la presenza di un ritmo effettivo, prodotto anche in maniera spontanea e senza elementi di sincronia di gruppo.

Anche in alcune specie di primati si riscontra una simile produzione ritmica, apparentemente a finalistica e in assenza di fenomeni sincronici tra conspecifici. Un gruppo di ricerca, in collaborazione con uno zoo, ha allestito dei tamburi nello spazio in cui si trovavano dei bonobo (Large & Gray, 2015). Hanno attirato la curiosità degli animali percuotendo gli strumenti, e così facendo hanno riscontrato forte interesse da parte di alcuni individui a partecipare nelle attività sperimentali. In una fase di osservazione preliminare è stato visto come i bonobo "suonassero" i tamburi, talvolta senza alcuna interazione con lo staff di ricerca e della struttura. Nel caso di questo studio non si assiste a fenomeni di sincronia, ma ad una risposta comportamentale da parte dei primati che imitava la pulsazione ritmica dei ricercatori nel

percuotere i tamburi. Nel task sperimentale sono stati utilizzati sei tempi diversi, tra 180 e 260 bpm, suonati sui tamburi da parte degli studiosi. Uno dei bonobo avevano il compito di eseguire a loro volta il task, senza vincoli o rinforzi legati all'aderenza ritmica rispetto allo stimolo ascoltato. In alcuni trial il bonobo aveva un tempo simile a quello dello sperimentatore, che indica alcune componenti imitative. D'altra parte, una porzione dei trial non presentava un allineamento dell'animale con quanto ascoltato dallo sperimentatore. In queste istanze è stata riscontrata la presenza di un tempo preferenziale, che in base ai calcoli dei ricercatori si assesta intorno ai 270 bpm.

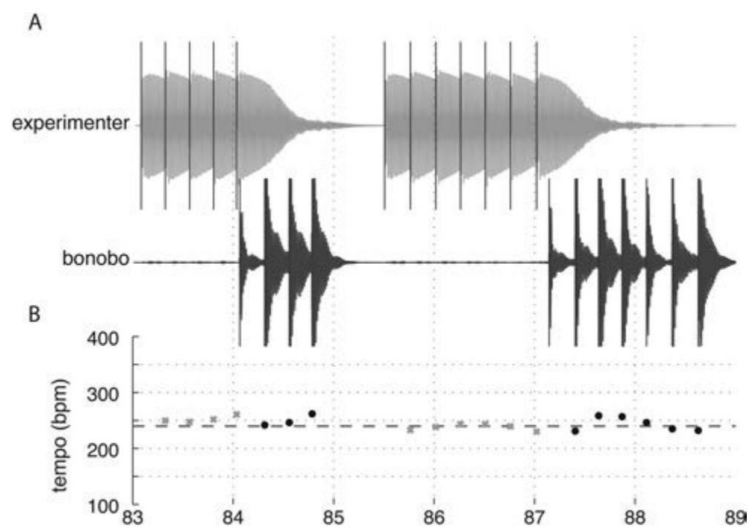


Figura 2: In questo grafico si evidenzia un trial in cui il bonobo imita la pulsazione ritmica dello sperimentatore. In grigio, i battiti dello sperimentatore, in nero, quelli del bonobo.

In una batteria testale successiva è anche stata verificata la capacità del bonobo di sincronizzarsi con gli sperimentatori in compiti di drumming congiunto, in un task simile a quelli visti in precedenza in altre ricerche qui descritte. Per quanto concerne la sfera individuale del comportamento ritmico, l'animale è in grado di replicare il tempo che ascolta (*Figura 2*). D'altra parte, e più significativamente, mostra una propria propensione non solo ad approcciarsi ad uno strumento musicale, ma anche a mantenere una pulsazione ritmica stabile durante i task. Questa è un'ulteriore conferma del fatto che esistono processi che regolano il comportamento ritmico nel mondo animale, e che tali processi possano essere con la nostra specie.

I primati eseguono comportamenti ritmici anche nel proprio habitat naturale. Un recente studio (Eleuteri et al., 2022) ha preso in esame un gruppo di scimpanzè in Uganda per indagare la natura dei battiti che essi eseguono sulle radici della plancia, una tipologia di radice che si sviluppa comunemente nella zona. Hanno registrato ad oltranza i suoni emessi dal battito degli animali e li hanno successivamente analizzati con l'ausilio di uno spettrogramma. I risultati

mostrano differenze individuali tra conspecifici per quanto riguarda il tipo di “ritmiche” effettuate. Questo comportamento sembra essere una di firma, e secondo i ricercatori questa popolazione di scimpanzè potrebbe utilizzare i battiti per comunicare a distanza con altri membri del gruppo. In questo gli animali non esprimono una pulsazione ritmica costante come visto in precedenza, ma usano la ritmica come una sorta di proto-linguaggio. Questa evidenza dimostra la presenza di similitudini tra il linguaggio umano e le forme comunicative dei primati. Essendo la musica un fenomeno che ha molti legami col linguaggio, si può supporre, con le dovute cautele, che l’eredità di comportamenti ritualizzati come quello riscontrato negli esemplari della ricerca di Eleuteri e collaboratori predisponga sia al linguaggio stesso, che alla produzione musicale negli esseri umani. Questo concetto verrà meglio approfondito nel capitolo successivo.

1.3 Basi neurofisiologiche della pulsazione ritmica

Abbiamo finora riscontrato un comportamento ritmico in molte specie animali. Come si evince dagli studi presentati, sono stati osservati comportamenti di sincronia spontanea o appresa da numerose specie, anche filogeneticamente lontane dall’uomo. Inoltre, è stato riscontrato che la pulsazione ritmica viene espressa anche in maniera individuale, senza una dimensione collettiva di comportamento sincrono ripetuto nel tempo. In questo paragrafo vedremo quali siano le basi neurofisiologiche che nelle diverse specie viste rendono possibile l’emergere di una pulsazione ritmica a livello comportamentale. È importante sottolineare che i processi che andremo a descrivere non rappresentano essi stessi la fonte di un comportamento ritmico complesso e consapevole, ma indicano che la periodicità sia una caratteristica universale che accomuna specie diverse ad ogni livello di complessità anatomica e cognitiva. Il carattere ciclico dei processi che vedremo non è altro che l’espressione della potenzialità di giungere ad una produzione musicale consapevole, dettata dalla naturale affinità alla regolarità temporale e ai pattern ciclici che contraddistinguono molti dei nostri processi mentali e non, a livello fisiologico prima che cognitivo.

Sono numerosi i lavori in cui sono stati indagati quelli che oggi vengono chiamati *central pattern generators* (CPG), circuiti che tramite pattern di attivazioni alterne a livello dei singoli neuroni sottendono molti comportamenti automatici. Nel primo decennio del Novecento Brown (1911) condusse delle ricerche pionieristiche in questo ambito, indagando il grado di autonomia dei circuiti spinali nell’organizzazione di comportamenti complessi quali la locomozione. Egli condusse i suoi studi basandosi sulle indagini di Sherrington (1906), in cui

furono riscontrati movimenti locomotori in un gatto con una cesura spinale. Fu inferito che i meccanismi che rendevano possibili tali movimenti non dipendessero esclusivamente da sistemi motori di ordine superiore, e che doveva esserci una struttura che vicariasse queste funzioni a livello spinale nelle integrazioni neurali dei riflessi. Inoltre, per poter sottendere il comportamento locomotorio, l'attività neurale a livello spinale doveva essere ciclica, come l'alternarsi dei movimenti degli arti inferiori nella camminata. Brown nel suo studio replica l'esperimento di Sherrington, in cui un gatto esegue movimenti ciclici e sincroni in anti-fase negli inferiori, in un pattern comportamentale analogo alla locomozione. Durante lo studio vennero registrate le attività muscolari della tibia e del gastrocnemio, che dimostrano la regolarità dell'attivazione alterna dei due muscoli e il fatto che tale attività sia ciclica tra essi. Secondo Brown questo fenomeno è dovuto al feedback propriocettivo del movimento di uno dei due muscolo, che metterebbe in atto il movimento sinergico dell'altro.

Wilson, nel 1961, elaborò un modello dei circuiti implicati nella locomozione utilizzando le locuste. Era ormai noto che la muscolatura di questi animali, come di molti altri, si muovesse in maniera sinergica per permettere movimenti organizzati quali la camminata, il nuoto ed il volo, e che questa sinergia fosse, come abbiamo visto, temporalmente scandita (Weis-Fogh, 1956), ma non era chiaro come questa scansione avvenisse a sub-neurale. Le indagini sperimentali furono condotte registrando i neuroni motori implicati nel volo delle locuste con l'ausilio di un tunnel del vento. Come nella ricerca di Brown, il comportamento locomotorio venne riscontrato anche con una cesura neurale, interrompendo il passaggio di informazione dalle vie centrali a quelle periferiche.

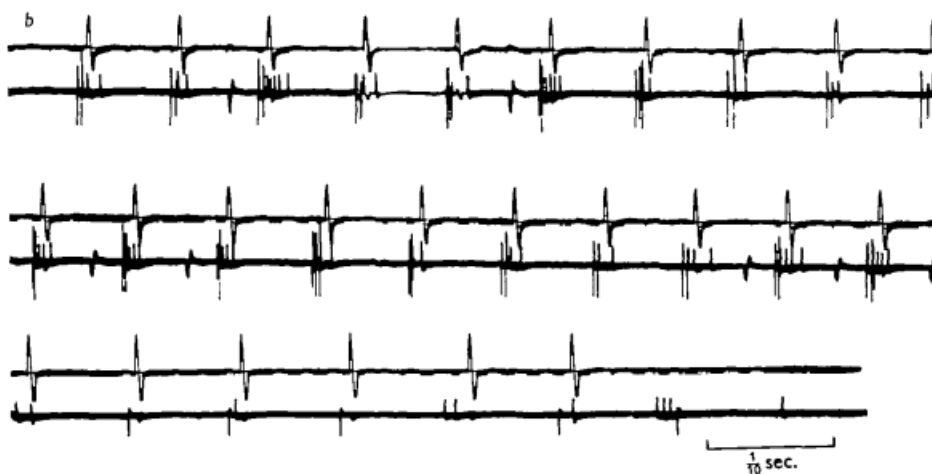


Figura 3: In figura il tracciato della registrazione di due neuroni sinergici facenti parte dei circuiti locomotori della locusta. Come si evince dall'immagine, l'attività dei neuroni è accoppiata e reciprocamente ciclica, ovvero l'attivazione del primo neurone porta ad un potenziale d'azione nel secondo in maniera marcatamente periodica.

Nella ricerca si riporta che un esemplare a cui era stata rimossa gran parte del sistema nervoso ortosimpatico era in grado di volare liberamente in laboratorio, il che implica non soltanto l'autonomia dai sistemi centrali ma anche una notevole indipendenza dei processi coinvolti. Le registrazioni dei neuroni motori mostrano un'attività analoga a quella che si osserva in un animale col sistema nervoso integro, rettificando l'autonomia del riflesso di volo da altri processi. I singoli neuroni mostrano un accoppiamento nella loro attività, che sembra essere reciproca e periodica (*Figura 3*). Per indagare ulteriormente la ciclicità di questo fenomeno, i neuroni motori vennero stimolati con scariche tra 10 e 40 Hz (testualmente, tra 25 e 100 volte al secondo). Fu registrata una risposta ogni ennesima stimolazione (in alcuni casi, ogni $n+1$ stimolazione), dimostrando la presenza di un andamento oscillatorio indotto nella scarica dei neuroni. Sia durante le registrazioni nel volo, sia in risposta alle stimolazioni elettriche, si evince un effettivo pattern, un'oscillazione dovuta all'attività sinergica riscontrata a livello dei singoli neuroni. Questo portò Wilson a concludere che esistono dei circuiti pacemaker, il cui andamento è periodico e regolato dal feedback sensoriale delle contrazioni sinergiche, simulate con efficacia dalle stimolazioni eseguite in laboratorio.

A partire da questi lavori pionieristici, vennero costruiti dei modelli più completi dei circuiti CPG, sia nella zoologia (Marder & Bucher, 2001) sia in ricerche sugli esseri umani, con finalità applicative e cliniche (Cheron et al., 2011). Le indagini su questi circuiti hanno anche portato a spiegazioni convincenti riguardo alcuni dei fenomeni che abbiamo visto in precedenza. Schöneich e Hedwig (2011) applicano il framework teorico dei circuiti CPG in uno studio riguardante il canto dei grilli. Abbiamo già visto che la principale caratteristica del canto degli ortotteri è, nella maggior parte dei casi, una scansione ritmica delle vocalizzazioni, che si allinea a quella di altri esemplari o mantiene un proprio ritmo endogeno. La sede in cui il canto viene generato si trova nel mesotorace, ed è sotteso dall'attività di gruppi di gangli addominali. I ricercatori hanno eseguito registrazioni locali su queste fibre in alcuni esemplari di grilli, isolandole da altri neuroni per evitare influenze che ne potessero alterare l'attività. I risultati mostrano che in un grillo si riscontra un accoppiamento marcato tra l'attività di un motoneurone dell'ala e l'attività di un interneurone, analoga a quella descritta nella ricerca di Wilson e in numerosi altri lavori riguardanti i CPG (Marder e Bucher, 2001). I ricercatori sostengono che il canto dei grilli sia sotteso in particolare da un interneurone da loro registrato (l'interneurone A3), che, in sinergia con il motoneurone dell'ala, permette di generare vocalizzazioni temporalmente scandite. Questa scoperta va a supporto della nozione che nei circuiti CPG i singoli neuroni abbiano tra loro un *entrainment* marcato, e che questo legame genera un comportamento ritmico basato su una pulsazione endogena.

Alla luce di ciò, vedremo che esistono ricerche sugli esseri umani che hanno dimostrato il diretto coinvolgimento di questi circuiti nel comportamento ritmico. I circuiti CPG, che, come abbiamo visto, sono molto semplici e filogeneticamente molto antichi, verrebbero reclutati nel comportamento musicale dell'uomo. Questo implica che il ritmo non sia una competenza appresa, come il linguaggio o il pensiero astratto, ma qualcosa di saldamente radicato nella nostra eredità genetica. Nel prossimo paragrafo vedremo che anche il linguaggio stesso e, in particolare, la capacità di discriminare tra loro i suoni hanno una forte eredità filogenetica, che ci predispone, di conseguenza, a discriminare note musicali.

1.4 Strutture proto-musicali in animali non umani

Torniamo alla citazione tratta da *The descent of man*: Darwin specula che il ritmo e la melodia siano universali tra le specie animali, e che dipendono dalla condivisione di strutture anatomiche omologhe tra loro. Abbiamo visto come nel ritmo la ricerca abbia, almeno in parte, dato ragione a questa affermazione, dimostrando che una struttura funzionale come quella dei circuiti CPG sia ampiamente condivisa e sottenda un comportamento ritmico trasversalmente tra le specie studiate. Vedremo, ora, come le strutture responsabili per la produzione e discriminazione di suoni, in particolar modo i pattern sonori, siano altrettanto condivisi. Ciò che verrà preso in esame riguarda da un lato la pura capacità di ascolto e riproduzione in specie filogeneticamente lontane dall'uomo: dall'altro, verranno trattate alcune teorie evolutive riguardo le componenti prosodiche e le inflessioni che caratterizzano l'espressione emotiva.

Il riconoscimento, la discriminazione e la produzione di suoni si basa su meccanismi che in alcune specie si sono sviluppati al punto da generare mezzi di proto-comunicazione, finalizzata a diversi scopi. Queste abilità sono sottese da circuiti dedicati nel sistema nervoso centrale, modelli che rappresentano le possibili vie evolutive tramite le quali l'uomo ha ottenuto la capacità linguistica che lo contraddistingue. Il linguaggio è indubbiamente una caratteristica fondamentale per la nostra specie, e spiega, almeno in parte, come componenti della musica come la melodia e l'armonia siano emerse spontaneamente nel corso della nostra evoluzione. È importante sottolineare che la condivisione di strutture omologhe tra loro permette il loro utilizzo per spiegare l'origine e la semplificazione di quanto avviene nell'uomo, e che questi modelli non hanno la complessità anatomo-funzionale che caratterizza il linguaggio umano. Rimane il fatto che quelli che vedremo sono a tutti gli effetti display comportamentali sottesi da strutture proto-linguistiche in animali non umani.

Girard-Buttoz e colleghi (2022) hanno svolto una ricerca qualitativa per valutare se le vocalizzazioni degli scimpanzè abbiano o meno delle caratteristiche simili al linguaggio umano, valutandole in base a tre caratteristiche: flessibilità, ordine e ricombinazione. La prima caratteristica riguarda la possibilità che i primati leghino tra loro diversi tipi di richiami in maniera flessibile; la seconda, l'ordine, consiste nel verificare se si riscontri o meno un'alterazione nell'ordine in cui i richiami vengono eseguiti, e se queste alterazioni corrispondano a diverse circostanze (richiamo di allarme, territoriale, ecc.); infine, la ricombinazione implica che diverse sequenze richiami siano inserite in stringhe di vocalizzazioni più lunghe, formando in questo modo delle espressioni proto-linguistiche complesse. I ricercatori hanno preso in analisi migliaia di singole vocalizzazioni per categorizzarle e verificare se tra esse ci fossero dei pattern emergenti. I ricercatori hanno riscontrato che gli scimpanzè eseguono stringhe di richiami coerenti con le caratteristiche sopra descritte, con una frequenza superiore al caso. Lo studio non ha indagato le circostanze in cui venivano utilizzate specifici pattern vocali, il che impedisce di attribuire ad esse dei significati, ma quello che dimostrano implica l'uso flessibile e costruttivo dei richiami negli scimpanzè, qualità analoghe a quanto si riscontra nel linguaggio umano e nella musica.

Caratteristiche simili si osservano in molte specie di uccelli canori, come già accennato, tra cui l'abilità di apprendere le sequenze canore, discriminare un conspecifico da un uccello di un'altra specie e riconoscere la finalità del canto, se viene eseguito nel contesto dell'accoppiamento o se è, ad esempio, un allarme per la presenza di un predatore. Prather e colleghi (2008) hanno indagato una struttura telencefalica chiamata nucleo HVC nel passero delle paludi. Questo nucleo è stato associato sia alla capacità di ascoltare e discriminare il canto, sia all'effettiva produzione vocale (Nottebohm et al., 1976; Gentner et al., 2000). Il team di ricerca ha registrato l'attività di alcuni dei neuroni presenti in questo nucleo, divisi in due popolazioni: i neuroni HVCRA, che innervano cellule appartenenti alle aree premotorie dedicate al canto, e i neuroni HVCX, che inviano informazioni ad un'area deputata per l'ascolto e l'apprendimento chiamata area X, e localizzata nei nuclei basali. Sono stati trovati neuroni con un'attivazione selettiva per l'ascolto o per la produzione del canto, coerentemente con la loro popolazione di provenienza, ma una terza classe di neuroni si attiva sia durante l'ascolto, che durante l'esecuzione. Questi neuroni, a tutti gli effetti neuroni mirror, evidenziano come questi uccelli di fatto rappresentano il canto a livello premotorio, in maniera del tutto analoga ai macachi e agli esseri umani nella rappresentazione di un'azione. Le somiglianze funzionali dei sistemi mirror tra specie diverse testimoniano la componente ereditaria di essi, e nello studio appena esaminato è esemplificata l'attività che li coinvolge nella codifica sonora. Negli esseri

umani ci si possono aspettare strutture di integrazione simili nella rappresentazione motoria di un suono o di una parola, a partire da circuiti premotori che a partire dalla gestualità hanno permesso un uso, prima del movimento e poi della parola, sempre più astratto. Il fenomeno di rispecchiamento a livello sub-neurale pone le basi per una dimensione condivisa del movimento e del linguaggio, uno spazio di interazione noi-centrico di cui la musica fa parte e da cui in parte deriva.

Oltre alla capacità di ascolto, ripetizione e costruzione sillabica, aspetti utili a determinare somiglianze tra il comportamento animale e il linguaggio umano, vanno considerate anche le origini evolutive dell'emotività che la musica è in grado di suscitare nella nostra specie, aspetto fondamentale e molto primitivo della codifica e della produzione musicale. Richman e colleghi (1987) indagarono le vocalizzazioni dei babbuini gelada, in uno studio che valutasse la costruzione di sequenze sillabiche, similmente a quanto visto nella ricerca sugli scimpanzè. A differenza di Girard-Buttoz e colleghi (2022), vennero prese in esame anche caratteristiche proto-musicali della produzione vocale di questi primati, descritti come tempo, scansione ritmica (ovvero la presenza di accenti su alcune vocalizzazioni che scandisse il tempo) e melodia, con approssimazioni degli intervalli musicali. Vennero descritte molte sequenze sillabiche, concatenate tra loro per generare stringhe più lunghe e contestuali alla circostanza, ma anche variazioni tonali che rientravano nei parametri della dimensione musicale. Gli autori osservarono che l'inflessione, la presenza di una sorta di alterazione prosodica in alcune delle vocalizzazioni, sembrava avere una finalità sociale, ed effettivamente nel gruppo di babbuini sembrava lenire i momenti di tensione. Viene proposto che queste inflessioni abbiano lo scopo di comunicare uno stato d'animo, e che il modo in cui viene comunicato abbia implicazioni prosociali; ma simili affermazioni tendono ad antropomorfizzare un'espressione comportamentale di cui non si conoscono le caratteristiche latenti, portando a problemi interpretativi che sovrastimano le capacità dei primati. Richman e colleghi (1987) concludono che l'uso di variazioni tonali nell'inflessione dei babbuini gelada, soprattutto se tali variazioni sono eseguite in maniera sincrona con altri membri del gruppo, riducono la tensione acuta tra individui e sembrano avere un ruolo nella costruzione di rapporti pacifici entro il gruppo. Si potrebbe quindi teorizzare che la musica nella nostra specie sia emersa in un contesto di comunicazione e risonanza emotiva con l'altro, tema che verrà affrontato nel prossimo capitolo.

Capitolo 2

ORIGINI E FUNZIONI ADATTIVE DELLA MUSICA NELL'UOMO

Abbiamo finora visto ricerche riguardanti comportamenti e strutture proto-musicali in animali non umani in un'ottica comparativa, riscontrando un consenso condiviso per quanto riguarda la presenza di strutture che regolano attività distinte per la sfera ritmica e quella melodica. I circuiti che sottendono la locomozione, i *central pattern generator*, sono intrinsecamente ritmici, e sottesi dall'attività ciclica di coppie di neuroni che scaricano in maniera alterna e periodica. Questo permette a molte specie di eseguire comportamenti ritmici con la finalità di attirare un partner sessuale, e di avere la capacità di sincronizzarsi ad una pulsazione ritmica o di eseguire un comportamento seguendo una pulsazione auto-indotta, di origine endogena. D'altra parte, il canto in molte specie di uccelli è sotteso da strutture che permettono la discriminazione e l'apprendimento di diverse forme sillabiche, in maniera analoga all'apprendimento linguistico, e, per estensione, musicale, nell'uomo. Di particolare interesse l'uso dell'inflessione nei primati, una sorta di proto-prosodia che sembra avere delle funzioni rilevanti nella regolazione sociale, cosa che accade anche nella nostra specie.

Pinker (1997) nella sua celebre definizione della musica come “cheesecake uditiva”, trova superflua la produzione musicale, in quanto ritiene che sia un sottodominio ininfluenza di funzioni adattive rilevanti quali il linguaggio e la cognizione sociale. D'altra parte, la musica non può essere considerata come by-product di altri domini cognitivi, in quanto i livelli di elaborazione su cui agisce sono troppo bassi per dipendere da acquisizioni neuroanatomiche e funzionali recenti. Come in altre specie animali, vedremo che le competenze ritmiche nell'uomo sono sottese dai circuiti CPG, strutture ampiamente condivise e filogeneticamente molto antiche, e da un insieme di strutture tra cui l'area motoria supplementare e le premotorie. Esistono inoltre numerose evidenze empiriche che testimoniano alterazioni acute dello stato emotivo, nelle quali si riscontrano attività relative alla sfera limbica e al sistema autonomico, variazioni del battito cardiaco e dell'aritmia sinusale-respiratoria, oltre che della respirazione stessa. Fenomeni, questi, che non hanno ancora spiegazioni esaustive, ma che di certo sono associati a funzioni elementari del nostro sistema nervoso, anch'esse molto antiche e condivise. Questo rende implausibile la teoria di Pinker riguardo la natura secondaria della musica, che

sembra invece essere associata ad attività che precedono di gran lunga la sfera cognitiva dell'uomo. Alla luce di ciò, nel presente capitolo verranno esaminate alcune teorie riguardanti l'origine e le funzioni adattive della musica nella nostra specie, con il supporto di ricerche che indagano le profonde modifiche che elicitano nello stato neurofisiologico e nella regolazione sociale. Vedremo anche delle teorie relative all'associazione tra lo sviluppo del linguaggio e la musica, con particolare attenzione allo sviluppo delle inflessioni e della prosodia.

2.1 Teorie sull'origine della musica

Esistono numerose teorie inerenti all'insorgere di comportamenti musicali della nostra specie, a cui sono stati attribuiti caratteristiche e finalità differenti. Storicamente parlando, Darwin fu il primo autore a trattare questa tematica: come abbiamo visto, riteneva che la musica derivasse da un insieme di capacità e strutture ereditate e condivise, a partire dai comportamenti simil-musicali che spesso si osservano in natura e di cui già abbiamo trattato nel precedente capitolo. Inoltre, Darwin sosteneva che la musica fosse emersa come meccanismo di selezione sessuale a partire da comportamenti quali il canto delle cicale e degli uccelli. Qualunque tipo di espressione simil-musicale a cui avesse assistito nel mondo animale era legata ai rituali di accoppiamento, e l'autore sosteneva che l'uomo avesse un'eredità filogenetica tale da poterli replicare ed affinare, in origine per scopi riproduttivi e, solo successivamente, per arrivare ad esprimere la musica come la conosciamo oggi. Quella di Darwin è una teoria convincente per alcuni aspetti, a partire dall'ampia condivisione di questi comportamenti, ma basata su un approccio riduzionistico che non prende in considerazione le differenze tra specie: la selezione sessuale, da sola, non è in grado di spiegare in maniera esaustiva la fruizione e produzione musicale umana, che mostra degli avanzamenti notevoli rispetto ai display rituali di accoppiamento in altre specie. Di conseguenza, vedremo alcune spiegazioni alternative per l'insorgenza di questo fenomeno.

Le teorie sull'origine della musica appartengono tendenzialmente a due scuole di pensiero distinte. Una di esse considera la musica come un by-product di altre funzioni, similmente a quanto descritto riguardo il pensiero di Pinker: in quest'ottica, la musica non avrebbe un valore evolutivo proprio, intrinseco, ma sarebbe discesa da altre funzioni adattive con cui condivide dei processi di elaborazione. L'altro filone argomentativo considera invece la musica come un'effettiva funzione evolutivamente rilevante, alla stregua di altre espressioni umane quali l'arte e la cultura: non sarebbe meramente un adattamento secondario ininfluenza, ma avrebbe delle proprie funzioni specifiche ed utili alla sopravvivenza. Dissanayake (2009)

argomenta che l'espressione di comportamenti musicali abbia le sue radici nell'interazione madre-bambino. Il tipo di gestualità e gli aspetti prosodici che comporta sono universali nella nostra specie, e determinati perlopiù da un adeguamento reciproco: la madre impara a rispondere e ad interagire con il bambino in base agli stimoli e al tipo di risposte comportamentali che le vengono restituiti, e l'esito di questi scambi porta a renderne le modalità pressoché identiche in tutte le società umane. Le radici dello sviluppo di competenze musicali nell'uomo potrebbero risiedere proprio nelle modalità in cui la madre interagisce col bambino, specie per quanto riguarda le caratteristiche cantilenanti della prosodia con cui si esprime e nelle modalità di ripetizione quasi-stereotipata di parole, gesti e vocalizzazioni affettuose. Questo tipo di modulazione comportamentale avrebbe riscontrato successo nell'ontogenesi e si sarebbe via via trasformata nell'espressione di contenuti musicali, fenomeno che potrebbe essere alla base dell'universalità del canto come strumento lenitivo per i neonati in tutto il pianeta. Inoltre, è possibile che i contenuti proto-musicali utilizzati nella regolazione tra madre e bambino si sia estesa alla regolazione di rapporti intra-individuali negli adulti e, successivamente, nelle espressioni musicali di gruppo.

Brown (2000) sostiene che l'origine della musica entro i rapporti madre-bambino sia plausibile, e ne argomenta l'importanza come meccanismo di selezione di gruppo essenziale per l'origine e lo sviluppo delle prime società umane. Esaminando la teoria di Darwin riguardo le implicazioni della musica nella selezione sessuale, Brown afferma che le specie che eseguono vocalizzazioni complesse, quali l'uomo, i gibboni e altre specie di mammiferi e uccelli tropicali, non esprimono questo comportamento esclusivamente in funzione dell'accoppiamento, e che limitare le forme proto-musicali esclusivamente alla ricerca di un partner sia riduttivo. A sostegno di ciò, evidenzia come in queste specie non ci siano dimorfismi che predispongono alla capacità di produrre sequenze di vocalizzazioni complesse, indicando l'assenza di un contributo meramente copulativo di questi comportamenti. Brown propone che la produzione proto-musicale dipenda dal tipo di gerarchia ed organizzazione sociale entro specie differenti. Le specie monogame utilizzano le vocalizzazioni anche con finalità di accoppiamento, specie per quanto riguarda specie filogeneticamente lontane come gli uccelli canori, ma queste espressioni comportamentali hanno anche una funzione territoriale. Inoltre, gli uccelli spesso cantano quelli che la letteratura descrive come "duetti", un insieme di vocalizzazioni che dopo l'instaurazione di un rapporto stabile permettono di rafforzarlo e di difendere il proprio territorio. Questo meccanismo si estenderebbe all'uomo, in cui l'organizzazione sociale è quella di gruppi estesi di cui fanno parte diversi nuclei familiari: nella nostra specie è possibile che la musica sia emersa come fattore protettivo per il gruppo, rafforzandone la coesione e la

consapevolezza identitaria e territoriale. La consapevolezza di un'identità condivisa segna le radici di un sistema culturale di cui la musica fa parte, e le prime organizzazioni di cacciatori e raccoglitori che utilizzavano il canto e la danza ne traevano vantaggi notevoli nella promozione della coesione di gruppo, che si tramutava in una migliore difesa territoriale e qualità dei rapporti tra individui. L'uomo dipendente fortemente da legami sociali stabili, senza i quali non è garantita la sopravvivenza, e un meccanismo di regolazione intra-individuale come la musica è certamente vantaggioso per la salvaguardia del gruppo e, di conseguenza, dell'individuo. Sloboda (1985) afferma che tra gli artefatti sviluppati dall'uomo, la musica è il principale mezzo culturale per organizzazioni sociali in cui manca l'alfabetizzazione, indicando che possa effettivamente essere uno dei primi artefatti culturali nella storia della nostra specie. I ritrovamenti paleontologici risalenti a 30-40 mila anni fa sostengono di questa nozione, in quanto nelle caverne di molti paesi insieme alle pitture rupestri sono stati scoperti dei proto-strumenti musicali ricavati dalle ossa animali (Conard et al., 2009).

Cross (2008) argomenta che la musica agisce su due piani: da un lato quello prettamente emotivo ed individuale, da lui chiamato motivazionale-strutturale, una dimensione in cui le caratteristiche della musica agiscono su livelli di elaborazione filogeneticamente antichi e legati a reazioni istintive al suono; dall'altro, quello culturale (*culturally enactive*), per cui la musica esercita un'influenza sull'effettivo significato di ciò a cui si accompagna ed esprime un significato proprio, intrinseco (ad esempio, l'associazione tra un suono acuto e una creatura di piccole dimensioni) o culturalmente indotto (come nel caso delle citazioni musicali). Questa dicotomia tra musica come entità emotiva e culturale cade nel momento in cui si considera che la stessa cultura influenza il modo in cui ci si interfaccia e si reagisce agli stimoli, e, soprattutto, se si considera quanto sia difficile stabilire un confine tra una fruizione esclusivamente intellettuale o emotiva: Cross affronta la questione introducendo il concetto di *intenzionalità fluttuante*. La musica richiede almeno in parte la partecipazione attiva, in quanto viene prodotta oltre che fruita, e nelle società tribali il confine tra esecutore e spettatore risulta molto labile. Per questo Cross parla di intenzionalità: la musica implica agentività, non solo da parte di chi la esegue ma anche di chi la ascolta e reagisce agli stimoli musicali. L'aggettivo "fluttuante" indica non soltanto l'ambiguità che a volte si riscontra nell'interpretazione musicale per giungere ad attribuzioni di significato specifiche, ma anche alla difficoltà nel contenere una reazione alla musica in un framework motivazionale rispetto a quello culturale. Sembra, piuttosto, che la fruizione musicale agisca parallelamente in entrambe le dimensioni, utilizzando le risorse emotive in relazione alle conoscenze dell'ascoltatore per generare e riconoscere le specifiche impronte culturali di cui la musica è densa.

La musica sembra quindi avere un valore adattivo specifico come fattore rilevante per la coesione sociale e la selezione di gruppo, ed è inoltre implicata nella nascita della cultura grazie alle sue caratteristiche pre-linguistiche. Per quanto concerne l'elaborazione di stimoli musicali, non sono ancora emerse delle vie funzionali specifiche per la musica. D'altra parte, la ricerca ha fornito numerosi esempi di pazienti affetti da patologie che impediscono la corretta codifica delle variazioni tonali negli stimoli musicali e l'accesso alla memoria musicale, senza che ci fossero compromissioni nella discriminazione di suoni, parole, ed inflessioni prosodiche. Peretz (2016) scrive una review inerente ai pazienti affetti da amusia, che mostrano un deficit specifico per la codifica di stimoli musicali e lamentano problematiche nel discriminare tra loro toni musicali vicini l'uno all'altro (circa a un semitono di distanza). In superficie si potrebbe pensare ad un problema attentivo, ma è stato dimostrato che questi pazienti sono in grado di elaborare differenze negli stimoli, ma non a dichiararle esplicitamente. Viene riportato uno studio di EEG di Moreau e colleghi (2009), che hanno registrato dei pazienti amusici mentre venivano loro presentati stimoli musicali. È stata rilevata una *mismatch-negativity*, un tipo di attività neurofisiologica che in letteratura è frequentemente associata alla discriminazione tra stimoli, indicando che a livello percettivo questi pazienti elaborano in maniera differenziale le informazioni musicali. D'altra parte, il team rivela l'assenza di un'attività di tipo P600, che impedirebbe agli amusici di accedere alle informazioni sul suono che vengono in precedenza correttamente codificate. Un'altra ricerca associa un task comportamentale alla registrazione elettrofisiologica dei pazienti con amusia, confrontati con un gruppo di controlli sani, e rivela risultati molto simili (Zendel et al., 2015). Il task consisteva in due prove, una in cui era richiesto di individuare una nota che stonasse rispetto alla melodia presentata e l'altra nella rilevazione di un click sovrapposto alla melodia, presentato con un volume a soglia per ciascun partecipante. I risultati comportamentali mostrano, prevedibilmente, una migliore prestazione nella discriminazione di stonature da parte dei controlli rispetto al gruppo di amusici, ma rivelano dati interessanti riguardo alla rilevazione del click. I due gruppi hanno dati paragonabili in questa prova e anche gli amusici, come i controlli, presentano errori in corrispondenza della presenza di note che stonano nella melodia. Questo indica che nei pazienti con amusia le stonature hanno interferito nella corretta esecuzione del compito, dimostrando che sono state percepite correttamente. I risultati della EEG confermano questa nozione, con una codifica simile alla *mismatch-negativity* che il team chiama *early right anterior negativity*, anch'essa associata alla corretta discriminazione di stimoli a livello percettivo. Le risposte di tipo P600 sono ridotte nei pazienti rispetto ai controlli, confermando anche quanto riscontrato precedentemente riguardo la capacità di accedere alle informazioni recepite: gli amusici sono

deficitari non nella discriminazione, che sono in grado di eseguire come dimostrato sia a livello comportamentale che elettrofisiologico. Un altro deficit specifico alla codifica di stimoli musicali è l'agnosia musicale. Peretz (1996) descrive una paziente, indicata come C.N., che presenta, a seguito di aneurismi bilaterali nei lobi temporali, delle problematiche specifiche inerenti alla memoria di brani musicali. È emerso che C.N. non era in grado di riconoscere dei brani musicali appartenenti alla propria raccolta di dischi, ma non mostrava problematiche nel ricordare titoli, compositori o testi degli stessi brani. Il deficit non sembra avere un impatto sugli aspetti emotivi della fruizione musicale, in quanto la paziente esprimeva giudizi affettivi sui brani che ascoltava durante le valutazioni cliniche, al punto da riuscire a riconoscere uno dei brani a lei presentato, in base allo stato d'animo familiare che ha evocato in lei. Sembra quindi che la musica abbia delle specializzazioni corticali dedicate per quanto riguarda l'accesso alle informazioni sul tono e la memoria. Per quanto sia difficile ricostruire dei circuiti specifici per la codifica di stimoli musicali, queste evidenze indicano una relativa autonomia da altri processi di codifica delle informazioni e del recupero mnemonico. Sembra, quindi, che la musica sia indipendente da altre funzioni non soltanto come adattamento evolutivo, ma anche a livello neurobiologico per alcuni tipi di elaborazione corticale. Queste nozioni indicano che sia necessario considerare la musica non come una derivazione di altre funzioni o adattamenti, ma come entità propria e distinta nella storia evolutiva dell'uomo.

2.2 Aspetti fisiologici, neurobiologici e neurochimici della musica

La musica evoca stati emotivi rilevanti negli esseri umani. In questa parte, vedremo come questi stati emotivi e di arousal si esprimono a livello fisiologico e neurofisiologico in relazione all'ascolto musicale. Salimpoor e colleghi (2009) hanno condotto una ricerca in cui hanno chiesto ai partecipanti di indicare brani che evocassero in loro forti stati emotivi e brividi, un'espressione che tipicamente si associa ad una forte reazione indotta dalla musica. I soggetti in fase sperimentale hanno ascoltato degli estratti dei brani da loro selezionati come fortemente emotivi, paragonati con dei brani considerati neutri. Contestualmente all'ascolto sono stati registrati la pressione sanguigna, il battito cardiaco, la frequenza respiratoria, la temperatura corporea e la conduttanza cutanea. I partecipanti avevano inoltre il compito di indicare il loro stato di piacere con quattro pulsanti nel corso della fase di ascolto: uno per indicare uno stato neutro, uno per indicare un livello di piacere discreto, uno per indicare un livello di piacere intenso, e uno per indicare la presenza di brividi. Questo accorgimento metodologico ha permesso al team di accedere allo stato emotivo dei soggetti in tempo reale, e di metterlo in

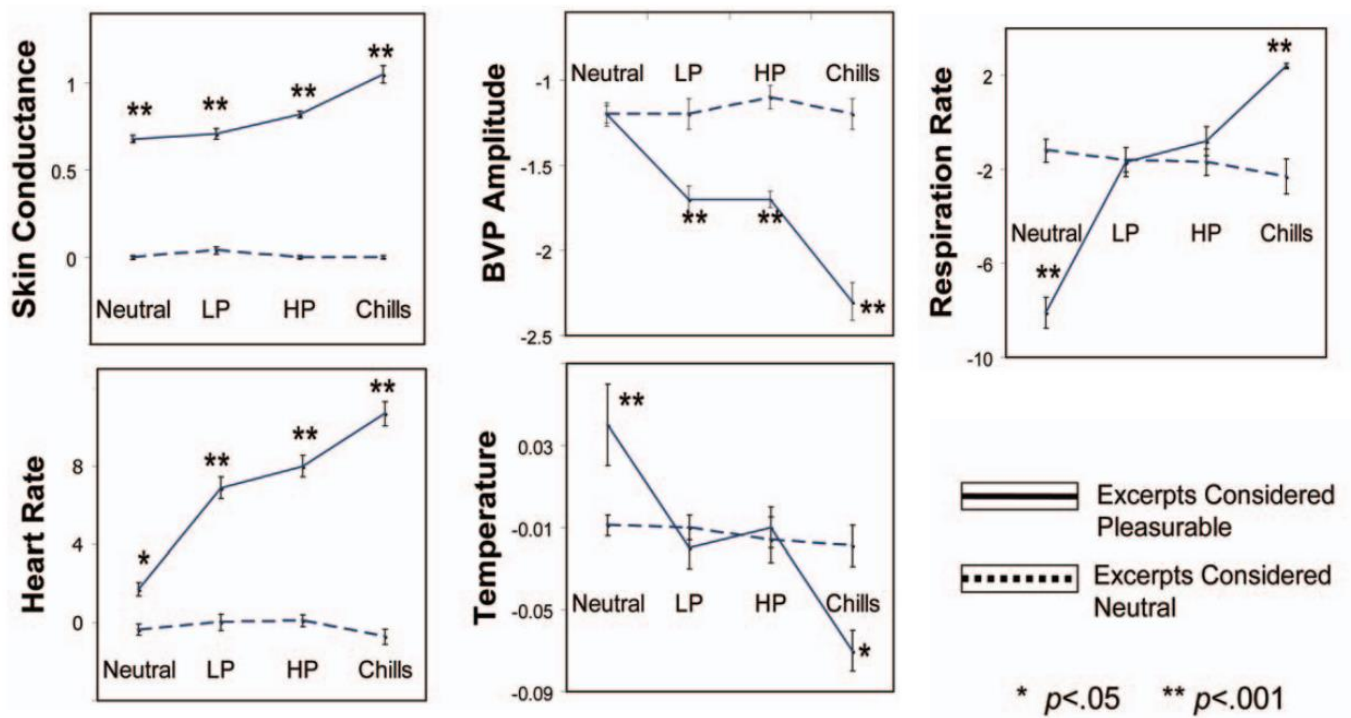


Figura 4 Variazioni fisiologiche in relazione allo stato emotivo. La gradevolezza è direttamente proporzionale all'aumento della frequenza cardiaca (in basso a sinistra, respiratoria (in alto a destra) e della conduttanza cutanea (in alto a sinistra), ed inversamente proporzionale alla temperatura corporea (in basso nel centro) e alla pressione sanguigna (in alto nel centro). La condizione neutrale non evoca stati emotivi e fisiologici rilevanti.

relazione alle variazioni fisiologiche momento per momento. I risultati dello studio mostrano relazioni apprezzabili tra lo stato emotivo provato dai partecipanti e le variazioni degli indici fisiologici (Figura 4). Le risposte di gradevolezza sono direttamente proporzionali alle variazioni del battito cardiaco, della frequenza respiratoria e della conduttanza cutanea, ed inversamente proporzionali alla pressione sanguigna e alla temperatura corporea. Nella condizione di ascolto neutro non ci sono invece alterazioni fisiologiche rilevanti. Di particolare interesse il fatto che la distanza massima dallo stato di baseline per questi indici si riscontra in concomitanza con la comparsa di brividi, dimostrando che questo tipo di espressione comportamentale in relazione alla musica sia associata non soltanto ad una forte reazione emotiva, ma anche ad importanti variazioni dello stato fisiologico acuto. Una possibile critica allo studio riguarda il tipo di stimoli utilizzati: i partecipanti hanno mostrato reazioni a brani che erano a loro familiari. I requisiti dello studio indicavano che i brani non dovessero essere associati ad un ricordo specifico né avere contenuti testuali, per evitare che le reazioni emotive fossero evocate da fattori diversi dalla musica stessa. Ciononostante, si potrebbe pensare che la familiarità di un brano possa essa stessa essere un fattore confondente, e che lo stato emotivo sia evocato non dalla sola musica ma dalla profonda conoscenza di un brano musicale e dalle aspettative che inevitabilmente si associano al suo ascolto. Guhn e colleghi (2007) smentiscono la possibilità che sia la familiarità con un brano e non il brano stesso ad essere un fattore

determinante per l'esperienza di brividi indotti dalla musica. Il team ha reclutato partecipanti che fossero frequentemente soggetti a forti reazioni emotive e ai brividi indotti dall'ascolto di stimoli musicali, e hanno fatto ascoltare loro alcuni estratti di musica classica che evocano spesso questa reazione. Anche in questo studio, come in quello di Salimpoor e colleghi (2009), sono stati evocati con successo i brividi nei partecipanti, ma senza che questa esperienza correlasse con la familiarità: i soggetti mostravano la reazione anche con brani che non conoscevano bene, o che erano a loro del tutto sconosciuti. Un'altra ricerca (Eerla et al., 2016) ha utilizzato uno stimolo musicale che già in studi precedenti aveva evocato nei partecipanti sensazioni di tristezza. I soggetti hanno riportato forti reazioni emotive, anche se il brano era a loro sconosciuto. È emerso che le reazioni più forti sono state evocate in partecipanti con elevata empatia, e che proprio questa caratteristica permetta una maggiore risonanza emotiva con gli stimoli musicali. Conoscere un brano, quindi, non è una prerogativa affinché si riscontrino variazioni dello stato emotivo, ed è quindi la musica stessa a suscitare le reazioni che abbiamo visto e non altri elementi o fattori confondenti.

Le modifiche fisiologiche ed emotive riportate finora sono associate a variazioni specifiche dell'attività neurobiologica. Blood e Zatorre (2001) conducono una ricerca di PET per verificare quali siano le zone principalmente attive nel cervello di un ascoltatore soggetto a musica particolarmente coinvolgente. Per partecipare allo studio sono stati scelti dei musicisti, ed è stato chiesto loro di selezionare dei brani che evocassero brividi e stati di piacere in maniera stabile. Il team ha scelto questi soggetti e permesso l'auto-selezione di stimoli per poter ottenere delle reazioni abbastanza forti da generare attivazioni apprezzabili, che avessero un'entità tale da renderle inequivocabili. Anche in questo caso è stata controllata l'associazione ai ricordi e la presenza di un cantato o testo, entrambi utilizzati come criteri di esclusione per i brani selezionati. Oltre alla PET, sono state anche ottenute registrazioni fisiologiche ed elettromiografiche in corrispondenza al task di ascolto (traccia auto-selezionata vs neutra), e ai soggetti è stato richiesto di valutare il grado di piacevolezza degli stimoli e l'intensità dei brividi provati su una scala Likert. I risultati elettrofisiologici mostrano attività analoghe a quelle già viste, con un aumento della frequenza cardiaca e respiratoria nei soggetti che hanno esperito brividi intensamente durante l'ascolto della traccia auto-selezionata. Anche l'attività elettromiografica sembra subire variazioni apprezzabili durante l'ascolto di musica piacevole,

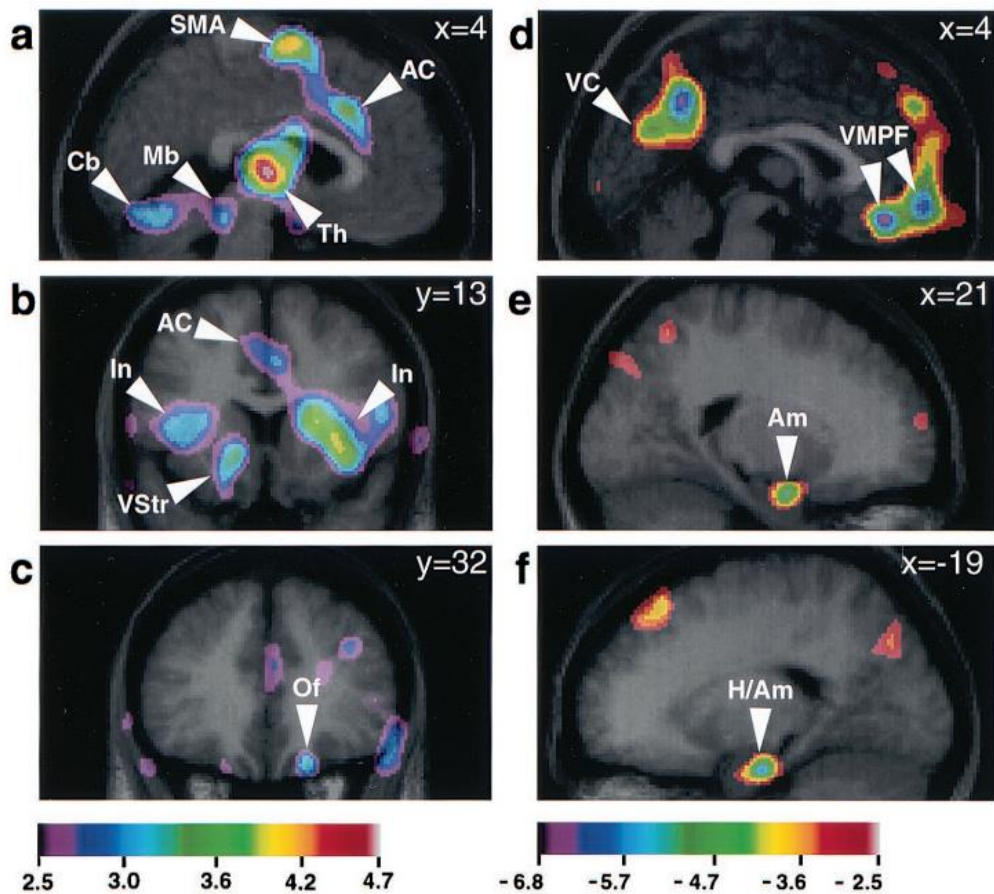


Figura 5 Aree corticali e sottocorticali implicate durante l'ascolto di stimoli musicali piacevoli. a-c indicano un'aumento del rCBF, d-f una diminuzione. **a** sagittale che mostra attività di md, talamo (Th), cervelletto (Cb), SMA e AC. **b** coronale dell'attività di insula bilaterale, AC e VStr. **c** coronale di attività orbitofrontale (Of). **d** ipoattività della corteccia visiva (VC) e VMPF. **e** ipoattività di amigdala destra (Am). **f** ipoattività di amigdala e ippocampo (H) a sinistra.

con una relazione diretta con l'intensità dello stato emotivo. La PET indica diversi cluster di attività neurobiologica tramite l'analisi del flusso di sangue cerebrale (rCBF), di aree sia corticali che sottocorticali (*Figura 5*). In particolare, le aree più attive nel corso del task e in relazione a stati emotivi piacevoli provati durante l'ascolto di musica sono la corteccia orbitofrontale sinistra (Ofc), lo striato ventrale sinistro (VStr), il mesencefalo dorsomediale (md), l'insula bilateralmente, il talamo, il cingolo anteriore (AC), le aree motorie supplementari (SMA) e il cervelletto bilateralmente. Si riscontra invece un'ipoattività nell'ippocampo a sinistra, nell'amigdala bilateralmente, nella corteccia visiva e nella corteccia prefrontale ventromediale (VMPF). L'attività di aree quali la SMA, il talamo ed il cervelletto, è associata all'alterazione dello stato fisiologico, e spiega in parte le variazioni a cui si assiste durante la presenza di brividi nell'ascolto musicale. L'incremento dell'attività mesencefalica e VStr è di particolare rilievo, in quanto la zona dorsomediale di md corrisponde a zone quali l'area ventro tegmentale (VTA) e il grigio periacqueduttale (PAG), mentre VStr comprende il nucleo di Accumbens (NAcc): queste strutture sono coinvolte nella produzione di dopamina in seguito

e nell'aspettativa di stimoli piacevoli intrinseci, quali il cibo, il sesso e le droghe d'abuso. La possibilità di un coinvolgimento dopaminergico è corroborata dall'incremento dell'attività di Ofc e del cingolo, che fanno parte del circuito funzionale della dopamina e sono implicate nella cognizione emotiva. Il cingolo inoltre agisce in sinergia col talamo, mediando l'entità e, possibilmente, la consapevolezza delle alterazioni fisiologiche in atto. La riduzione dell'attività di amigdala ed ippocampo potrebbe dipendere da una serie di fattori. Ad esempio, ricerche precedenti hanno riscontrato che l'aspettativa di uno stimolo piacevole tende ad inibire l'amigdala: è possibile, quindi, che in virtù della conoscenza intrinseca della sintassi musicale, l'aspettativa del piacere abbia avuto un'influenza su questa struttura. D'altra parte, l'amigdala ha coinvolgimenti importanti anche nella processazione di stimoli negativi. Ad esempio, l'azione congiunta di alcuni nuclei dell'amigdala e dell'ippocampo si associa al condizionamento alla paura. È quindi plausibile che l'inibizione di queste strutture si associ ad una riduzione selettiva della possibilità di provare uno stato d'animo negativo, ipotesi che trova riscontro se si considera che NAcc esercita attività inibitoria su di esse in presenza di stimoli piacevoli. Risulta inconclusivo il dato inerente all'ipoattività di VMPF, in quanto stride con risultati precedenti ed è troppo generalizzato per determinare risposte plausibili a riguardo. Blood e Zatorre con il presente studio dimostrano il diretto coinvolgimento di strutture implicate nell'elaborazione di stimoli piacevoli, in cluster di attivazione analoghi a quelli riscontrati in ricerche in cui si utilizzano al posto della musica degli stimoli fortemente rilevanti per la loro attività. Si può quindi concludere che gli stimoli musicali fortemente emotivi siano intrinsecamente piacevoli, e coinvolgano strutture filogeneticamente antiche del cervello umano senza interazioni neurochimiche dirette né condizionamenti specifici, a differenza dell'uso di droghe, del gioco d'azzardo o dei social media. Vanno però considerate le effettive attività neurotrasmettitoriali prima di giungere a conclusioni definitive sul loro coinvolgimento nell'elaborazione di musica. Inoltre, è importante valutare l'effetto di stimoli musicali sgraditi o che elicitano stati d'animo negativi per poter ottenere un quadro complessivo dell'azione della musica sull'encefalo.

Chanda e Levitin (2013) raccolgono in una review delle evidenze importanti riguardo l'azione specifica della musica su alcuni sistemi neurotrasmettitoriali e neuroendocrini. Trattano quattro tipi di effetti indotti dall'ascolto musicale: le sensazioni di piacere, utilizzando come marker specifici dopamina e oppioidi; le sensazioni di arousal, con valenza sia positiva che negativa, prendendo in esame le variazioni dei livelli di ACTH in relazione agli stimoli musicali; le modifiche nella risposta immunitaria, mediata da alcuni neuromodulatori serotonergici, e, infine; le modulazioni sull'interazione sociale, dovute al coinvolgimento

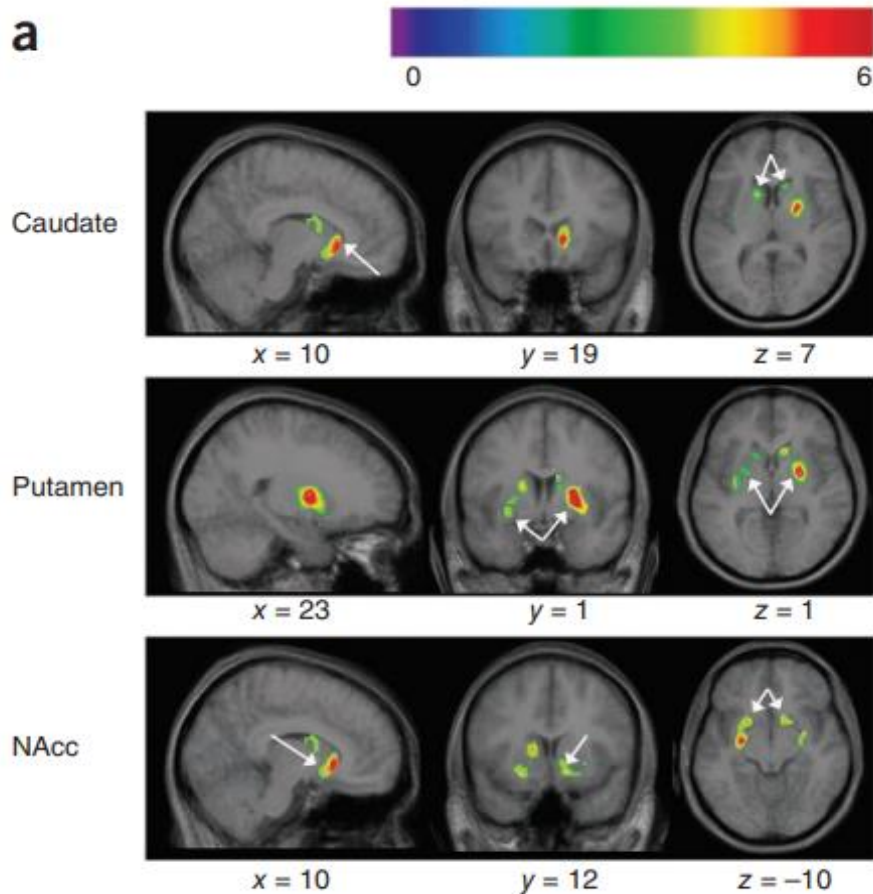


Figura 6 Neuroimmagini ricavate dalla PET, che indicano la riduzione del segnale dei bloccanti D2 in corrispondenza di alcune strutture neurofunzionali. Sopra si evidenzia l'attività dopaminergica del nucleo caudato. In centro l'attività del putamen. Sotto quella del NAcc.

dell'ossitocina. Di questi effetti, verranno qui trattati soltanto quelli inerenti al piacere e all'arousal. Salimpoor e colleghi (2011) eseguono uno studio di neuroimmagine utilizzando PET e fMRI per confermare quanto precedentemente rilevato riguardo i cluster di attività in risposta alla musica piacevole, in un task di ascolto con brani piacevoli auto-selezionati e brani neutri. Utilizzano, inoltre, un bloccante dei recettori D2 della dopamina, per verificare se effettivamente venga o meno rilasciata in corrispondenza all'ascolto di musica e durante l'esperienza di brividi. Vengono anche registrati gli stessi indici fisiologici dello studio precedentemente riportato (Salimpoor et al. 2009), in cui si riscontrano le medesime variazioni in relazione all'ascolto musicale (i.e. aumento della frequenza cardiaca, respiratoria e di conduttanza cutanea, riduzione della pressione sanguigna e della temperatura corporea). La PET rivela l'attività del NAcc, del nucleo caudato e del putamen, in corrispondenza ad una riduzione del segnale del bloccante D2 (*Figura 6*): questo implica che la sensazione di piacere indotta dagli stimoli musicali si associa direttamente al rilascio incrementale di dopamina in queste strutture. La fMRI è stata condotta per permettere una migliore risoluzione temporale e determinare l'effettivo onset degli incrementi nell'attività delle strutture coinvolte, e sembra che il caudato sia attivo in un momento che precede la comparsa di brividi, mentre il NAcc è

attivo durante la loro presenza. È quindi possibile che il caudato abbia una implicazione nell'aspettativa della ricompensa e il NAcc sia invece direttamente coinvolto nel momento in cui si esperisce piacere. Il contributo di questo studio è l'evidenza empirica dell'effettivo rilascio di dopamina, a differenza di altre ricerche in cui si riscontra l'attività di strutture coinvolte ma non la presenza del neurotrasmettitore. Per quanto riguarda il sistema oppioide, Mallik e colleghi (2017) hanno eseguito una ricerca con un disegno doppio-cieco in cui a una parte dei partecipanti è stato somministrato naltrexone, un inibitore dei recettori μ -oppioidi che comporta, nei soggetti sani, uno stato transitorio e reversibile di anedonia, e all'altra un placebo. Successivamente, i partecipanti hanno ascoltato stimoli musicali che contenevano brani auto-selezionati e tipicamente associati a sensazioni di piacere, e brani di musica emotivamente neutra facenti parte di un repertorio già utilizzato e validato in ricerche precedenti. Durante la fase di ascolto sono state registrate le attività elettromiografiche dei muscoli zigomatico e corrugatore, e in un momento successivo i soggetti hanno compilato dei questionari sulla gradevolezza degli stimoli. È emerso che i soggetti trattati con naltrexone avevano una riduzione nell'attività di entrambi i muscoli registrati, con particolare significatività sull'attività del corrugatore per la differenza con i controlli, sia nella condizione di ascolto di musica piacevole che neutra (Figura 7). Si evince anche una differenza nella valutazione della gradevolezza, con punteggi più alti per il gruppo di controllo rispetto a quello sperimentale per

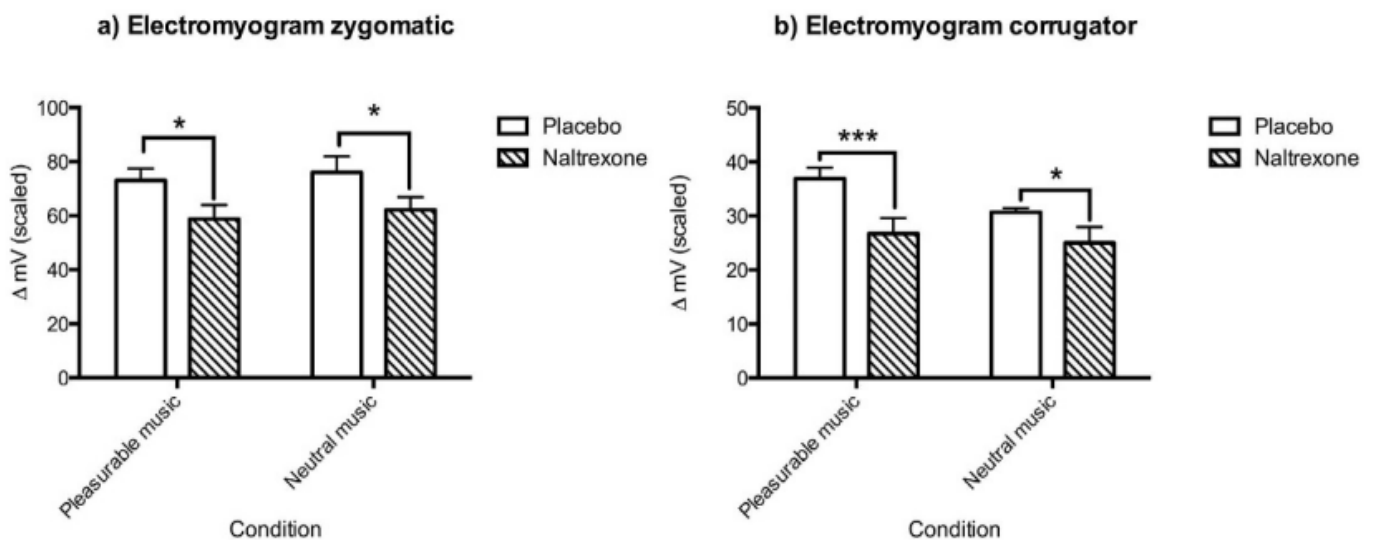


Figura 7 Attività elettromiografica nel gruppo sperimentale vs controllo per le condizioni di musica piacevole e neutra. Le attività sono minori nel gruppo di partecipanti che hanno assunto naltrexone, per entrambe le condizioni ed entrambi i muscoli. **a** attività dello zigomatico. **b** attività del corrugatore.

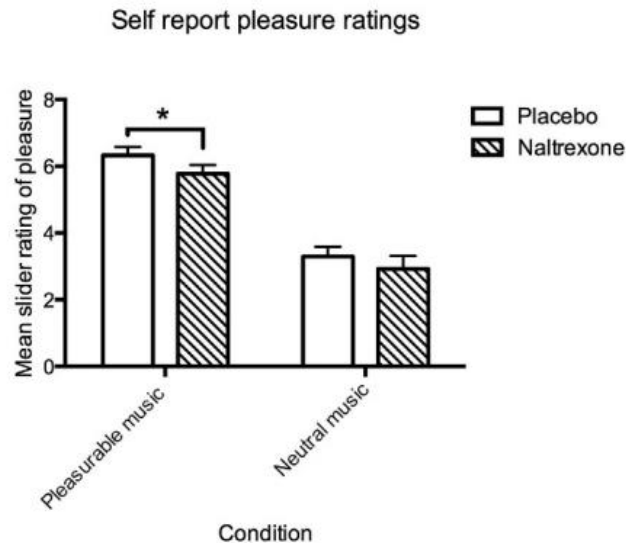


Figura 8 Valutazione della gradevolezza degli stimoli musicali nei due gruppi, per stimoli piacevoli e neutri. I controlli rispondono con giudizi più positivi per stimoli piacevoli rispetto ai partecipanti trattati con naltrexone.

la condizione di stimoli piacevoli, ma non ci sono differenze per i giudizi sulla musica neutra nelle due condizioni (Figura 8). Alla luce dei risultati ottenuti, sembra che il sistema oppioide abbia, come la dopamina, un coinvolgimento diretto nella valutazione e nell'esperienza di piacere indotto dagli stimoli musicali, in quanto una sua inibizione nel presente studio riduce la gradevolezza della musica in maniera significativa. Abbiamo quindi un'ulteriore conferma del fatto che la musica sia uno stimolo fortemente rilevante per gli esseri umani, e il suo ascolto abbia effetti diretti sui sistemi di reward.

Gli effetti della musica sullo stato d'animo non si limitano alle sensazioni di piacere: possono variare a seconda del tipo di stimolo musicale e in base al profilo personale dell'ascoltatore. Gerra e colleghi (1998) hanno eseguito misurazioni neuroendocrine in un gruppo di partecipanti esposti a musica classica e techno. Lo scopo della ricerca consisteva nel valutare quali fossero le differenze nei profili di attivazione per le due condizioni e, in particolare, se la musica techno avesse effetti di arousal che coinvolgessero processi implicati nello stress. È stato effettuato anche uno screening personale con il *Three-dimensional Personality Questionnaire* (TPQ, Cloninger 1987) e con misure qualitative e di assessment psicologico per valutare la presenza di tratti aggressivi nei partecipanti. Prima e dopo la fase di ascolto sono state misurate le alterazioni specifiche della concentrazione di prolattina (PR), epinefrina (EPI), norepinefrina (NE), ormone della crescita (GH), ormone adrenocorticotropo (ACTH), cortisolo (CORT) e β -endorfine (β -EP), indici neuroendocrini che aumentano in

corrispondenza ad una risposta di stress. Inoltre, sono state misurate la pressione sanguigna ed il battito cardiaco, e dopo i due trial di ascolto (uno per la musica classica e uno per la techno) i partecipanti hanno compilato un questionario sulla gradevolezza degli stimoli musicali. I risultati dello studio mostrano interazioni significative nelle alterazioni degli indici neuroendocrini tra la condizione di ascolto di musica classica rispetto alla musica techno. Dopo il task di ascolto di musica techno si assiste ad un aumento di β -EP, NE, CORT ed ACTH rispetto allo stato di baseline. Questo aumento non si riscontra dopo l'ascolto di musica classica, per cui gli indici neuroendocrini non presentano variazioni significative, indicando che sia attribuibile nello specifico all'ascolto di techno. Questo genere musicale, tra i due, presenta dei giudizi di gradevolezza inferiori rispetto alla musica classica, e le valutazioni per lo stato affettivo negativo durante l'ascolto di techno correlano positivamente con l'incremento di β -EP, NE e GH. Questo indica che l'ascolto di musica evoca, oltre al piacere, anche stati di arousal negativi, che si esprimono a livello neuroendocrino con l'aumento della concentrazione plasmatica dei neuroormoni associati allo stress. Gerra e colleghi sono anche interessati al tipo di personalità che mostra queste variazioni in relazione alla musica techno. Sembra che la dimensione di *Harm Avoidance* abbia una correlazione positiva sia con i giudizi negativi, sia con l'aumento di β -EP e NE riscontrato dopo l'ascolto. Al contrario, i punteggi per la dimensione di *Novelty Seeking* correlano negativamente con lo stato affettivo negativo, e anche con gli aumenti di β -EP e NE: queste differenze indicano che i tratti di personalità possono influenzare il modo in cui gli individui rispondono alla musica, e che tra persone diverse possono emergere differenze apprezzabili nella reazione agli stessi stimoli musicali. Anche il contesto in cui un brano viene ascoltato sembra influenzare la produzione neuroendocrina associata allo stress, come evidenziato in uno studio in cui i partecipanti hanno giocato ad un videogioco con una colonna sonora e in silenzio: dopo la partita i soggetti che avevano la colonna sonora mostravano una più alta concentrazione di CORT salivare rispetto al gruppo che ha giocato senza musica (Hèbert et al., 2005), indicando la possibilità che queste modifiche siano attribuibili alla presenza di musica. D'altra parte, sono stati anche rilevati gli effetti opposti della musica sulla modulazione dello stress negli esseri umani. Bringman e colleghi (2009), hanno riscontrato che in un gruppo di pazienti chirurgici l'ansia peri-operatoria era controllata in maniera più efficace dalla riproduzione di musica rilassante rispetto all'assunzione di benzodiazepine. Le evidenze sugli effetti della musica sul sistema neuroendocrino dello stress sono inconclusive, in quanto non sembrano esserci risposte simili in tutte le condizioni di ascolto musicale. Sembra che queste risposte siano dovute a molti

fattori, inerenti alla natura dello stimolo musicale, il contesto nel quale viene presentato e i tratti degli ascoltatori stessi.

Abbiamo visto che la musica è in grado di produrre modifiche notevoli dello stato di attivazione fisiologica e neurobiologica acute negli esseri umani. Le evidenze raccolte dimostrano che l'ascolto di musica è legato a fenomeni molto intensi, promuove la produzione dopaminergica e di oppioidi e, a seconda dei casi, può ridurre l'intensità delle reazioni di stress o generarle ex novo. Questi fenomeni rendono la musica un elemento di forte interesse per la ricerca, in quanto permettono di utilizzarla e manipolarla con finalità terapeutiche in svariate patologie. Nel seguente paragrafo, vedremo che la musica attiva in maniera specifica anche il sistema motorio, a partire da componenti di esso filogeneticamente molto antiche e nelle sue strutture di elaborazione mirror e di programmazione delle azioni.

2.3 Musica e sistema motorio

Finora è stata considerata la sfera emozionale della risposta alla musica, che si associa alle importanti alterazioni acute dello stato fisiologico e neurofisiologico di chi ascolta. In questa prenderemo in esame le caratteristiche della codifica musicale dell'uomo: verranno trattate le basi neurofisiologiche della percezione, sincronizzazione e produzione musicale, con particolare rilevanza per quanto riguarda il modo in cui la musica influenza ed è implicata nella codifica motoria del sistema nervoso. In particolare, vedremo come il sistema uditivo e motorio siano tra loro legati nei processi di elaborazione musicale, e che esistono evidenze di un coinvolgimento dei sistemi mirror durante l'ascolto di stimoli musicale. Riprendiamo i circuiti CPG: come abbiamo visto essi consistono in accoppiamenti di interneuroni e neuroni motori, che informano l'un l'altro tramite processi di biofeedback e si autoregolano in sistemi chiusi che permettono la deambulazione, in particolare la locomozione; essi, nell'uomo e in altre specie animale, sono intrinsecamente ritmici. Klarner e Zehr (2018) scrivono una review inerente ai circuiti CPG nella nostra specie, raccogliendo numerosi dati acquisiti da studi sui pazienti con deambulazione ridotta, sui neonati, e inerenti a task sperimentali che valutano la locomozione. In merito, i ricercatori concludono che le evidenze indirette confermano la presenza di circuiti CPG nell'uomo, che sembrano essere implicati nell'organizzazione dei movimenti di locomozione agendo su tutti e quattro gli arti contemporaneamente, ma, per quanto si supponga che abbiano una sede soprasspinale, non ci sono evidenze certe in merito alla loro localizzazione nell'uomo, a differenza di quanto riscontrato in altre specie. È possibile che i circuiti CPG siano implicati nella produzione e nella percezione musicale, e che il loro

coinvolgimento possa dare degli insight in merito alla capacità ritmica dell'uomo. Esistono molteplici evidenze che la musica faciliti e migliori la performance sportiva in numerose discipline agendo sul sistema motivazionale ([Karageorghis et al., 1997](#); [Rendi et al., 2008](#); [Bood et al., 2013](#)). Schneider e colleghi (2010) eseguono una ricerca in cui ipotizzano l'implicazione diretta di sistemi oscillatori, di circuiti CPG, nella performance sportiva. È stato reclutato un gruppo di corridori abituali, ed è stato chiesto loro di selezionare alcune tracce che utilizzano abitualmente durante il loro allenamento. Il task sperimentale è stato svolto su una pista da corsa: i partecipanti hanno corso secondo un ritmo per loro idoneo, un ritmo lento ed un ritmo elevato, ascoltando gli stimoli musicali da loro indicati. Contestualmente al task sono stati registrati il battito cardiaco e l'EEG dei corridori, ed è stato utilizzato un accelerometro per valutare, con delle analisi successive, le frequenze di locomozione durante la corsa. I risultati rivelano forti similitudini nella frequenza di deambulazione e del battito cardiaco in relazione a quella intorno alla quale si aggirano gli stimoli musicali. Un'analisi eseguita con la Trasformata di Fourier veloce (FFT) ha rilevato che la maggior parte degli stimoli utilizzati durante i trial, oltre che altri brani indicati successivamente come ottimali per la corsa da parte dei partecipanti, hanno dei picchi intorno ad una frequenza pari a 3 Hz (2.6-2.8). Anche la deambulazione ed il battito cardiaco hanno una frequenza simile, specie nei trial con la corsa cadenzata su un ritmo personalizzato o a prestazione elevata. I risultati di EEG mostrano un'aumento nell'attività delle aree di Brodmann 9 e 32, corrispondenti rispettivamente alla corteccia prefrontale dorsolaterale e al cingolo anterodorsale, e una riduzione nelle cortecce visive occipitali, con frequenze che corrispondono al ritmo delta: similmente alle misure sopra descritte, le frequenze dell'attività EEG si aggirano tra i 2 e i 4 Hz. Gli autori speculano che questa apparente sincronia tra battito cardiaco, deambulazione, ed attività elettrofisiologica sia dovuta, in parte, all'attività oscillatoria dei circuiti CPG, e che la musica sia un fattore facilitatore nella corsa quando è caratterizzata da specificità spettrometriche che rientrano in un range compatibile con quello delle frequenze di attività di questi circuiti. Lo studio dei CPG nell'uomo è soggetto a forti limitazioni metodologiche, che ne impediscono la registrazione diretta o, tantomeno, la manipolazione strumentale. Pertanto, non ci sono in letteratura evidenze della possibilità che questi circuiti abbiano un coinvolgimento diretto nei processi che determinano la produzione e la fruizione musicale. Le considerazioni che possono essere elaborate in merito riguardano il fatto che i CPG determinano il movimento ritmico in contesti non musicali, come dimostrato da interfacce riabilitative che permettono il recupero della deambulazione sfruttandone la periodicità intrinseca, e a partire da questa proprietà è possibile

considerare la loro implicazione nella capacità attiva di *entrainment*, nell'uomo come in altre specie.

Le evidenze di sistemi centrali specializzati per la produzione e l'ascolto musicale sono ambigue, e spesso partono dall'assunzione che pathway specifici per competenze analoghe (percezione timbrica della voce umana o percezione della sequenzialità umana) siano implicati anche nei processi musicali. Una ricerca di Lewis e colleghi (2004) indaga l'attività neurobiologica legata alla percezione e la sincronizzazione col ritmo. Ai partecipanti è stato chiesto di battere un dito per allinearsi ad un ritmo a loro presentato, e, successivamente, continuare a scandire quel ritmo dopo che lo stimolo era cessato, mantenendosi il più possibile la sincronia ad esso. I ritmi impiegati nello studio erano di tre tipologie (due per tipologia), con intervalli temporali che rendevano il compito via via più complesso a seconda del tipo di stimolo presentato, e durante il task sono stati raccolti i dati BOLD con risonanza magnetica funzionale. I risultati mostrano molti cluster di attivazioni (VLPFC, DLPFC, STG, gangli della base) tra cui alcune aree che sembrano attivate in maniera differenziale tra le condizioni di sincronizzazione iniziale, in presenza dello stimolo, e sostenuta, in assenza dello stimolo: la preSMA e la corteccia premotoria dorsale (dPMC). Sembra che queste due strutture siano maggiormente coinvolte durante la fase iniziale del task, in quanto mostrano una riduzione della loro attività durante il tapping in assenza dello stimolo guida. Inoltre, la dPMC sembra essere maggiormente attiva durante i trial in cui vengono presentati stimoli ritmici complessi, indicando il suo ruolo nella codifica motoria per azioni inusuali o impegnative. Lewis e colleghi fanno anche delle considerazioni inerenti all'attività DLPFC, che indicano come associata alla correzione di errori nel corso dei trial. Nel complesso, si evince che la complessità dello stimolo si associa all'attività differenziale di molte aree coinvolte nella codifica del ritmo, e che l'implicazione di aree premotorie e motorie è associata non soltanto al movimento stesso, ma anche al modo in cui esso viene organizzato e codificato in relazione agli stimoli.

Un altro studio in cui si utilizzano stimoli ritmici con diversi gradi di complessità (Begtsson et al., 2009) dimostra anch'esso differenze nelle attività neurobiologiche tra condizioni. In questa istanza, a differenza di quanto visto nella ricerca precedente, le registrazioni fMRI sono state eseguite nel corso di un compito di solo ascolto, durante il quale sono stati proposti un ritmo isocrono, un ritmo con metrica regolare ed un ritmo non metrico. Anche in assenza di attività motoria, vengono riscontrate attività della pre-SMA e della corteccia premotoria, con attivazioni selettive anche nel cervelletto bilaterale. Questo indica che il solo ascolto di stimoli ritmici è in grado di evocare attività associate all'organizzazione e pianificazione motoria, similmente a quanto avviene nel caso di stimoli visivi, uditivi e lessicali coerenti con le proprie

competenze motorie, fenomeni riscontrati ripetutamente nella ricerca sull'uomo e sulle scimmie (Murata et al., 1997; Kohler et al., 2002; Hauk et al., 2004; Gabrowski et al., 1998). Grahn e Rowe (2012) riscontrano anche un'attività differenziale dei gangli nella base durante la codifica del ritmo. In uno studio di fMRI, gli autori operazionalizzano due fasi della percezione ritmica: una di "ricerca", in cui l'ascoltatore deve adattarsi alla pulsazione del ritmo, e una di "continuazione", in cui entrano in gioco meccanismi che permettono la predizione della pulsazione successiva. Si evince che la fase di continuazione attiva maggiormente i gangli della base rispetto alla fase di ricerca, evidenziando la possibilità che queste strutture abbiano un ruolo nel predire in maniera accurata lo stimolo successivo di una sequenza ritmica.

Una problematica consistente della letteratura riguarda la trattazione selettiva e specifica di una sola caratteristica dello stimolo (ritmo vs melodia) o del modo in cui la musica viene esperita (da esecutore vs da ascoltatore). È evidente che per ottenere un quadro complessivo dei processi neurobiologici che vengono coinvolti dalla musica non si possano considerare solo alcune componenti isolate della musica stessa, in quanto si tratta di uno stimolo complesso che richiede molteplici livelli di elaborazione. Inoltre, le evidenze sopra presentate mostrano che uno stimolo quasi-musicale come una sequenza ritmica viene elaborata in parte da strutture motorie e premotorie, sia durante l'ascolto che durante l'esecuzione di un task ritmico, rendendo possibile la presenza di circuiti mirror specifici per la codifica musicale.

In una metanalisi, Gordon e colleghi (2018) evidenziano le scoperte relative alle attività neurobiologiche associate all'ascolto di stimoli musicali complessi, indicando una serie di attivazioni sensori-percettive, sottocorticali e motorie. A differenza di quanto visto negli studi precedenti, sembra esserci un'assenza di attività pre-SMA e dei gangli della base durante l'ascolto musicale. Gli autori attribuiscono questa discrepanza al fatto che queste strutture sono tipicamente coinvolte nell'elaborazione di stimoli sequenziali, con una cadenza temporale evidente. È possibile, quindi, che la pre-SMA e i gangli della base siano coinvolti da stimoli prettamente o esclusivamente ritmici, e non da stimoli musicali complessi che contengono informazioni armoniche e melodiche. D'altra parte, è possibile che queste strutture siano attivate maggiormente in musicisti o persone che hanno particolare familiarità con la sintassi musicale e ritmica degli stimoli presentati, e che siano in grado di codificare le componenti sequenziali di essi in seguito ad apprendimenti specifici. Viene invece confermata la presenza di attivazioni premotorie nell'ascolto musicale, che si riscontrano bilateralmente nella maggior parte degli studi coinvolti. Queste attività, per quanto sia indeterminata la sede specifica in cui sono state osservate (dorsale o ventrale), sembrano indicare che l'ascolto musicale evoca la simulazione motoria negli ascoltatori sani. Questa ipotesi è corroborata dalla presenza di attività

coerenti con quelle del circuito mirror: ad esempio, si riscontra un incremento del segnale BOLD nella motoria primaria, che potrebbe indicare pattern di inibizione motoria investigati in numerose ricerche inerenti ai circuiti mirror (Hari et al., 1998; Cardellicchio et al., 2020). Si assiste, inoltre, all'attività del cervelletto, anch'esso implicato nel rispecchiamento motorio e coinvolto in particolare nella mediazione dell'input sensoriale atteso in relazione alla simulazione motoria in atto.

Queste evidenze sono state riscontrate perlopiù nei non musicisti: si potrebbe ipotizzare che chi ha una formazione musicale dimostri attività diversa rispetto ai non musicisti, in quanto è possibile che sia maggiormente soggetto a trasformazioni audio-motorie e/o visuo-motorie degli stimoli musicali. Harris e M. de Jong (2015) prendono in esame queste considerazioni in un confronto tra tastieristi che improvvisano abitualmente, tastieristi che non improvvisano e non musicisti durante un task di ascolto, per verificare non soltanto le differenze tra musicisti e non musicisti, ma anche se il tipo di approccio alla pratica musicale eserciti un'influenza nella codifica della musica stessa. I tre gruppi hanno ascoltato brani a loro familiari, alcuni dei quali facenti parte del loro repertorio, e brani sconosciuti, in quanto composti specificamente per lo studio, ed è stato chiesto loro di svolgere due task: uno di immaginazione motoria, in cui avevano il compito di immaginare di suonare la musica che stavano ascoltando, e uno in cui dovevano verbalizzare in tempo reale i giudizi musicali relativi agli stimoli presentati. Gli autori si aspettano una migliore immaginazione motoria nel gruppo di improvvisatori ed una migliore codifica attentivo-percettiva nel gruppo di esecutori. Contestualmente ai task sperimentali sono stati raccolti i dati BOLD con una risonanza magnetica funzionale. Nel task di immaginazione motoria, i musicisti mostrano attività premotoria bilateralmente, sia del vPMC che del dPMC. Quest'ultima è ulteriormente suddivisa in attività differenziali locali nella parte superiore e inferiore del dPMC. Si riscontra inoltre una forte attività del STG sinistro, del lobo parietale anteriore destro e del parietale postero-superiore, in corrispondenza al solco intraparietale. Le differenze tra gruppi di musicisti mostrano una maggiore attività del dPCM superiore e del solco intraparietale destro negli improvvisatori rispetto agli esecutori. Si riscontra anche un'attività più elevata a livello uditivo, nel STG degli improvvisatori, mentre gli esecutori hanno un'attività analoga a quella dei non musicisti. Sembra, inoltre, che gli improvvisatori abbiano una maggiore attività a destra rispetto agli esecutori, che invece non hanno una chiara lateralizzazione per l'attività premotoria e parietale. Nel task di ascolto attentivo si riscontrano attività simili a quelle sopra descritte nei musicisti, ma non nella parte superiore del dPMC né a livello parietale. Viene evidenziata soltanto una maggiore attività parietale nei musicisti improvvisatori rispetto ai non musicisti, senza differenze significative con gli esecutori. Sembra

invece che questi ultimi abbiano maggiore attività attentiva, sia nel task di immaginazione motoria che in quello di ascolto, in quanto si riscontra un'attivazione maggiore del STS destro. Le attività del solco intraparietale nel gruppo di improvvisatori sono associate alla trasformazione visuo-spaziale degli stimoli musicali, e si associa all'organizzazione visuo-motoria degli stimoli nell'organizzazione di risposte comportamentali adeguate. Inoltre, gli autori ritengono che l'attività del dPCM superiore sia legata a quella del solco intraparietale in un circuito specializzato per la rappresentazione motoria degli stimoli. Gli improvvisatori mostrano anche maggiori attività a livello uditivo, nel STG bilateralmente, mentre gli esecutori hanno attività paragonabili ai non musicisti in queste strutture. Gli autori concludono affermando che chi improvvisa in campo musicale sembra avere una maggiore attività lateralizzata a destra, e che questo tipo di attività sottenda delle specializzazioni visuo-motorie che non si evidenziano negli esecutori e nei non musicisti. D'altra parte, gli esecutori hanno una maggiore codifica attentiva degli stimoli musicali, coerentemente con il modo in cui sono abituati a suonare; gli esecutori di musica classica pongono una forte enfasi sulle qualità dinamiche del brano (piano, mezzo piano, forte...) e su caratteristiche quali l'articolazione e le sfaccettature timbriche che esso richiede. Questi cluster dimostrano che le differenze specifiche nella codifica degli stimoli musicali interessano non soltanto musicisti e non musicisti, ma anche diversi tipi di musicisti in base alle modalità di produzione musicale, caratterizzate a livello neurobiologico da attività specifiche che le sottendono.

Wallmark e colleghi (2018) indagano un altro elemento della musica come fattore di attivazioni selettive, motorie ed affettive, del sistema nervoso centrale. Conducono una serie di esperimenti inerenti alla percezione timbrica, per valutare se e come specifiche caratteristiche di essa possano evocare attività specifiche negli ascoltatori, e se tali attività siano generali o diverse tra individui. I partecipanti allo studio avevano diversi gradi di esperienza musicale, e consistevano in un gruppo misto di non musicisti e musicisti amatoriali. Gli stimoli utilizzati consistevano in quattro set di registrazioni, rispettivamente di sassofono, voce, chitarra e shakuhachi, uno strumento giapponese tradizionale. I quattro set erano stati classificati in base alla loro componente di "rumore", un elemento timbrico che si esprime in distorsioni sonore tipiche di generi come il rock e il metal, ma presenti anche nella musica classica orientale e in molte esecuzioni jazz. Sono state registrate tre tracce per strumento, una con distorsioni timbriche assenti (*low-noise*), una con distorsioni lievi (*medium-noise*) e una con distorsioni accentuate (*high-noise*). In questo primo esperimento sono stati chiesti gli attributi relativi a diverse caratteristiche del suono, inerenti allo sforzo percepito nella sua produzione, la valenza emotiva, il grado di "brillantezza" (*brightness*), e distorsione (*noisy*). Sono inoltre stati chiesti

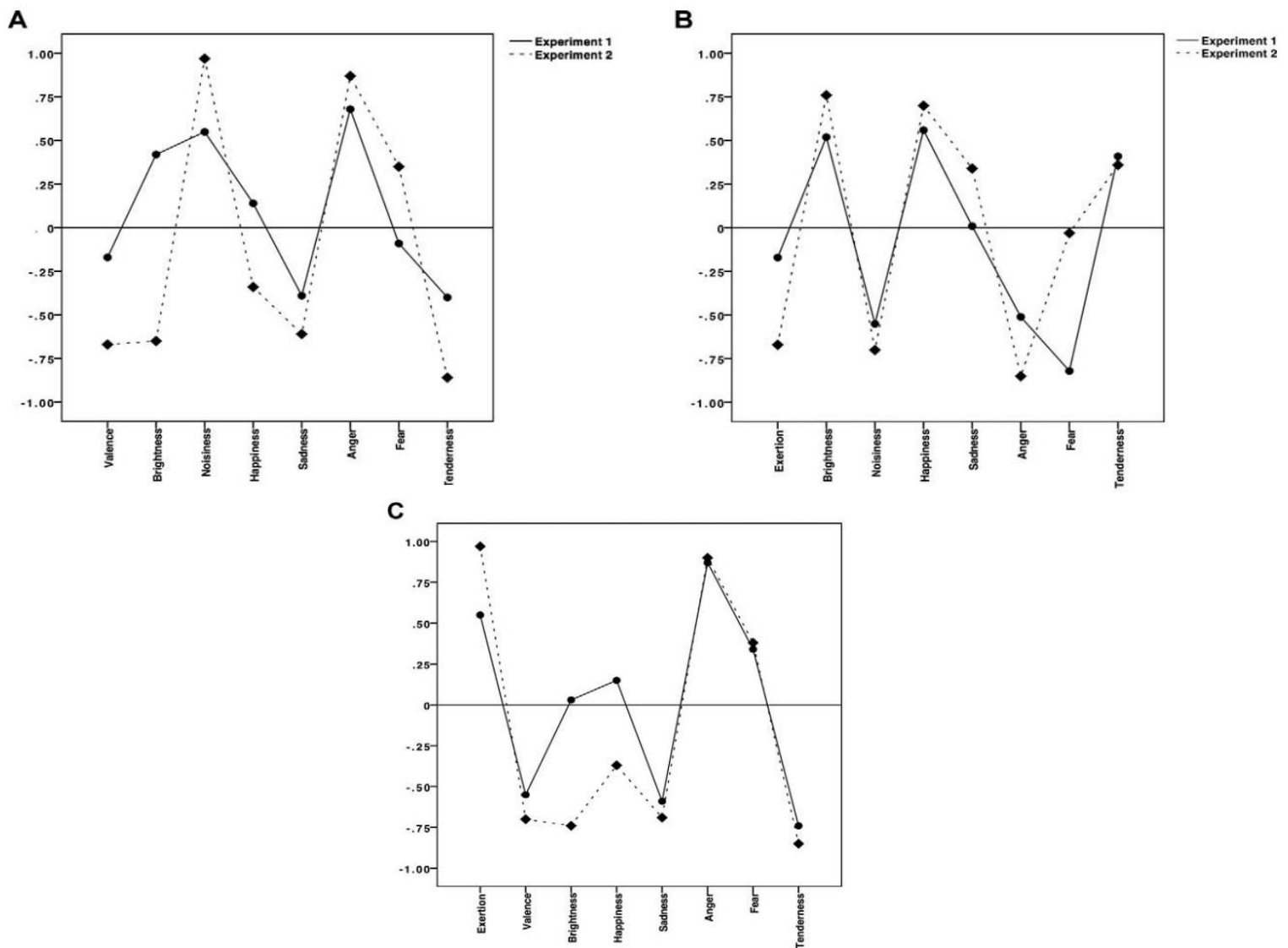


Figura 9 Paragone tra il primo ed il secondo esperimento per le correlazioni tra dimensioni considerate. Correlazione delle dimensioni considerate con **A** sforzo percepito, **B** valenza emotiva e **C** distorsione percepita. Linea continua: exp 1, linea tratteggiata: exp 2.

giudizi riguardo al contenuto emotivo delle esecuzioni, con dei questionari a scelta multipla per diverse dimensioni emotive di base (felicità, tristezza, paura, rabbia, tenerezza). Un secondo esperimento ha riproposto lo stesso paradigma ai partecipanti ma con stimoli diversi, che consistevano in brevi estratti da canzoni appartenenti a generi con differenti profili timbrici ed esecuzioni vocali polifoniche. Sono stati utilizzati soltanto estratti in cui il contenuto testuale è intelligibile per evitare variabili confondenti nell'interpretazione semantica. Infine, un terzo esperimento ha replicato il primo, utilizzando un subset dei partecipanti agli esperimenti precedenti e registrando la loro attività neurobiologica con fMRI. I risultati del primo esperimento indicano un consenso condiviso tra i partecipanti riguardo la distorsione e lo sforzo impiegato nella produzione sonora (*exertion*), ma differiscono i giudizi di valenza per strumenti diversi. Sembra che la valenza più bassa sia, sorprendentemente, attribuita alla voce umana, e quella più alta alla chitarra elettrica. In generale, i partecipanti sono invece concordi nell'attribuire una valenza emotiva negativa alla condizione di distorsione elevata rispetto alle

altre due condizioni. Il secondo esperimento mostra risultati molto simili al primo, come illustrato dai grafici che li confrontano tra loro (*Figura 9*): questo indica che la percezione della distorsione timbrica è paragonabile per l'esecuzione monofonica e polifonica, che, nel complesso, non mostrano tra loro differenze significative. I risultati del terzo esperimento indicano diversi incrementi del segnale BOLD durante l'ascolto degli stimoli musicali rispetto alla condizione di baseline, con particolare coinvolgimento di aree acustiche (STG, giro di Heschl, STS), motorie (SMA, PMC), limbiche (amigdala, ippocampo), sensoriali (somatosensoriale II, SII) e del cervelletto. Gli stimoli vocali rispetto a quelli strumentali elicitano maggiore attività a livello del lobulo parietale inferiore e del cervelletto, e tra essi quelli considerati come più piacevoli (assenza di distorsione) sono associati a maggiori attivazioni somatiche, implicate nella codifica mirror come dimostrato in ricerche su soggetti sani (Keysers et al., 2004; Ebisch et al., 2008). Altre attività relative alla sfera sensoriale sono state riscontrate nelle attribuzioni di valenza emotiva negativa rispetto agli stimoli ascoltati, insieme ad attività specifiche di amigdala bilaterale, putamen, insula e tronco encefalico. L'attività di amgdala ed ippocampo correla, inoltre, con la distorsione acustica negli stimoli a media intensità, con particolare lateralizzazione a destra, ma non per stimoli ad alta intensità. Gli autori a riguardo affermano che la complessità degli stimoli timbrici non è facilmente spiegabile a partire da localizzazioni specifiche delle attivazioni coinvolte, e presenta numerose sfumature che richiedono un'analisi più approfondita di quella da loro impostata. Le più importanti rivelazioni della ricerca riguardano l'apporto di strutture motorie e sottocorticali implicate nelle risposte di tipo mirror durante l'ascolto e nella discriminazione timbrica, che si aggiungono alle aree temporali dedicate a queste finalità già evidenziate in ricerche precedenti e legate a tipi di elaborazione più prettamente acustiche. Inoltre, viene sottolineata l'importanza della concezione olistica delle attività motorie, sensoriali, limbiche e sottocorticali evidenziate: la percezione musicale e timbrica reclutano queste risorse in maniera sinergica, ed è fondamentale tenere in considerazione l'interazione che avviene tra le strutture in cui si riscontra attività. In quest'ottica si può parlare di risposte non più soltanto motorie o affettive, ma del loro legame nella codifica della musica che, come altri stimoli, evoca al contempo affettività ed agentività.

Nel presente capitolo sono state finora presentate le evidenze di attivazioni neurobiologiche associate all'espressione edonica della musica, sia da un punto di vista strutturale sia neurotrasmettitoriale, considerando le attività specifiche del sistema dopaminergico ed oppioide e valutando gli incrementi dei neuroormoni dello stress in presenza di stimoli musicali ad alto arousal. Inoltre, sono stati dimostrati gli apporti di molte strutture

dedicate alla codifica motoria, sensoriale-multimodale ed affettiva all'ascolto di stimoli musicali di diverse tipologie, in particolare sequenze ritmiche, brani strumentali e caratteristiche timbriche della voce e di altri strumenti musicali. Si evince dalle evidenze raccolte la necessità di evitare la dicotomizzazione degli aspetti affettivi ed agentivi della codifica musica, in quanto, come riscontrato, essi sono profondamente legati tra loro. Vedremo come queste attività siano di forte interesse per quanto riguarda sia la dimensione di coesione sociale, che la musica avrebbe contribuito a modulare nelle interazioni madre-bambino e nella regolazione sociale inter-gruppo dell'uomo paleolitico, sia in molti aspetti riabilitativi, con pazienti appartenenti a diverse popolazioni cliniche. Il prossimo paragrafo illustrerà invece le comunanze tra la codifica del linguaggio e della musica a livello neurobiologico ed elettrofisiologico.

2.4 Pathway condivisi tra musica e linguaggio

Musica e linguaggio hanno delle similitudini strutturali rilevanti, tali da presupporre che condividano alcune vie di elaborazione su diversi livelli percettivi ed interpretativi. Per analogia, si possono costruire dei paralleli tra elementi musicali e linguistici. Ad esempio, una nota può essere paragonata ad un fonema, un intervallo tra note ad una sillaba, e una melodia ad una parola o frase. Inoltre, la musica, come il linguaggio, ha una propria sintassi, che si esprime attraverso gli aspetti armonici: gli accordi nella musica tonale hanno delle funzioni specifiche, e vengono utilizzati per creare sensazioni di "tensione" e "rilascio". Ad esempio, il quinto grado della scala maggiore (nella scala di do il sol) è un accordo tensivo, che lascia l'ascoltatore in sospeso e necessita di una risoluzione sull'accordo del primo grado (il do) per dare la sensazione di una conclusione coerente.

Alla luce di queste caratteristiche, cos'è l'analisi delle progressioni armoniche di un brano se non una sorta di analisi logica o del periodo applicata alla musica? Queste similitudini nelle caratteristiche del linguaggio e della musica potrebbero, in virtù della loro somiglianza, avere dei tipi di codifica simili. In particolare, l'elaborazione musicale potrebbe avere dei paralleli con l'interpretazione semantica: è possibile che le attribuzioni emotive evocate da un brano e, spesso, volontariamente costruite in esso, siano immediatamente e universalmente interpretabili in virtù dei paralleli semantici che presentano con il linguaggio umano. Darwin, ancora una volta, è tra i primi a considerare le similitudini tra musica e linguaggio, partendo da un framework teorico evolutivo in cui argomenta la possibilità dell'esistenza di legami tra le prime forme linguistiche e l'emergere della produzione proto-musicale. Fitch (2006) prende in esame

queste considerazioni, definendole entro una struttura teorica che denomina *protolinguaggio musicale*. Sintetizzando il pensiero darwiniano, Fitch scrive che il linguaggio nell'uomo dipende da competenze condivise con altre specie. La capacità di apprendere specifiche sequenze sonore si riscontra in specie quali gli uccelli canori e alcuni mammiferi (ad esempio, i cetacei). Questo indica che l'uomo potrebbe aver espresso simili sequenze vocali, via via più complesse grazie alla varietà di suoni che la nostra evoluzione ci ha permesso di produrre. In principio è verosimile che le vocalizzazioni umane fossero simili a quelle che oggi si osservano in altre specie, aspecifiche o esclusivamente legate a reazioni proto-emotive intense in presenza di pericoli (basti pensare alle specie in cui è previsto un ruolo di "sentinella", quali i suricati e le marmotte). Questa fase iniziale dello sviluppo linguistico nell'uomo potrebbe, secondo Darwin, aver avuto un ruolo nella selezione sessuale, ma abbiamo visto che si ipotizzano anche effetti sulla regolazione sociale interindividuale e sulla coesione di gruppo. Queste forme comunicative, in quanto fortemente emotive e prive di un significato ben definito, sarebbero precursori della musica. Solo successivamente, in maniera prima imitativa e poi ricorsiva e astratta, si è giunti all'elaborazione di effettivi sistemi linguistici, con significati e regole specifiche nella formulazione delle parole e delle frasi che hanno influenzato, a loro volta, la stessa espressione proto-musicale.

Le evidenze di un legame tra musica e linguaggio in ambito clinico sono contrastanti, in quanto si ottengono risultati diversi in base al tipo di deficit che si prende in esame. Ad esempio, Hébert et al. (2003) svolgono una ricerca sul caso del paziente C.C., un ex-poliziotto che ha subito danni fronto-temporo-parietali nell'emisfero destro dell'encefalo in seguito ad una trombosi. All'uomo è stata diagnosticata una afasia non-fluente, ed è stato sottoposto ad una serie di task sperimentali per valutare se mostrasse una migliore articolazione vocale nel canto rispetto al parlato. I risultati dello studio non mostrano alcune differenze nelle capacità articolatorie di C.C. tra condizioni diverse. Egli era in grado di replicare la melodia di molte canzoni, familiari e sconosciute, con buona accuratezza, ma senza che cantare migliorasse l'articolazione del contenuto testuale, che rimaneva scarsa sia nel canto che nel parlato. D'altra parte, è stata replicata numerose volte in soggetti balbuzienti una facilitazione della fluenza vocale nel cantato rispetto al parlato, mostrando un vicariamento, se non un potenziamento, delle capacità fonoarticolatorie. Stager e colleghi (2003) eseguono registrazioni di PET per verificare i correlati neurali della facilitazione che le caratteristiche musicali sembrano avere sulle capacità articolatorie di un gruppo di soggetti balbuzienti. Essi vengono confrontati con un gruppo di controllo, e ad entrambi i gruppi viene richiesto di ripetere delle frasi parlate (condizione non-fluente), cantate o ritmicamente scandite seguendo un tempo metronomico

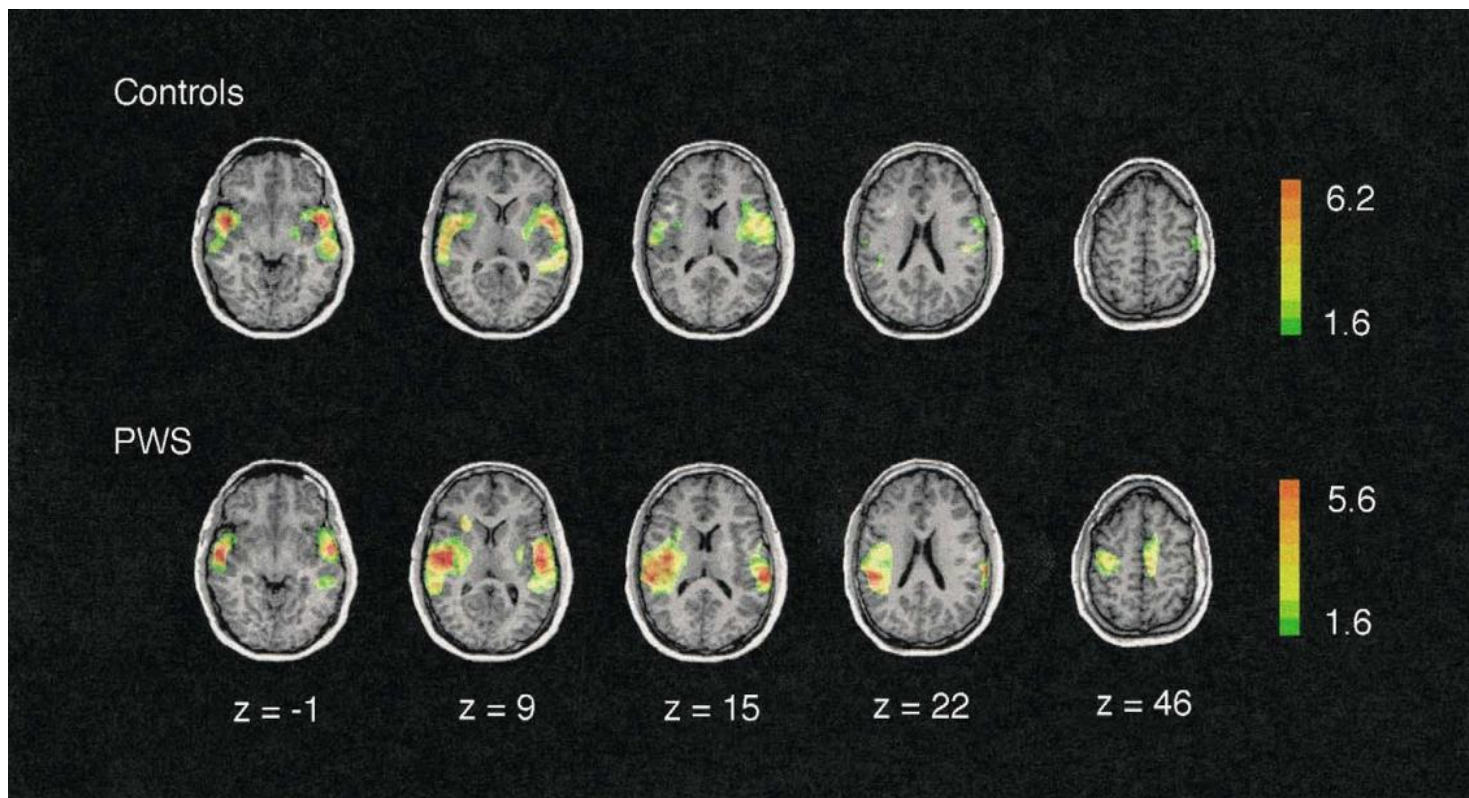
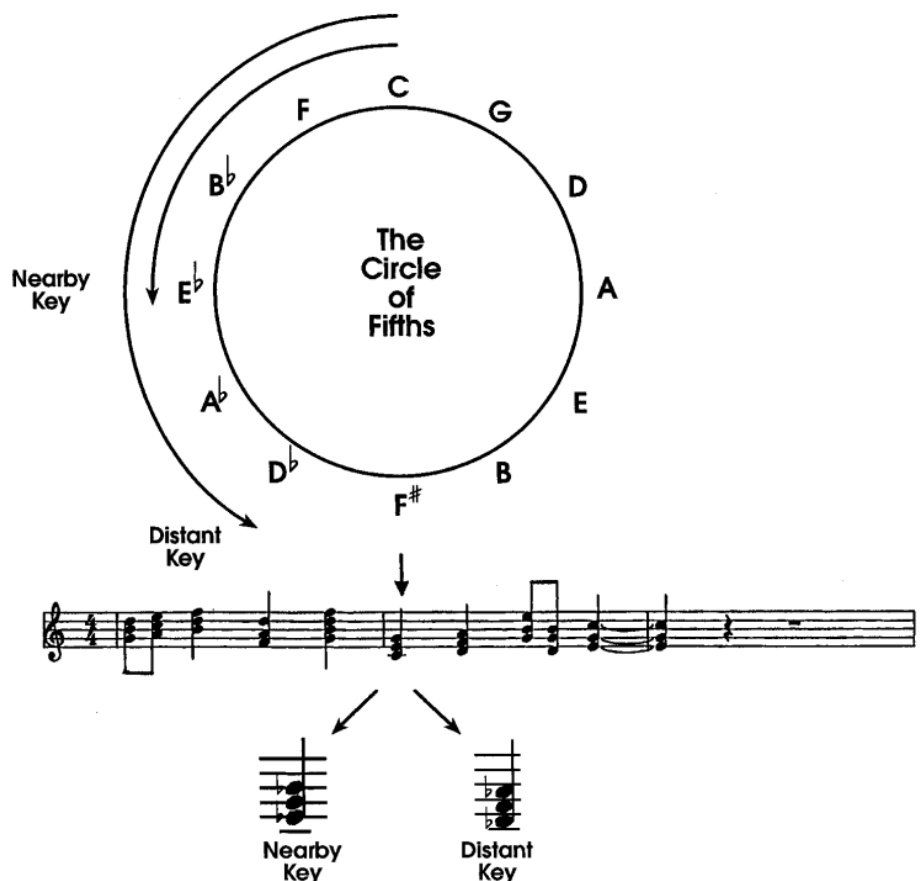


Figura 10 Incrementi mostrati nell'attività neurobiologica nelle condizioni fluenti rispetto a non-fluenti. Si evincono cluster di alterazione temporali (STG, STS), parietali (IPL, SII, insula), sottocorticali (putamen), motori e premotori (giro precentrale, SMA). Sopra le neuroimmagini dei controlli, sotto quelle dei pazienti.

(condizioni fluenti). Le neuroimmagini ricavate durante i task mostrano differenze significative nell'attività di molte strutture tra condizioni fluenti e non fluenti, sia nei pazienti che nei controlli (*Figura 10*). Di particolare rilevanza sono gli incrementi dell'attività in STG, nel giro precentrale ventrale, nel putamen, e in SMA, IPL, SII, insula, AC. Gli autori indicano che le condizioni che hanno favorito la fluenza dell'articolazione vocale hanno permesso una migliore codifica degli stimoli acustici tramite l'azione sinergica di strutture sensoriali e motorie. Sembra che il STG abbia, ad esempio, un ruolo nel facilitare il controllo e la modulazione vocale, sia durante il canto che durante l'ascolto del linguaggio parlato in condizioni di rumore. L'incremento dell'attività del giro precentrale, della SMA e del putamen, contestualmente a quella di STG, dimostra una codifica sensorimotoria che risulta più efficiente nelle condizioni di facilitazione rispetto al parlato normale, nei balbuzienti come nei controlli sani. Questo studio dimostra un'interazione tra le strutture dedicate alla codifica del linguaggio e quelle dedicate alla codifica di stimoli musicali. In particolare, lo studio riscontra il substrato neurale dei meccanismi di facilitazione che componenti musicali quali il ritmo e la melodia sono in grado di attivare, potenziando le capacità fonoarticolatorie altrimenti scarse nei pazienti che presentano balbuzie. Sembra quindi esserci una sovrapposizione nelle abilità che permettono il canto e la parola, mediata da aspetti temporali che facilitano anch'essi l'articolazione del linguaggio.

Se si riscontrano sovrapposizioni nella produzione vocale tra aspetti musicali e linguistici, è possibile che anche il solo ascolto dei due tipi di stimoli mostri delle corrispondenze nel tipo di codifica. Una ricerca condotta da Patel e colleghi (1998) ha utilizzato l'EEG per paragonare la codifica di queste tipologie di stimoli e verificare se ci fossero comunanze nei tipi di attività elettrofisiologica. In particolare, gli autori erano interessati a valutare se gli stimoli musicali evocassero una risposta di tipo P600, che si associa, in ambito linguistico, alla codifica degli aspetti sintattici di una frase. È stata eseguita una prima registrazione elettrofisiologica durante l'ascolto di stimoli prettamente linguistici, con tre frasi di cui una semplice, una complessa e una grammaticalmente scorretta. I risultati di queste prime registrazioni mostrano che una frase grammaticalmente scorretta o complessa, rispetto alla frase semplice, evocano attività elettrofisiologica significativamente più positiva, riscontrata posteriormente e in maniera bilaterale. La risposta P600 si associa alla frase complessa e a quella scorretta, e potrebbe perciò essere indicativa di uno sforzo interpretativo. L'apice di questa risposta è più tardivo in questa ricerca rispetto ad altre (picchi intorno agli 800/900ms), e secondo gli autori questa discrepanza potrebbe dipendere dalla presentazione acustica e non visiva delle frasi, che avrebbe un'influenza sui tempi di codifica. Nel secondo set di registrazione sono stati utilizzati stimoli musicali consistenti in brevi progressioni di accordi, con diversi gradi di consonanza in base alla teoria musicale occidentale. Come per le frasi, sono

Figura 11 Esempificazione del *circolo delle quinte*. Gli accordi tra loro adiacenti sono considerati armonicamente vicini anche se in un'altra tonalità (C, B \flat , E \flat o C, D, A), mentre quelli agli antipodi dello schema sono invece considerati lontani ed incoerenti tra loro (C, F \sharp o A, E \flat). Sotto, un esempio delle interpolazioni armoniche inserite dagli autori (da sinistra, mi bemolle e re bemolle al posto del do).



stati utilizzati tre esempi: uno con un accordo coerente con la tonalità, uno con un accordo in una tonalità diversa ma vicina a quella di partenza, e uno con un accordo in una tonalità più distante. La “distanza” è stata manipolata in base ad un costrutto musicale chiamato *circolo delle quinte*, che pone in relazione tra loro gli accordi maggiori in termini prossimali: un accordo considerato “vicino” si trova ad una distanza di pochi intervalli di quinta dal punto di partenza, mentre un accordo lontano si troverà a numerosi intervalli di quinta dal primo (*Figura 11*). Secondo gli autori questi stimoli potrebbero elicitare delle risposte analoghe al linguaggio per la componente P600: una crescente discrepanza rispetto alla tonalità originale potrebbe perciò evocare una più forte positività, similmente a quanto riscontrato per la complessità delle frasi. I risultati di queste ulteriori registrazioni confermano quanto teorizzato dal team: la crescente distanza armonica dall'accordo di riferimento è positivamente correlata all'entità della P600, sia nel confronto tra condizione di riferimento e distanza intermedia sia nel paragone tra stimoli con accordi distanti. In particolare, si riscontra una differenza significativa nel confronto tra condizione di riferimento e le due condizioni sperimentali. L'attività P600 nel caso dell'ascolto di stimoli musicali non è soggetta a latenze, e gli autori reputano che questo effetto sia dovuto alla codifica distinta per i singoli accordi, meno pronunciata nell'ascolto di frasi. Il team conclude che, salvo queste distinzioni nella latenza dell'onset, le attività P600 riscontrate per stimoli musicali e linguistici sono tra loro paragonabili. Una limitazione dello studio riguarda la partecipazione di musicisti, che in virtù della loro esperienza e conoscenza della sintassi musicale potrebbero avere delle similitudini più marcate rispetto alla popolazione generale per la codifica di stimoli musicali e linguistici. D'altra parte, gli autori difendono questa scelta metodologica in quanto permette una maggiore chiarezza interpretativa dei risultati.

Esistono studi che riscontrano similitudini nella codifica di musica e linguaggio anche in partecipanti non musicisti. Koelsch e colleghi (2004) indagano un'altra componente che si associa tipicamente al linguaggio: la N400. Essa consiste in un tipo di attività elettrofisiologica che si presenta in particolare durante la codifica semantica, e gli autori reputano che questo tipo di attività possa emergere anche durante l'ascolto di stimoli musicali oltre che linguistici. In particolare, sono interessati alla possibilità di un'interazione tra caratteristiche musicali e linguistiche nell'interpretazione semantica. Nel task sperimentale, i partecipanti avevano il compito di valutare se un priming musicale fosse o meno coerente con una parola presentata. Gli stimoli musicali sono stati estratti da composizioni classiche, ed associati alle parole in base a caratteristiche che rimandassero al significato testuale (ad esempio, l'associazione tra la parola “stretto” e la presenza di molte note tra loro ravvicinate) o lo contraddicessero (la parola

“stretto” e un estratto con note molto distanti tra loro). Oltre agli stimoli musicali, sono state anche utilizzate delle frasi come prime per le parole, in maniera tale da paragonare tra loro i due tipi di codifica (solo linguistica o linguistica e musicale). Manipolando la coerenza semantica tra il contenuto musicale e le espressioni lessicali presentate, il team si aspettava un’attività N400 legata all’attribuzione di significato semantico agli stimoli musicali. Gli aspetti comportamentali mostrano che i partecipanti sono stati in grado di associare correttamente la musica agli stimoli lessicali ad essa coerenti con buona accuratezza. I trial con stimoli solo lessicali mostrano un’attività N400 più ampia nei casi di incoerenza tra la frase prime e la parola target. Come ipotizzato, lo stesso tipo di attività si riscontra anche nei trial misti, con un priming musicale al posto di una frase. Questi risultati indicano che la codifica semantica a livello elettrofisiologico è invariata per stimoli linguistici e musicali, e che la musica stessa sia soggetta ad attribuzioni di significato rilevanti. Queste comunanze per l’interpretazione del significato dimostrano attività condivise per la comprensione lessicale e quella del contenuto musicale. In particolare, la semantica musicale sembra essere implicita, in quanto i partecipanti dello studio non avevano un’istruzione musicale e non conoscevano i brani che sono stati utilizzati durante il task. I processi di elaborazione per la musica e il linguaggio hanno quindi delle sovrapposizioni notevoli, sia nei musicisti che in popolazione generale. Una pubblicazione recente (Proverbio et al., 2022) indica anche la possibilità che la musica coinvolga pathway di elaborazione legati alla prosodia del linguaggio, e che la valenza negativa e positiva della musica siano sottese da meccanismi subneurali condivisi con l’elaborazione dell’affettività nel linguaggio.

Capitolo 3

APPLICAZIONI CLINICHE DELLA MUSICA

Le evidenze raccolte nel precedente capitolo dimostrano che la musica ha una forte rilevanza per la nostra specie. Dalle speculazioni in merito alle origini della produzione musicale a quanto riscontrato per le risposte elettrofisiologiche, neurobiologiche e neurochimiche che evoca in maniera robusta, è evidente che la musica possa rinforzare determinati pathway a partire dalla sola esposizione passiva. È stato osservato che esistono cluster di attività non solo sensoriali, ma anche legati al rilascio neurotrasmettitoriale e alla trasformazione sensorimotoria. A livello comportamentale si evince che la musica permette facilitazioni motorie sia in ambito clinico che sportivo, e vedremo che ha anche un ruolo importante nella regolazione della coesione sociale tramite il rilascio specifico di neurotrasmettitori rilevanti. Inoltre, è stato accennato come in alcuni disturbi della fonoarticolazione la musica sia facilitatoria, e permetta di potenziare l'attività motoria legata alla produzione vocale. Si può quindi supporre che la musica possa avere degli effetti benefici su molti disturbi, legati alla sfera affettiva, cognitiva e motoria. L'uso della musica è strumentale a finalità curative da tempo immemore, sotto forma di rituali in cui la danza e il ritmo leniscono una moltitudine di condizioni individuali e collettive, mistiche o pseudo-psichiatriche (Monteiro & Wall, 2011). Salvo questi usi cerimoniali, il consenso generale attribuisce la prima testimonianza della musica in ambito clinico a un articolo intitolato *Music Physically Considered*, risalente al 1789 e pubblicato in maniera anonima nel *Columbian Magazine* (Heller, 1987; Bosanquet et al., 2014; Howland, 2017). In quest'opera, per l'epoca rivoluzionaria e ancora oggi attuale, viene espressa la necessità di considerare gli effetti della musica sullo stato d'animo, in quanto utili per migliorare le condizioni affettive negative. Alcune pubblicazioni successive hanno un valore storico altrettanto rilevante, in quanto introducono tematiche inerenti alle metodiche di somministrazione musicale, in base alle necessità del paziente. Altee (1804), ad esempio, pubblica un'opera in cui argomenta la necessità di utilizzare la musica assecondando i gusti e lo stato d'animo dei pazienti, pensiero condiviso da Mathews e ripreso in un suo saggio inerente all'uso della musica come strumento riabilitativo (1806). Questo principio è stato ripreso dalla letteratura moderna in quello che viene definito *Iso Principle* (Altshuler, 1948), sulla base del quale viene profilata una selezione musicale preparata ad-hoc per le necessità dei pazienti. Oggi la musica viene impiegata in numerosi campi della riabilitazione clinica, che comprendono le

patologie neurodegenerative, molti disturbi psichiatrici e condizioni psicologiche, l'autismo, le patologie genetiche o perinatali, e molti disturbi a cui si associa la decorrenza cronica, tra cui lesioni che comportano dolore cronico e patologie oncologiche. Vedremo come la ricerca ha implementato la musica in queste patologie e come essa sembra influenzarne il decorso, portando non soltanto ad una migliore gestione dei disturbi ma ad effettivi miglioramenti, come si evince dalle evidenze di neuroimmagine che ne testimoniano la presenza.

3.1 Malattie neurodegenerative

Oggi più che mai si assiste alla necessità di interventi mirati per le patologie tipicamente associate alla sfera geriatrica. La medicina moderna ha permesso un incremento dell'aspettativa di vita nella maggior parte del pianeta, e deve ora confrontarsi con un'ulteriore sfida: garantire, oltre alla durata, un elevato standard per la qualità della vita negli anziani. Questo implica la necessità di fronteggiare problematiche inerenti alla degenerazione cellulare, che indebolisce gli anziani rendendoli soggetti a numerosi rischi per la loro salute. In particolare, nei pazienti della terza età si assiste sempre più di frequente alla presenza di demenze, disturbi quali l'Alzheimer e disfunzioni motorie tra cui il Parkinson. La musica sembra influenzare il decorso di questi disturbi, spesso con l'esito di un recupero parziale delle funzioni perse o di un miglioramento della costellazione di sintomi psicologici associati alle demenze. Lam e colleghi (2020) indagano l'effetto degli interventi musicali sulle demenze, prendendo in esame numerosi studi, review e metanalisi per ottenere un quadro complessivo delle evidenze disponibili. In alcune ricerche è stato riscontrato un miglioramento significativo delle capacità cognitive (Hong & Choi, 2011) e mnemoniche (Lord et al., 1993; Ceccato et al., 2012) in pazienti con una diagnosi di demenza, ma questi risultati sono relativamente isolati rispetto alla mole di ricerche in cui, invece, non si evidenziano cambiamenti per questi domini. Sono invece stati riscontrati miglioramenti robusti per le competenze linguistiche e riduzioni nella sintomatologia comportamentale e psichiatrica associata alla demenza: Lyu e colleghi (2018) hanno svolto una ricerca in cui hanno paragonato l'uso di trattamenti musicali con l'assenza di tali interventi nei malati di Alzheimer. I partecipanti sono stati divisi in tre gruppi, che svolgevano attività di canto (gruppo A), lettura di testi musicali (gruppo B) e attività non relate alla musica (gruppo C). I tre gruppi erano omogenei per numero di partecipanti e gravità del disturbo, e sono stati valutati all'inizio della ricerca, a tre mesi e a sei mesi sull'apprendimento uditivo, sulle funzioni cognitive, su aspetti neuropsicologici e psichiatrici e sul loro funzionamento nelle attività

quotidiane (vestirsi, mangiare, lavarsi, ecc.). Per il gruppo A, rispetto ai gruppi B e C, i risultati mostrano miglioramenti linguistici significativi in pazienti con un disturbo moderato, e una riduzione dell'agitazione e di manifestazioni psichiatriche legate all'Alzheimer anche nei pazienti più gravi. Nel gruppo C, che non ha svolto attività inerenti alla musica, non si evincono miglioramenti significativi. Nemmeno il gruppo B mostra miglioramenti: la condizione di sola lettura dei testi di canzoni, per quanto sia associata alla musica, non permette di ottenere gli stessi benefici legati al canto. Sulla base di queste evidenze, gli autori ritengono che sia l'effettiva componente musicale, melodica e ritmica, a potenziare le risorse dei partecipanti nel corso dello studio. A tre mesi dalla fine delle attività musicali i pazienti non sembrano avere ulteriori miglioramenti, e il team afferma che prolungare la durata di questi interventi potrebbe avere effetti più duraturi e profondi di quanto riscontrato durante lo svolgimento dello studio.

Tornando alla review di Lam e colleghi (2020), gli autori riscontrano un consenso diffuso per l'effetto della musica nel ridurre le manifestazioni ansiose e depressive associate alle demenze, ma, sulla base dei dati raccolti, non sembra invece esserci un effettivo potenziamento cognitivo o mnemonico associato alla musicoterapia per questi tipi di disturbi. D'altra parte, esistono evidenze che indicano una più robusta connettività funzionale negli anziani sani che ascoltano musica abitualmente. Ai e colleghi (2022) paragonano l'attività funzionale dell'insula in un gruppo di anziani (media 65 anni) in relazione alle loro competenze musicali, valutate con il *Goldsmith Musical Sophistication Index Questionnaire* (G-MSI). Scelgono di prendere in esame nello specifico questa struttura neurobiologica in quanto fa parte dei cluster di attivazione implicati nell'ascolto di musica e mostra attività differenziale in base all'esperienza musicale dei partecipanti. Ad esempio, è stata dimostrata una maggiore attività nell'insula destra di cantanti rispetto a non musicisti (Kleber et al., 2017) e una più elevata connettività funzionale in molte regioni insulari in coloro che hanno un'elevata esperienza musicale (Zamorano et al., 2017). Inoltre, l'insula è una struttura di particolare interesse nella popolazione geriatrica in quanto in essa hanno sede alcuni dei più precoci segnali di un accumulo di corpi di Lewy, che predispongono alla omonima forma di demenza (Philippi et al., 2020), ed è ipoattiva durante l'ascolto musicale nei pazienti con Alzheimer rispetto a un gruppo di controllo (Wang et al., 2020). Questa regione corticale potrebbe avere un ruolo cruciale nell'integrazione tra stimoli acustici e meccanismi di reward, ed una maggiore esposizione alla musica potrebbe rivelarsi un fattore protettivo per alcune patologie neurodegenerative, o, quantomeno, per alcuni dei sintomi ad esse associati. I risultati dello studio mostrano che a punteggi G-MSI più alti corrisponde una maggiore connettività dell'insula anteriore dorsale e ventrale con diverse strutture. In particolare, l'insula anteriore dorsale mostra connessioni più

Anterior Insula (AI) Seed-based functional connectivity x General musical score

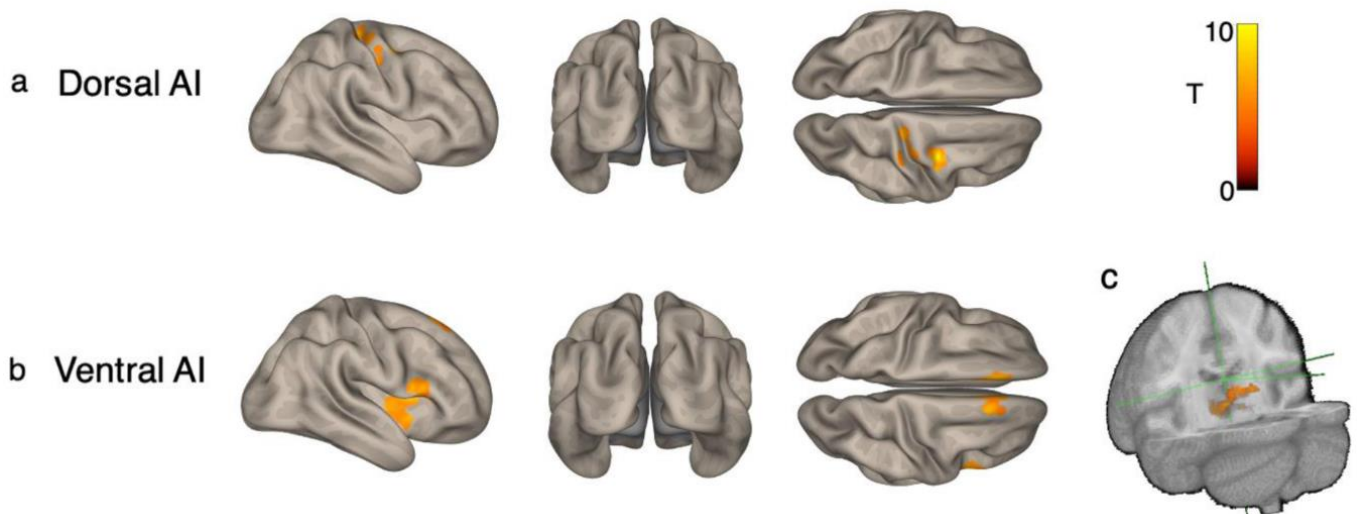


Figura 12 ROI nella connettività funzionale dell'insula anteriore (AI). **a** connessioni tra AI dorsale e zone precentrali e postcentrali. **b** connessioni tra AI ventrale e zone frontali, sia controlaterali che bilateralmente.

stabili con un cluster di zone precentrali e postcentrali, mentre l'insula anteriore ventrale ha forti legami con alcune strutture a destra, tra cui il giro frontale inferiore e l'opercolo frontale, con l'insula controlaterale, e bilateralmente con il giro frontale superiore e il talamo (Figura 12). Gli autori indicano che queste connessioni si esprimono in maniera più accentuata in chi presenta una maggiore esperienza musicale, valutata su diversi tipi di engagement (ascolto, canto, esperienza con strumenti musicali, coinvolgimento emotivo). La parte dorsale dell'insula anteriore sembra far parte di un network che la unisce a strutture deputate all'integrazione motoria delle informazioni sensoriali e al controllo motorio fine, mentre la parte ventrale ha anch'essa delle afferenze motorie, ma anche prettamente sensoriali (talamo) e implicate nelle funzioni esecutive (giro frontale superiore). Sembra quindi che chi mostra una maggiore affinità alla musica abbia una migliore interconnessione insulare con strutture motorie, sensoriali e cognitive, il che implica una migliore resilienza per quanto riguarda l'integrità delle risposte affettive e sensori-motorie che si riscontrano in queste aree.

Una recente ricerca indaga anch'essa la connettività funzionale negli anziani sani in relazione alla musica. A differenza di quanto già visto, Quinci e colleghi (2022) non eseguono uno studio basato sulle caratteristiche dei partecipanti, ma costruiscono un intervento musicale strutturato e ne valutano gli effetti a livello neurobiologico. Lo scopo dello studio è valutare se questo intervento abbia un effetto sulla connettività funzionale di alcune aree, in particolare nelle strutture implicate in quello che viene definito *Default Mode Network* (DMN). Questo network funzionale è associato ad attività aspecifiche che si esprimono durante stati di riposo, ed è stato riscontrato ripetutamente nelle condizioni di baseline durante gli studi di

neuroimmagine (Raichle, 2015). Le aree implicate dal DMN sono la zona prefrontale mediale (mPFC), il cingolo anteriore (PCC) e la giunzione temporo-parietale (TPJ), strutture che singolarmente si associano, rispettivamente, ad attività di mediazione con i meccanismi di reward, alla cognizione emotiva e alla trasformazione sensorimotoria multimodale. Per la ricerca sono stati reclutati dei partecipanti in età avanzata (media 66 anni circa) valutati tramite test cognitivi e neuropsicologici per stabilire l'assenza di deficit. Ogni partecipante ha creato una breve playlist, con brani in parte auto-selezionati in base al gusto personale e in parte scelti da un musicoterapista. Gli anziani hanno ascoltato giornalmente la playlist per la durata di 8 settimane, commentando i contenuti musicali in forma scritta e con incontri settimanali con il musicoterapista. Le neuroimmagini sono state ottenute prima e dopo l'intervento musicale, e sono state valutate le differenze nell'attività fMRI in base alla familiarità e alla gradevolezza degli stimoli. Inoltre, sono state considerate le modifiche connettomiche del DMN in relazione all'intervento musicale. I partecipanti mostrano, a livello comportamentale, una preferenza per gli stimoli familiari da loro selezionati rispetto a stimoli sconosciuti ma selezionati dal musicoterapista o ai brani sconosciuti. Sorprendentemente, sembra esserci una riduzione, nel tempo, del punteggio di gradevolezza per stimoli che non fossero auto-selezionati: l'esposizione a questi brani nel corso del periodo di studio non ne aumenta il godimento ma, anzi, lo riduce. Questi risultati si associano ad un rating di familiarità che rimane invariato durante l'intervento, influenzando i punteggi di gradevolezza complessivi. Per quanto riguarda le neuroimmagini relative alle dimensioni di familiarità e gradevolezza, sono stati riscontrati cluster di attivazioni specifici con attività a livello temporale (STG, STS e giro medio temporale, MTG). La gradevolezza, in particolare, è relata all'attività di molte strutture del circuito DMN (mPFC, PCC e TPJ), mentre la sola familiarità degli stimoli evoca, oltre alle zone temporali, attività del PCC e del giro precentrale, ma non di altre strutture. Il paragone tra inizio e fine dell'intervento musicale mostra aumento nella connettività tra zone uditive (giro di Heschl, STG, STS) e la mPFC. In particolare, questi aumenti sono evidenti solo nelle condizioni post-intervento in cui i partecipanti ascoltano brani auto-selezionati, e non per la musica conosciuta o sconosciuta selezionata dal musicoterapista. Gli aumenti di connettività tra aree uditive e il circuito DMN indica secondo gli autori la possibilità che siano implicati anche degli aspetti autobiografici, che si associano all'attività di alcune porzioni del circuito, in particolare la mPFC. Questo permette di spiegare, almeno in parte, la forte aderenza tra l'ascolto musicale e la memoria episodica a lungo termine. Il presente studio ha riscontrato degli effetti nella connettività funzionale dovuti alla musica, specie in relazione a stimoli musicali soggettivamente piacevoli e familiari. Questo permette di affermare che gli interventi basati

sulla musica (MBI) non hanno soltanto effetti comportamentali, ma mostrano anche un potenziamento nell'interconnessione tra aree uditive, sensori-motorie e legate ai meccanismi dopaminergici di reward: gli MBI sono quindi in grado di generare modifiche neurobiologiche robuste nei soggetti sani.

In ambito clinico sono stati riscontrati ripetutamente deficit legati alla codifica motoria nel Parkinson, dovuti ad ipoattività dei gangli della base e alla ridotta produzione di dopamina. Data l'implicazione di molte di queste strutture nell'ascolto musicale, è possibile che si manifestino problematiche anche nelle capacità di entrainment e di percezione di stimoli musicali, oltre, come noto, a quelle riscontrate nel controllo motorio fine. Grahn e Brett (2009) indagano questi deficit specifici in uno studio, valutando le competenze ritmiche in pazienti con Parkinson. Sono stati reclutati quindici pazienti affetti dal disturbo e quindi soggetti sani come gruppo di confronto, e i due gruppi sono stati valutati in task di discriminazione ritmica. Gli stimoli utilizzati presentavano figure ritmiche con 5, 6 o 7 intervalli temporali, ed erano suddivisi in due condizioni, una di modulazione metrica semplice e una complessa (*Figura 13*). Il task sperimentale consisteva nell'ascoltare gli stimoli ritmici due volte, e paragonarli ad un terzo stimolo presentato successivamente. I partecipanti avevano il compito di valutare se il terzo ritmo presentato fosse uguale o diverso dai due stimoli precedenti, utilizzando una tastiera del computer per le risposte comportamentali ("s" per indicare un ritmo uguale, "d" per un ritmo diverso). Gli autori predicono che i partecipanti sani mostrino prestazioni migliori nella discriminazione di sequenze ritmiche con modulazione metrica semplice rispetto a quelle con modulazione metrica complessa, e che questo effetto di facilitazione non si riscontri nei pazienti affetti da disturbo di Parkinson.

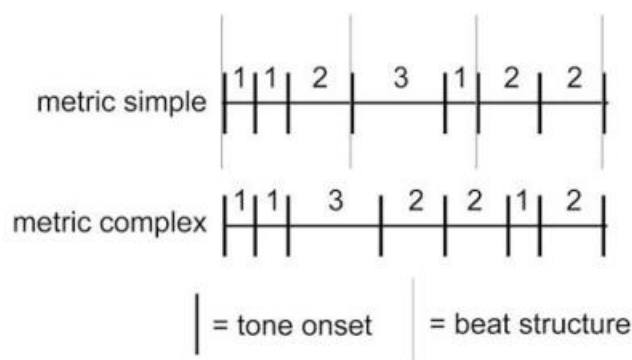


Figura 13 Esempio di due ritmiche presentate durante i task sperimentali. Sopra un esempio di una modulazione metrica semplice, con suddivisioni della battuta in quattro parti uguali. Sotto la modulazione metrica complessa, che invece non utilizza una suddivisione strutturale equa degli intervalli.

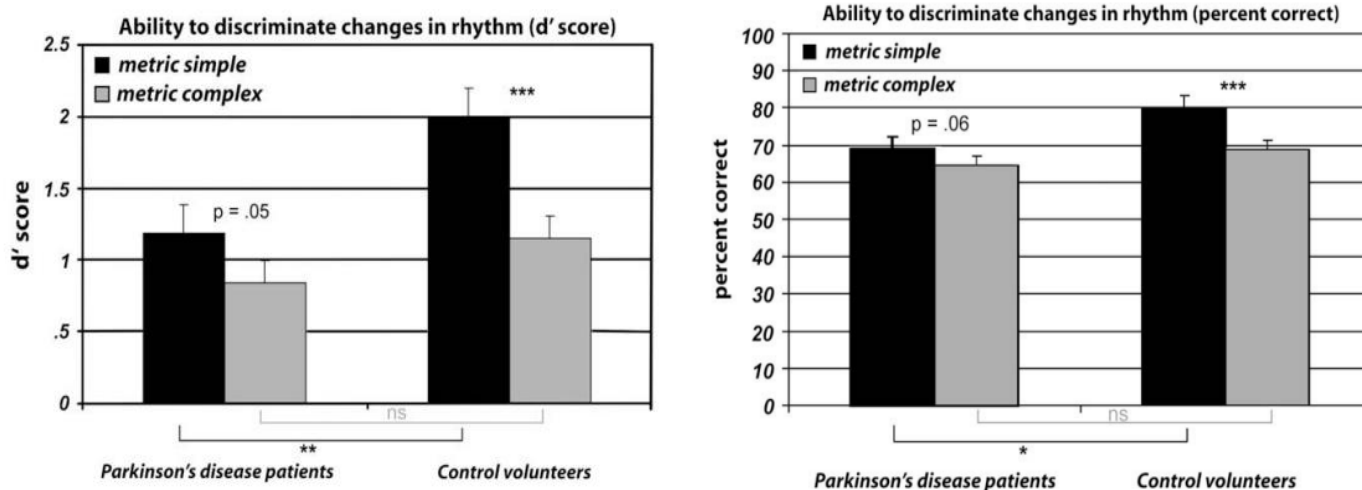


Figura 14 Grafici che mostrano le differenze tra pazienti con Parkinson e controlli nella discriminazione di stimoli ritmici. Nei controlli la suddivisione equa delle pulsazioni ritmiche permette una facilitazione nel task, nei pazienti non ci sono differenze tra condizioni. **Destra** distanza d' confrontata tra pazienti e controlli per le due condizioni. **Sinistra** discriminazioni corrette in percentuale tra condizioni e gruppi.

I risultati dello studio mostrano che il gruppo di controllo ha delle prestazioni migliori nella discriminazione di stimoli ritmici con una suddivisione metrica equa rispetto agli stimoli complessi (Figura 14). Questo effetto facilitatorio non si riscontra invece nei pazienti affetti da malattia di Parkinson, che hanno prestazioni paragonabili nelle due condizioni. A livello comportamentale, quindi, i pazienti con Parkinson sembrano mostrare deficit nella percezione di una pulsazione ritmica regolare, e gli autori sostengono che queste difficoltà siano associate ai deficit motori che caratterizzano il disturbo. Si potrebbe quindi pensare che un training musicale specifico potrebbe permettere miglioramenti non soltanto nella percezione ritmica, ma anche nella codifica motoria, riducendo alcune espressioni sintomatologiche del Parkinson. Krotinger e Loui (2021) implementano un corso di danza in un gruppo di pazienti affetti dal disturbo nell'arco di quattro mesi. I partecipanti, una parte dei quali pazienti Parkinson e una parte confronti sani, sono stati valutati sulle competenze di percezione ritmica e su alcuni aspetti neuropsicologici prima dell'inizio del corso. In seguito, solo i malati di Parkinson hanno partecipato al corso di danza: gli autori ipotizzano che il miglioramento delle loro competenze ritmiche si associasse ad una riduzione dei loro sintomi. I risultati della fase iniziale dello studio mostrano, come previsto, una differenza significativa nelle abilità ritmiche dei pazienti rispetto ai controlli sia nella discriminazione di stimoli ritmici diversi, sia in un task di tapping, con prestazioni marcatamente inferiori nei pazienti con Parkinson. I partecipanti dello studio sono anche stati confrontati in base alle esperienze musicali, ed è stato riscontrato che entro il gruppo di pazienti chi aveva simili esperienze mostrava prestazioni migliori nel task di percezione ritmica rispetto a chi non aveva ricevuto istruzione musicale o di ballo. Dopo il corso di danza,

il task di tapping mostra un miglioramento nelle prestazioni dei pazienti rispetto a quanto riscontrato prima del corso: sembra che i partecipanti mostrino meno latenza nella sincronizzazione, che risulta potenziata dopo l'intervento indicando una migliore codifica sensorimotoria. Inoltre, la valutazione sintomatologica prima e dopo l'intervento mostra dei punteggi più bassi in seguito al corso di danza, indicando un generale miglioramento del disturbo. Se da un lato si potrebbe argomentare che un corso di danza abbia agito sulle competenze motorie in generale, senza che gli aspetti ritmici in esso implicati siano rilevanti, dall'altro il miglioramento della sintomatologia dei pazienti si associa ad una migliore codifica del ritmo. Questo porta a concludere che un intervento basato sulla percezione musicale e ritmica possa effettivamente permettere una regressione, seppur parziale, del disturbo di Parkinson. Gli autori sostengono che interventi simili, basati sulla danza, possano essere molto utili in futuro, sia da un punto di vista clinico che neuroprotettivo, sui pazienti affetti da disturbo di Parkinson e, potenzialmente, anche in altre popolazioni cliniche.

La musica sembra, quindi, avere degli effetti rilevanti sulla popolazione geriatrica, in quanto l'ascolto o la produzione musicale si associano ad incrementi nel volume corticale di molte strutture, e ad una migliore connettività funzionale a livello sensorimotorio e affettivo/motivazionale. Se da un lato gli MBI sono utili al miglioramento del benessere psicologico e psichiatrico nei pazienti affetti da demenze, dall'altro mostrano enorme potenziale per la riduzione di sintomi associati a disturbi motori quali la malattia di Parkinson. Questo disturbo colpisce in maniera indiretta molte delle aree finora descritte negli studi inerenti alla connettività funzionale, e l'implementazione della musica per il trattamento di questo e di altri disturbi motori può permettere benefici sia nella prevenzione che durante il decorso della malattia, migliorando la qualità della vita dei pazienti e riducendo le espressioni sintomatologiche.

3.2 Autismo e neurodiversità

In questa parte verranno prese in esame le applicazioni cliniche della musica in persone con neurodivergenze, condizioni geneticamente determinate che si presentano alla nascita ed influenzano la codifica sensoriale e motoria degli stimoli in diversi modi, con effetti debilitanti sulla regolazione sociale ed il quoziente intellettivo o problematiche specifiche rispetto alla scrittura, alla lettura o al calcolo. Verranno presi in esame alcuni di questi disturbi, con brevi descrizioni delle loro caratteristiche specifiche e la presentazione di ricerche in merito agli effetti della musica sul loro decorso.

L'autismo, in particolare nelle sue forme più gravi, è tra le neurodivergenze più debilitanti che siano state riscontrate in letteratura. Seppure esistano resoconti aneddotici di bambini che presentano un quadro simile a quello dell'autismo risalenti al 1799 (Haslam, 1809/1979) la sua prima definizione clinica fu introdotta da Kanner nel 1943. Un anno dopo, Asperger riscontrò dei quadri clinici simili in alcuni bambini, sebbene fossero tendenzialmente più funzionali e avessero un QI più elevato: questo portò ad una distinzione tra l'autismo e quello che venne definito disturbo di Asperger, ma oggi si ritiene che le due patologie siano entrambe rappresentative di diverse forme di autismo. Secondo quanto riportato nel DSM-V, il disturbo è caratterizzato da problematiche nell'interazione sociale, stereotipie motorie, rigidità nelle abitudini e negli interessi, iper o iposensibilità agli stimoli e ritardo cognitivo. Questi deficit possono presentarsi in forme lievi in pazienti che vengono definiti ad alto funzionamento, permettendo loro di svolgere una vita relativamente normale, o in forme gravi, risultando in situazioni di disabilità e mancanza di autonomia. Gli aspetti neurofunzionali del disturbo indicano la possibilità di deficit nella codifica sensorimotoria, con una ridotta attività premotoria nell'organizzazione dei movimenti e nella codifica mirror (Rizzolatti et al., 2009). D'altra parte, esistono evidenze che descrivono un'attività mirror più elevata in pazienti autistici ad alto funzionamento rispetto ad un gruppo di controllo (Perkins et al., 2015), mostrando che i deficit legati alla codifica motoria sono complessi da definire data l'eterogeneità del disturbo. La musicoterapia è spesso utilizzata con la popolazione autistica, in quanto sembra avere degli effetti sulla cognizione sociale (Finnigan & Starr, 2010) e nel miglioramento delle capacità comunicative (Wan et al., 2011). Data l'implicazione di molte strutture sensorimotorie nell'ascolto e nella produzione musicale, è possibile che gli interventi di musicoterapia possano migliorare le competenze sociali grazie ad un potenziamento di queste strutture, permettendo lo sviluppo di risorse adattive più robuste nella comprensione motoria e affettiva dell'altro.

Sharda e colleghi (2018) indagano la possibilità che la musica migliori le competenze sociali implementando un intervento di musicoterapia della durata di 8-12 settimane e valutando cambiamento comportamentali e neurobiologici in bambini con autismo. Sono stati selezionati due gruppi di pazienti, uno dei quali ha partecipato all'intervento musicale mentre l'altro ha svolto attività alternative, e sono state raccolte le loro neuroimmagini prima e dopo l'intervento. I risultati della ricerca mostrano che i due gruppi, dopo il periodo di attività, presentano differenze nei punteggi di due test: uno inerente alle competenze comunicative (*Children's Communication Checklist*) e uno che valuta la qualità della vita in ambito familiare (*Family Quality of Life*). I bambini che hanno svolto le attività musicali mostrano un

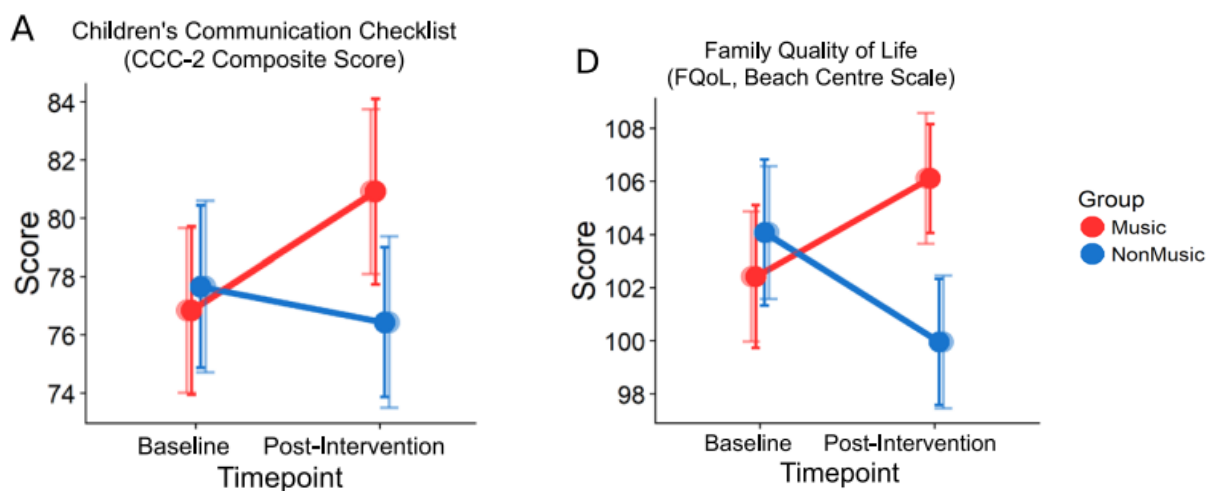


Figura 15 Grafici che rappresentano la differenza dei punteggi prima e dopo l'intervento musicale (rosso), e non musicale (blu). **A** punteggi del *Children's communication Checklist*. **D** punteggi per la qualità della vita in ambito familiare.

miglioramento in entrambe le dimensioni, con punteggi più elevati rispetto al gruppo di controllo e un'interazione significativa rispetto all'inizio dello studio (Figura 15). Anche le neuroimmagini mostrano differenze significative tra i due gruppi dopo l'intervento, con una maggiore connettività tra il giro di Heschl bilaterale e alcune strutture motorie e sottocorticali nei bambini che hanno svolto attività musicali. Inoltre, queste differenze correlano positivamente con l'incremento dei punteggi nel test inerente alle competenze comunicative. I bambini che hanno svolto attività musicali mostrano anche riduzioni nella connettività funzionale tra il giro di Heschl destro e alcune aree visive, anch'esse correlate con i miglioramenti comunicativi sopra riportati. Secondo gli autori l'aumento della connettività tra il giro di Heschl e le zone motorie ha effetti positivi sulle competenze sensorimotorie. La riduzione di connessioni tra il giro di Heschl destro e le zone implicate nella codifica visiva si associa anch'esso a dei miglioramenti, in quanto queste strutture sono solitamente iperconnesse nei bambini con autismo, causando in parte la rigidità di codifica sensoriale e comportamentale che influisce sulle competenze linguistiche. Queste evidenze dimostrano che la musica ha effetti comportamentali e neurobiologici sui bambini con autismo, e che la sua implementazione migliora alcune delle competenze tipicamente deficitarie nel disturbo.

La musica può quindi portare a dei vantaggi in questa popolazione clinica, e potrebbe avere degli effetti anche su altri tipi di neurodivergenze. I pazienti affetti da ADHD, ad esempio, sembrano avere dei benefici dalla musicoterapia. Questo disturbo è caratterizzato da difficoltà che impediscono il normale svolgimento di attività che richiedono concentrazione, e può avere delle conseguenze sulla vita accademica, lavorativa e sociale. Chi soffre di ADHD è soggetto a problematiche attentive rilevanti, e spesso riporta difficoltà nel finire un'attività sulla base del

bisogno impellente di iniziarse un'altra o a causa di forte distrazione, che spesso dipende da stimoli normalmente irrilevanti. Questa popolazione clinica ha problemi nella regolazione motoria, in quanto il movimento è spesso eccessivo, afinalistico, e inappropriato al contesto, specie nei bambini. Inoltre, i comportamenti di chi ha questo disturbo sono spesso impulsivi, e portano a compiere gesti che causano frequentemente ripercussioni sociali o personali, ad esempio nel rompere o danneggiare oggetti. Al disturbo spesso sono associati anche cambi d'umore repentini, che influiscono sulla qualità della vita e aumentano le difficoltà attenzionali. La diagnosi di ADHD si esegue in base a tre sottocategorie del disturbo: l'ADHD-I, in cui prevale la componente dei deficit attenzionali, ADHD-H, in cui si riscontra perlopiù iperattività motoria a livello comportamentale, e ADHD-C, che rappresenta una commistione dei due elementi in un disturbo complesso. Le alterazioni neurobiologiche a cui si assiste nel disturbo riguardano diverse strutture, descritte in una review da Mehta e colleghi (2019): la PFC, il cervelletto, la SMA, il talamo e alcune porzioni dei gangli della base e dello striato. Le alterazioni delle aree più frontali si associano alle difficoltà attentive, aggravate ulteriormente dalle attività anomale a livello striatale, in particolare nel NAcc, che influiscono sulla funzionalità del sistema dopaminergico. Le disfunzioni striatali esercitano effetti anche su aspetti dell'ADHD quali l'impulsività, la distraibilità e la necessità di ricompensa immediata. Le problematiche relative alle disfunzioni nella SMA e nel cervelletto si riflettono invece sulla componente iperattiva del disturbo, in particolare la disregolazione motoria, e potrebbero avere un'influenza sulla cognizione sociale nella codifica motoria dei movimenti altrui. Viene anche riportata una disfunzionalità del lobo parietale inferiore, implicato nell'integrazione sensorimotoria. Abbiamo visto che molte di queste strutture vengono attivamente coinvolte dalla musica, indicando la possibilità che gli interventi musicali possano agire sugli aspetti disfunzionali del disturbo, a livello sia comportamentale che neurobiologico. Pelham e colleghi (2011) eseguono uno studio per valutare gli aspetti inerenti alla distraibilità in un gruppo di bambini con ADHD, confrontati con dei controlli sani di età paragonabile. I due gruppi sono stati paragonati tra loro per verificare differenze nel grado di distraibilità: durante lo svolgimento di lezioni, introdotte precedentemente all'inizio dello studio, sono state manipolate due variabili di disturbo. La prima consisteva nella proiezione di video (film e cartoni animati), la seconda nella riproduzione di musica da una stazione radio, e le due condizioni sono state paragonate allo svolgimento delle lezioni in assenza di distrattori. Le lezioni facevano parte di un programma educativo della durata di otto settimane, e le condizioni di disturbo sono state inserite nelle ultime tre settimane. Oltre a paragonare tra loro il gruppo di bambini con ADHD e i controlli, gli autori fanno anche dei confronti tra condizioni, per valutare quale di essere sia

più influente sulla concentrazione dei bambini. È stato riscontrato che i bambini di entrambi i gruppi hanno avuto maggiori difficoltà nell'esecuzione di attività didattiche in presenza di stimoli video, con una differenza significativa per quanto riguarda la distrazione dei bambini con ADHD rispetto ai controlli: in questo gruppo si evince un livello di concentrazione più basso rispetto ai controlli per questa condizione. La musica sembra non avere questo effetto, né sui bambini sani né all'interno del gruppo di bambini neurodivergenti. Alcuni dei partecipanti all'interno del gruppo ADHD hanno, anzi, visto un miglioramento nella concentrazione in presenza di musica. Sulla base di questa evidenza, gli autori hanno condotto una seconda indagine in cui hanno valutato l'effetto della sola musica, in assenza di video distrattori, per verificare l'entità del miglioramento nei livelli di attenzione mostrati. In questo ulteriore esperimento sono stati selezionati solo i bambini affetti da ADHD, e sono state replicate le condizioni del primo rimuovendo la condizione video. Sono state osservate nuovamente delle riduzioni nella distraibilità di alcuni dei bambini in presenza di musica rispetto alla condizione di silenzio. Il team argomenta la possibilità che i partecipanti allo studio si suddividano in tre gruppi: coloro che migliorano le loro prestazioni in presenza di musica, coloro che le peggiorano, e una maggioranza consistente in cui la musica non ha effetti sul grado di distraibilità. Viene proposta la possibilità che gli effetti deleteri degli stimoli video sulla concentrazione siano dovuti alla loro maggiore salienza percettiva, in quanto coinvolgono in maniera importante il sistema visivo tramite la presenza di colori forti e movimenti. Inoltre, durante la ricerca gli stimoli video contenevano anche informazioni uditive, in forma linguistica e musicale. Gli autori concludono consigliando l'uso della musica per bambini affetti da ADHD durante le attività scolastiche, a scuola e a casa, in quanto sembra agire negativamente sulla loro concentrazione soltanto in poche istanze ed è perlopiù ininfluente o, in alcuni casi, positiva per il loro rendimento accademico.

Uno studio precedente a quello sopra riportato indaga gli effetti dell'ascolto di musica sull'iperattività motoria dei bambini con ADHD. Cripe (1986) intende verificare l'effetto della musica rock in un gruppo di bambini che presentano il disturbo sulla base di tre premesse teoriche. Primo, la musica è in grado di ingaggiare l'attenzione in maniera stabile, con conseguente aumento della concentrazione rispetto allo stimolo e attività elettrofisiologiche analoghe a quelle che si riscontrano in controlli sani. Secondo, la presenza di un ritmo costante ed invariato permette una riduzione della distraibilità, e, in più, nel rock spesso non si presentano elementi con una salienza tale da deviare rispetto al contesto sonoro dei brani. Terzo, l'ascolto di musica in popolazione tende a ridurre la tensione muscolo-scheletrica, di norma iperattivata nei bambini con ADHD rispetto ai confronti sani. Durante la fase sperimentale, i

bambini reclutati per lo studio, tutti in età prescolare, hanno ascoltato estratti di brani rock in cuffia. I risultati della ricerca mostrano effetti significativi sul movimento durante le fasi di ascolto rispetto alla baseline: sembra che i bambini abbiano una riduzione dei comportamenti motori associati al disturbo durante l'ascolto di musica rock. Questi dati indicano un effetto di questo genere musicale, e possibilmente della musica con ritmi regolari in generale, sulle caratteristiche motorie dell'ADHD. In una recente ricerca, Kasuya-Ueba e colleghi (2020) confermano che la musica influisce positivamente anche sulle capacità attentive, utilizzando uno studio in cui vengono confrontate attività musicali con un videogioco. Nei due tipi di attività si riscontrano differenze significative, con una maggiore facilitazione nel mantenimento e nel controllo esecutivo dell'attenzione nei trial musicali, dimostrando un effetto della musica sull'engagement attenzionale tale da superare quello di un videogioco. Ulteriori applicazioni di interventi musicali hanno validato la potenzialità del loro effetto migliorativo sui bambini con ADHD, con una ricerca (Cancer et al., 2014) in cui sono stati riscontrati potenziamenti sia attentivi/cognitivi, sia riduzioni del movimento e dell'impulsività. In ambito neurobiologico, è di particolare rilevanza una metanalisi eseguita da Cortese e colleghi (2016) in cui si riscontra, in numerosi studi di neuroimmagine, l'ipofunzionalità del putamen durante l'ascolto musicale in persone con ADHD, struttura coinvolta nei processi di codifica sensorimotoria del ritmo. Gli autori riportano anche una ridotta funzionalità del nucleo caudato destro durante l'ascolto di musica, e a riguardo commentano che potrebbe dipendere da problematiche cognitive inerenti all'ascolto di stimoli musicali. La letteratura riguardante questo disturbo fornisce, nel complesso, degli esempi in cui la musica sembra essere un fattore facilitante, in quanto migliora la concentrazione e riduce la distraibilità e l'iperattività motoria comportamentale. Per quanto i risultati delle ricerche siano talvolta ambigui, sembra che gli interventi musicali possano contribuire verso il miglioramento di alcuni aspetti sintomatologici dell'ADHD.

Per concludere questa parte, verrà trattata un'altra forma di neurodivergenza: la dislessia. Questo disturbo fu descritto per la prima volta da Berlin nel 1877, e venne da lui coniato il termine *Wortblindheit*, tradotto letteralmente in "cecità per le parole". Il disturbo è stato inizialmente attribuito a problematiche neuropsicologiche, quali la presenza di lesioni o patologie cerebrali, ma grazie al contributo di alcuni medici inglesi sono stati osservati dei casi di cecità per le parole anche in alcuni bambini e adolescenti, riducendo la possibilità che avessero incontrato problematiche neuropsicologiche specifiche per un simile deficit. Hinshelwood, Kerr e Pringle Morgan, nei primi del Novecento, riportano in maniera indipendente dei casi di problematiche relative alla lettura e alla scrittura in pazienti giovani, permettendo una svolta nel modo in cui il disturbo fosse allora concepito (Kirby, 2018). Questo

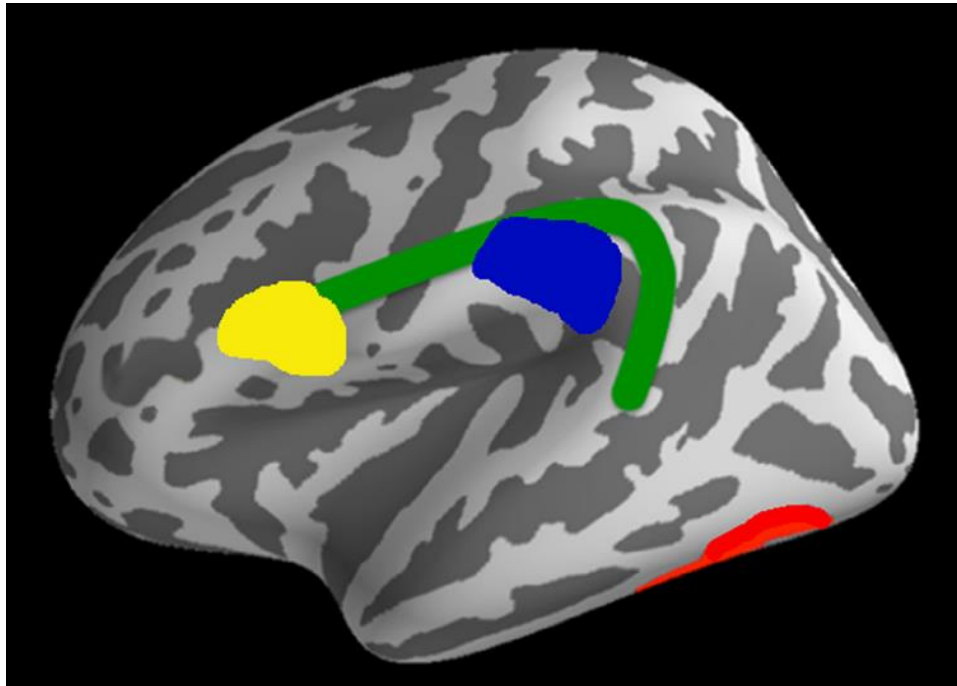


Figura 16 Schematizzazione delle strutture compromesse nella dislessia. In giallo il giro frontale inferiore, in blu il lobulo parietale inferiore, in verde il fascicolo arcuato, e in rosso il giro fusiforme.

permise di definire la dislessia come una condizione geneticamente predeterminata, che risulta in deficit specifici per la codifica del linguaggio scritto e, talvolta, parlato. Le problematiche che si riscontrano in questo disturbo si esprimono con forti difficoltà di lettura, che possono avere un impatto sulla vita scolastica e accademica. La dislessia fa parte di una costellazione di condizioni neurodivergenti, inerenti a problematiche nell'ambito scolastico che riguardano la scrittura (disgrafia), l'ortografia (disortografia) e l'aritmetica (discalculia). I criteri diagnostici inerenti al disturbo, riportati nel DSM-V, indicano la presenza di problematiche inerenti alla lettura (Criterio A) e al rendimento scolastico (Criterio B). La dislessia si riscontra perlopiù in età scolare, ma è anche possibile che non si manifesti prima dell'adolescenza, in quanto variano le competenze tra individui e per alcuni le difficoltà scolastiche sono più debilitanti che per altri (Criterio C). Norton e colleghi (2014) raccolgono alcune evidenze inerenti agli aspetti neurobiologici disfunzionali nella dislessia. Vengono sottolineate attività anomale nell'emisfero sinistro, in particolare nel giro frontale inferiore, nel fascicolo arcuato e nel lobulo parietale inferiore, oltre a problematiche nella codifica visiva a livello del giro fusiforme (*Figura 16*). Ulteriori evidenze di neuroimmagine hanno anche stabilito differenze tra popolazione con e senza dislessia nell'attività del cervelletto, e alcune ricerche di DTI hanno riscontrato, oltre alle problematiche di codifica del fascicolo arcuato, anche disfunzioni del fascicolo longitudinale superiore e della corona radiata. Norton e colleghi fanno riferimento alla possibilità che questi deficit emergano soltanto in task di lettura con un gruppo di controllo

sano, accentuandone l'entità. D'altra parte, argomentano che esistono ricerche in cui le persone con dislessia presentano ipofunzionalità anche se confrontati con persone che hanno abilità di lettura paragonabili, di solito bambini di età inferiore. Questo indica che le cause della dislessia siano effettivamente di origine neurobiologica, influenzando porzioni importanti del circuito linguistico che permettono l'integrazione sensoriale multimodale a livello temporo-parieto-frontale e limitando il riconoscimento immediato delle parole nel giro fusiforme. Nella review vengono anche incluse evidenze di problematiche prettamente percettive, in quanto, a confronto con i soggetti sani, i dislessici presentano una ridotta o assente mismatch negativity in presenza di stimoli acustici incongrui. Il disturbo è quindi caratterizzato da diversi cluster disfunzionali a livello neurobiologico, che dipendono da variazioni di origine genetica e ne so ttendono l'onset nel corso dell'ontogenesi.

Esistono evidenze di associazioni tra i deficit sopra descritti e problematiche inerenti alla corretta codifica di stimoli musicali. Forgeard e colleghi (2008) svolgono uno studio in cui confrontano tra loro bambini con e senza dislessia in un compito di discriminazione sonora. In particolare, viene presa in esame l'esperienza musicale nel campione complessivo come fattore potenzialmente facilitante nel task, e i bambini sono stati valutati sulle competenze fonologiche e di lettura. Si evincono prestazioni migliori nei bambini normolettori, sia nel task sperimentale sia nelle competenze inerenti alla lettura, rispetto al gruppo di bambini con dislessia. I risultati della ricerca mostrano una relazione diretta tra le capacità di discriminazione musicale e le competenze legate alla lettura e agli aspetti fonologici indagati. Inoltre, questa relazione sembra essere più forte nei partecipanti con esperienza musicale rispetto ai loro pari, in entrambi i gruppi considerati. Quanto riscontrato dagli autori indica un effetto positivo dell'esperienza musicale sulle capacità fonologiche e di lettura, e dimostra la presenza di una linearità diretta tra le competenze musicali e linguistiche sia in popolazione che nei bambini con dislessia. Lo studio a conclude che la musica possa effettivamente influenzare le competenze inerenti alla lettura nella dislessia, e suggerisce di implementare interventi musicali mirati per questa popolazione clinica. Un simile intervento è stato proposto da Habib e colleghi (2016), in una ricerca che ha valutato le competenze inerenti alla discriminazione musicale e alla percezione categoriale in bambini con e senza dislessia. Il team implementa un metodo chiamato *Cognitive-Musical Training* (CMT), durante il quale vengono proposte delle attività di ascolto e di produzione musicale per un breve periodo temporale (3 giorni). La percezione categoriale è stata valutata su due task, uno inerente alla discriminazione di sillabe e uno in cui i bambini dovevano indicare la presenza di un eccesso di lettere nelle parole presentate (gli autori utilizzano come esempio la parola francese *canapé*, che nel task presentano erroneamente come

canaapè). Per valutare le capacità discriminative in ambito musicale sono stati utilizzati alcuni brani molto conosciuti, presentati in quattro versioni differenti: senza variazioni rispetto all'originale, con variazioni nella melodia, con variazioni armoniche, e con l'inserzione di note al di fuori del contesto melodico e armonico. Dopo l'implementazione del CMT, lo studio mostra un miglioramento nei test per le competenze di percezione categoriale da parte dei bambini con dislessia. All'inizio dello studio, i bambini normolettori mostravano competenze significativamente migliori nel task di discriminazione sillabica rispetto al gruppo clinico, ma queste differenze si riducono considerevolmente dopo l'intervento. È stato riscontrato un effetto simile per il task di "allungamento" delle parole, in cui, sebbene rimanga una differenza tra i due gruppi, i soggetti con dislessia mostrano miglioramenti significativi. Le prestazioni nel test sulla discriminazione musicale non dimostrano invece un potenziamento nelle competenze del gruppo clinico dopo il CMT rispetto all'inizio dello studio. Gli autori svolgono un'ulteriore indagine per valutare gli effetti del CMT su una durata di sei settimane, ipotizzando che si verifichino miglioramenti più robusti di quelli già riscontrati per la percezione categoriale. In questo secondo esperimento si assiste alla sola partecipazione dei bambini con dislessia, e ai test sopra descritti ne vengono aggiunti molti altri, relativi a funzioni attentive, visuo-spaziali, di elaborazione ritmica e inerenti alla consapevolezza fonologica, oltre a batterie testali specifiche per velocità ed accuratezza di lettura. Anche in questa indagine, gli autori riscontrano miglioramenti significativi nella percezione categoriali, che si verificano durante l'intervento musicale e rimangono stabili fino alla sua conclusione. Dei test somministrati, sono stati osservati miglioramenti nelle valutazioni sulla consapevolezza fonologica e sulle competenze attentive. Il team riporta, in particolare, un aumento nei punteggi inerenti all'attenzione acustica pari al 15%, e un miglioramento considerevole nella capacità di lettura. Il CMT ha quindi avuto degli effetti rilevanti sulle capacità dei bambini con dislessia, dimostrando che l'implementazione di un intervento musicale possa essere di grande utilità in questa popolazione clinica. Zuk e colleghi (2018) eseguono una ricerca per valutare se gli effetti dell'esperienza musicale si associano ad attività neurofunzionali differenziali rispetto a quanto di solito si riscontra in popolazione e nelle persone con dislessia. Vengono reclutati tre gruppi di bambini, uno con esperienza musicale, uno senza e un gruppo di bambini con dislessia, che sono stati valutati su un compito di consapevolezza fonologica durante il quale sono state raccolte le loro neuroimmagini. A livello comportamentale i bambini che suonano uno strumento musicale non mostrano differenze rispetto ai controlli, ed entrambi i gruppi hanno punteggi superiori rispetto ai bambini con dislessia. Le fMRI mostrano però la presenza di differenze significative nell'attività del giro temporale superiore, il giro sopramarginale e il giro

angolare tra i gruppi considerati: i bambini con esperienza musicale hanno una maggiore attività di queste aree, in confronto sia col gruppo di controllo sia ai bambini con dislessia. Inoltre, questi ultimi hanno una minore attività di queste regioni rispetto al gruppo di controllo durante i task. Questo implica che le competenze fonologiche dipendono dall'attività delle strutture sopra elencate, e, specialmente, che queste strutture sono ipoattive nei dislessici ed iperattive nei bambini con esperienza musicale durante lo svolgimento di compiti fonologici mirati. Gli autori concludono affermando che la ricerca ha permesso di riscontrare differenze nei correlati neurali relativi alle competenze fonologiche, che differiscono in base all'esperienza musicale dei partecipanti. Questo porta a supporre che la musica possa potenziare queste strutture, ipoattive nella dislessia, dimostrando che la musica nella popolazione clinica potrebbe avere degli effetti di potenziamento che non si limitano alla sfera comportamentale, ma agiscono anche sulle compromissioni specifiche.

In questa parte sono state riportate evidenze inerenti agli effetti della musica sulle neurodiversità. Sono state prese in esame ricerche che dimostrano molteplici effetti della musica nelle tre tipologie di disturbo trattate, indicando la possibilità che gli interventi musicali possano essere utilizzati in maniera trasversale. È importante sottolineare che ogni tipo di intervento musicale proposto debba essere conformato al tipo di deficit specifici che si osservano per ciascun disturbo, e che in generale in ambito clinico è fondamentale personalizzare questi interventi in base alle necessità dei singoli individui. Le evidenze qui raccolte confermano la versatilità e l'efficacia delle applicazioni cliniche della musica, sulla base dei miglioramenti che producono sui sintomi di diversi disturbi. Più in generale, si riscontra che l'esperienza musicale è in grado di potenziare le risorse neurofunzionali inerenti a diversi tipi di competenze, sia nelle popolazioni cliniche che in soggetti normotipici. Nel prossimo capitolo vedremo le modalità in cui la musica può essere applicata ad interventi che esulano dall'ambito clinico, per concentrarci in particolare sulla musica in ambienti scolastici.

Capitolo 4

INTERVENTI MUSICALI IN AMBITO SCOLASTICO

Le evidenze finora raccolte dimostrano che la musica agisce sull'attenzione, sul tono dell'umore, sul sistema motivazionale e sull'integrazione sensori-motoria, e recluta l'attività di circuiti impiegati nella produzione e percezione del linguaggio, fortificando nel tempo la connettività audio-motoria e coniugando ad essa anche aspetti affettivi rilevanti. Sono state presentate ricerche in cui si riscontrano attività specifiche che la musica permette di potenziare, sia con il solo ascolto passivo sia, in particolare, in interventi mirati con la partecipazione ad attività legate alla produzione musicale (suonare uno strumento, cantare, ecc.). In questa parte verranno presentate alcune evidenze che corroborano quanto già visto, e aggiungono insight importanti per l'implementazione di interventi musicali in popolazione generale e in ambito scolastico. Un importante aspetto che ancora non è stato trattato direttamente riguarda il legame tra musica e cognizione sociale. Nel secondo capitolo, è stata presentata la proposta di Dissanayake (2009) inerente alla possibilità che la musica abbia le sue radici nell'interazione madre bambino, e che si sia evoluta a partire da mezzi comunicativi emersi per facilitare e migliorare la qualità del rapporto materno. È anche stato riportato il commento di Brown (2000) riguardo la teoria Darwiniana della musica come aspetto della selezione sessuale, da lui respinto in favore di una teoria che invece la pone nel contesto della selezione di gruppo; in questo senso, la musica giocherebbe un ruolo di mediatore dei meccanismi in-group/out-group tramite il rafforzamento della coesione sociale e identitaria. Savage e colleghi (2021) supportano queste teorie in una review, in cui descrivono come la musica agisca a livello neurobiologico e neurochimico favorendo il comportamento prosociale. Ad esempio, le sovrapposizioni tra strutture di elaborazione musicale e motorie qui riportate (pp. 32-37) rappresentano la presenza di risposte mirror: questo elemento permette di spiegare, in parte, la dimensione sociale della musica, che potrebbe avere origine nella comprensione motoria di quanto viene ascoltato. Le evidenze neurochimiche, a riguardo, riferiscono livelli più elevati di ossitocina in seguito ad un'esperienza musicale di gruppo, sia in un coro (Grape et al., 2003) che in seguito ad una jam session (Keeler et al., 2015). Inoltre, si assiste anche al fenomeno opposto, per cui la somministrazione di ossitocina migliora la sincronia nel ballo (Josef et al., 2019) e nei task di tapping (Gebauer et al., 2016), corroborando la possibilità di un legame tra questo sistema neurotrasmettitoriale, la musica, e aspetti quali la cognizione sociale e l'empatia.

Schellenberg e colleghi (2015) indagano l'effetto della musica sulle competenze prosociali nei bambini eseguendo uno studio della durata di un anno accademico, in cui è stato applicato un programma musicale settimanale di lezioni di ukulele per delle classi di terza/quarta elementare. Gli aspetti sociali sono stati valutati sia in queste classi che in altre, in cui non è stato svolto l'intervento, tramite test specifici per le competenze prosociali, la comprensione emotiva e la compassione. Contestualmente, sono anche state raccolte misurazioni inerenti alla conoscenza di vocaboli, anch'essi valutati in entrambi i gruppi prima e dopo l'intervento musicale. I risultati mostrano un aumento dei punteggi per le misure inerenti alla sfera sociale, ma solo nei bambini in cui erano bassi all'inizio della ricerca. Questo incremento non si presenta invece nel gruppo di controllo, in cui i punteggi bassi per queste dimensioni rimangono consistenti prima e dopo il periodo di studio. Per quanto riguarda il test di vocabolario, gli autori non riscontrano miglioramenti attribuibili alla musica nella presente ricerca. È possibile che la musica non influenzi le capacità di apprendimento di vocaboli, ma contribuisca a migliorare altri aspetti del linguaggio, come già visto per le competenze di discriminazione fonetica (Habib, 2018). La ricerca indica la possibilità che, almeno in alcuni casi, la musica possa portare al miglioramento delle competenze sociali in ambito scolastico, in quanto l'aumento dei punteggi nei test si riscontra soltanto nel gruppo in cui è stato svolto l'intervento musicale, e non nei controlli.

Altre ricerche in ambito scolastico hanno indagato gli effetti della musica su altre funzioni, inerenti alle competenze di lettura, di scrittura, e funzioni esecutive quali attenzione e memoria. Esistono evidenze che la musica abbia, oltre agli effetti sull'elaborazione acustica, linguistica e motoria, anche degli effetti per quanto riguarda le funzioni esecutive. È stato riscontrato che i musicisti, rispetto ai non musicisti, mostrano prestazioni migliori in compiti attenzionali e di memoria di lavoro, che correlano con caratteristiche neurofunzionali tali da supportare modifiche plastiche attribuibili alla musica (Bialystok & Depape 2009; Rodrigues et al., 2010). Moreno e colleghi (2011) indagano questi effetti di potenziamento proponendo un training musicale, che paragonano ad un training sull'arte figurativa. I due laboratori sono stati implementati in due gruppi di bambini, tra 4 e 6 anni, per la durata complessiva di un mese. Sono state valutate l'intelligenza verbale e spaziale tramite il *Wechsler Preschool and Primary Scale of Intelligence—Third Edition* (WPPSI-III; Weschler, 2002) e le funzioni esecutive, specie le attività inibitorie, tramite un task di tipo go-no go, contestualmente al quale sono state registrate le attività elettrofisiologiche. Durante il task i bambini avevano il compito di premere un pulsante quando sullo schermo appariva una figura geometrica (un triangolo o un quadrato) di colore bianco, e di non eseguire alcuna azione se la figura era viola. Prima delle figure veniva

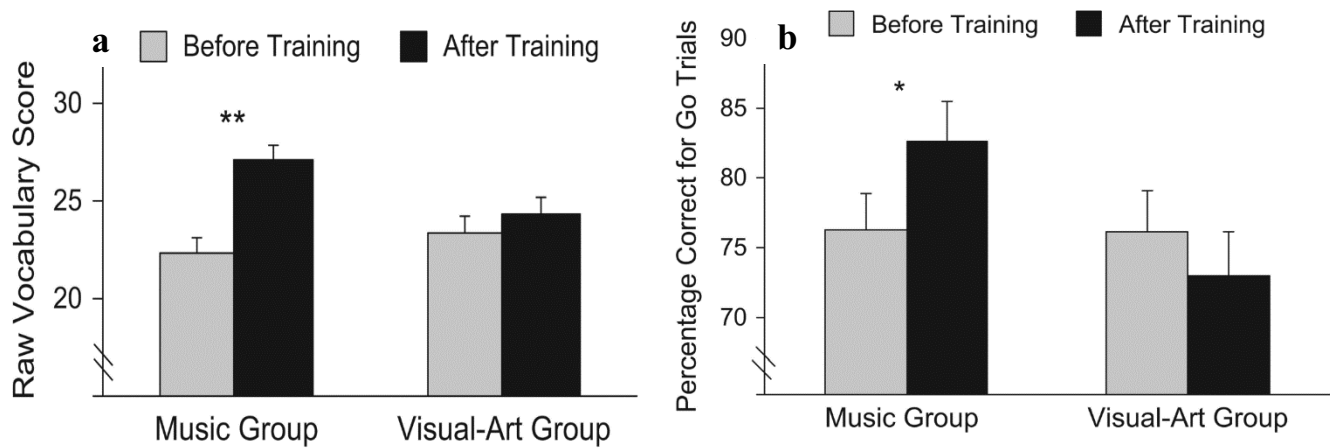


Figura 17 Differenze tra i due gruppi di bambini prima e dopo i rispettivi interventi di formazione. **a** punteggi sulla sottoscala dei vocaboli nel WPPSCI-III. **b** prestazione nel task go-no go, espressa in percentuale di trial corretti.

presentata una croce di fissazione, e il task aveva una durata di circa 15 minuti. Gli autori si aspettano prestazioni migliori in questo task successivamente al training musicale, con degli score più elevati per i trial che richiedono inibizione. Moreno e colleghi (2011) ipotizzano che i laboratori proposti, sia quello musicale che quello artistico possano elicitarne cambiamenti nell'attività EEG di tipo N2-P3, che si associa ai processi di inibizione comportamentale. In particolare, ritengono che il laboratorio musicale possa produrre incrementi nell'attività di tipo P2, come dimostrato precedentemente in ricerche che implementano interventi di questo tipo (Tremblay et al., 2001; Reinke et al., 2003). I risultati della ricerca confermano quanto ipotizzato dal team di ricerca. Viene riscontrato, rispetto all'inizio delle attività proposte, un incremento significativo nei punteggi del WPPSI-III solo nel gruppo di bambini che ha svolto il laboratorio di musica, e non in quelli che hanno invece partecipato alla formazione sull'arte figurativa (*Figura 17a*). In questo test, sono stati riscontrati punteggi migliori soprattutto per la sottoscala dei vocaboli, mostrando un arricchimento linguistico in relazione alle attività musicali e non quelle inerenti ad altre forme artistiche. Il task go-no go indica anch'esso prestazioni migliori rispetto all'inizio dello studio nel gruppo che ha svolto il laboratorio musicale, mentre nel gruppo di confronto non si evincono differenze tra i punteggi prima e dopo l'intervento (*Figura 17b*). Per quanto riguarda le componenti elettrofisiologiche considerate, non si riscontrano differenze nelle attività N2-P3 tra i due gruppi. D'altra parte, l'attività P2 è più elevata nel gruppo in cui è stato proposto l'intervento musicale rispetto al gruppo di controllo, ed è associata al miglioramento nelle prestazioni sul task go-no go. Gli autori commentano i risultati affermando che l'indagine svolta dimostra un effetto di trasferimento tra le competenze inerenti alla percezione musicale e l'intelligenza verbale. Questo effetto non si riscontra invece per attività artistiche di altre tipologie, in cui non si assiste ad un miglioramento nelle competenze linguistiche. Per quanto riguarda il task go-no go, gli autori riferiscono che

l'associazione tra il miglioramento riscontrato in questo compito e nell'intelligenza verbale indica che la musica esercita un effetto su entrambe queste dimensioni, una legata alle capacità attentive richieste dal task e l'altra in relazione al linguaggio. Questo duplice trasferimento di competenze, dall'ambito uditivo e sensorimotorio a quello esecutivo, è sostenuto dalle modifiche che il laboratorio musicale ha avuto sull'attività neurofisiologica della componente P2, che si associa ad un effetto di training specifici sulla rappresentazione neurale ed indica maggiore sincronia funzionale (Recanzone et al., 1993; Tremblay et al. 2001). In particolare, gli autori riscontrano una P2 legata non soltanto ad aree acustiche, ma anche visive, corroborando la nozione che un training musicale mirato sia in grado di sortire effetti trasversali su diverse modalità sensoriali ed esecutive.

Un recente studio indaga questi fenomeni nei bambini di età scolare, in classi tra la terza e la quinta elementare (Rollo et al., 2020). Gli scopi della ricerca sono molteplici, e comprendono la valutazione di miglioramenti delle funzioni motorie fini, della scrittura e delle competenze attentive in relazione ad un programma di training musicale. Viene anche indagata la possibilità che si verifichi, come già visto, un trasferimento tra le competenze musicali e quelle inerenti alla codifica del linguaggio, con particolare attenzione ai potenziali miglioramenti sul dominio linguistico nei bambini con dislessia. I partecipanti del gruppo sperimentale hanno svolto attività musicali in classe, e sono stati confrontati a un gruppo di bambini appartenenti ad un'altra scuola in cui non sono state svolte attività extracurricolare inerenti alla musica. Durante il laboratorio, sono state proposte attività di apprendimento canoro, di canto corale, di danza, e sono stati utilizzati strumenti musicali percussivi e percussivo-melodici, compatibilmente con il metodo Orff-Schulwerk. L'intervento ha anche utilizzato la body percussion, con lo scopo di migliorare la consapevolezza ritmica dei bambini a partire da quella corporea. Le misure utilizzate consistevano in test specifici per le capacità linguistiche (abilità di lettura, comprensione del testo, ripetizione e lettura di non-parole), motorie (imitazione ed esecuzione di sequenze motorie, coordinazione motoria fine, scrittura) ed esecutive (attenzione sostenuta, inibizione motoria, problem solving), somministrate prima e dopo l'intervento. Sono anche state valutate le competenze musicali dei bambini con la somministrazione di test specifici per quest'area. I risultati dello studio mostrano prestazioni migliori del gruppo che ha partecipato alle attività musicali in molte competenze. Le differenze tra gruppi non sono significative per i test di lettura e ripetizioni di parole/non-parole: i bambini commettono meno errori rispetto all'inizio della ricerca sia nel gruppo sperimentale che in quello di controllo. È rilevante il fatto che nel gruppo sperimentale si riscontri una riduzione

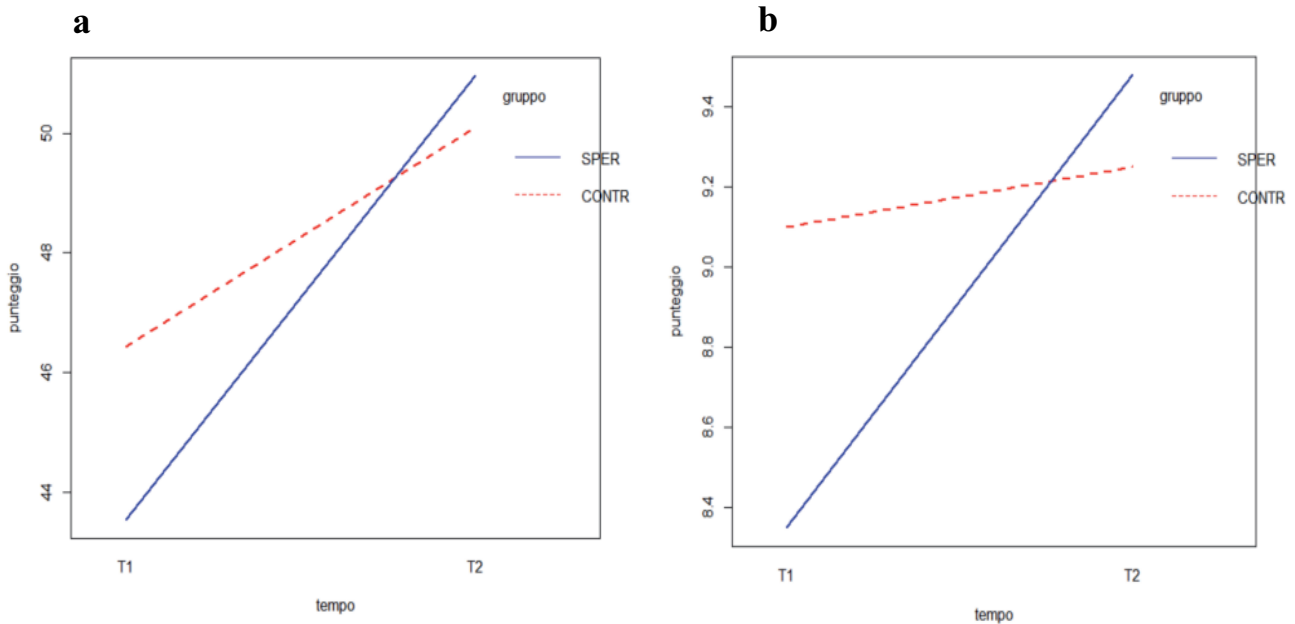


Figura 18 Interazioni tra gruppo sperimentale e di controllo per le prestazioni prima e dopo l'intervento musicale. **a** andamento dei punteggi nel compito sulle sequenze motorie. **b** andamento dei punteggi nel compito inerente all'attenzione uditiva.

più marcata degli errori rispetto al gruppo di confronto. Inoltre, i bambini con dislessia mostrano un miglioramento in entrambi i gruppi, ma quello sperimentale nel post-test mostra una minore variabilità rispetto ai controlli. Sembra esserci, quindi, un effetto dell'intervento musicale sulle competenze linguistiche, seppur di entità relativamente lieve. Il test sul controllo motorio fine, che consisteva in un compito di tapping, non restituisce differenze nei gruppi a seguito dell'intervento, né vengono riscontrate differenze nelle prestazioni per l'imitazione di gesti. D'altra parte, si evince un miglioramento significativo nel compito sulle sequenze motorie nel gruppo di bambini che ha svolto il laboratorio di musica, e non nei bambini appartenenti al gruppo di controllo: a partire da prestazioni nettamente migliori nei controlli rispetto al gruppo sperimentale, si riscontra un'interazione tra i due gruppi in seguito alle attività musicali (*Figura 18a*). Per quanto riguarda gli aspetti attenzionali indagati, i risultati restituiscono miglioramenti sia per il compito di inibizione motoria, sia nell'attenzione sostenuta, nel gruppo sperimentale e non nei controlli (*Figura 18b*). Queste evidenze confermano quanto già visto: un training musicale permette il trasferimento cross-modale di competenze sensoriali, motorie e cognitive. In particolare, è stato rilevato un incremento significativo nei punteggi inerenti al compito sulle sequenze motorie, indicando un effetto della musica sulle capacità strategiche di pianificazione motoria. È anche stata riscontrata una migliore prestazione in ambito attenzionale, con punteggi che indicano un miglioramento notevole attribuibile all'intervento musicale che non ha la stessa entità nel gruppo di controllo. La musica ha quindi effetti che esulano dall'ambito della clinica, potenziando molte abilità appartenenti a domini cognitivi tra loro distinti anche in popolazione normale.

4.1 Proposta di ricerca: laboratorio di musica a scuola

Sulla base delle evidenze raccolte, si può affermare che la musica sia uno strumento valido per lo sviluppo, il recupero, ed il potenziamento di funzioni appartenenti a diversi domini cognitivi, che è in grado di legare tra loro per vie indirette permettendo modifiche rilevanti a livello neurofunzionale, strutturale e connettomico. Queste modifiche sono evidenti grazie alle ricerche di neuroimmagine, che hanno giovato il presente elaborato nel rappresentare gli effetti della musica sul funzionamento di strutture sensorimotorie, emozionali e cognitive. Inoltre, altrettante evidenze, qui riportate, testimoniano il miglioramento in numerosi compiti a seguito o nel corso di un intervento musicale in paradigmi comportamentali. Questi tipi di interventi hanno effetti tali da permettere un miglior esito rispetto a laboratori analoghi, che utilizzano però altre forme artistiche. Ad esempio, è stato riportato come un programma musicale permette il raggiungimento di risultati migliori in alcuni compiti inerenti alle competenze motorie e attentive di alto livello rispetto ad un programma sull'arte figurativa. Gli effetti che la musica esercita si estendono, inoltre, anche al di fuori di setting sperimentali rigidi, come testimoniato dalle indagini ecologiche che replicano i risultati di ricerche laboratoriali. La musica è uno strumento estremamente utile nel contesto scolastico, in cui permette il potenziamento delle competenze accademiche in bambini normotipici e neurodivergenti. In particolare, è in grado di sostenere le carenti risorse linguistiche dei bambini con dislessia, permettendo loro di giungere a miglioramenti tali da essere rilevanti per il loro rendimento scolastico, e arginando sul nascere il gap con il resto della classe. A partire da queste conoscenze, il framework teorico qui proposto ha permesso la pianificazione di un laboratorio musicale da applicare in contesto scolastico. È stato riscontrato che la musica permette di potenziare molte competenze nei bambini di età scolare, e si intende verificare se tali effetti siano altrettanto robusti nei ragazzi appartenenti alle scuole medie. L'intervento che è stato progettato si pone due obiettivi principali:

- 1) Verificare se le attività musicali svolte in gruppo permettono un maggiore affiatamento tra gli alunni, con un aumento della coesione sociale del gruppo classe ed un migliore spirito di inclusività.
- 2) Valutare se, come nei bambini, si riscontrano miglioramenti nelle competenze linguistiche anche nei ragazzi delle scuole secondarie di primo grado, a partire da un intervento musicale mirato.

L'intervento musicale proposto prevede otto incontri, per la durata di un'ora ciascuno. Durante gli incontri sono previste attività informate dal metodo di Orff-Schulwerk, in cui verranno proposti momenti di esecuzione ritmica e melodica sulla scia degli esempi musicali ascoltati in classe. Contestualmente, verrà utilizzata la body percussion, come strumento di facilitazione ritmica e per entrare in risonanza empatica con i compagni di classe, sulla base dei criteri del metodo BAPNE (Romero, 2012). Questi approcci all'attività musicale verranno accompagnati da attività di canto corale e apprendimento di ritmiche e melodie proposte di volta in volta, con l'ausilio di registrazioni audio e video. Gli stimoli musicali utilizzati avranno come focus principale la sfera dell'etnomusicologia: il laboratorio prevede che vengano utilizzate riprese di comunità fortemente legate alla loro musica tradizionale, fattore che si presuppone possa essere rilevante per la dimensione sociale delle attività proposte. È previsto un incontro durante il quale verranno svolte attività fortemente immaginative, studiate appositamente per stimolare la creatività dei ragazzi nell'approccio alla musica, e un incontro inerente al pop/rock, per rendere il più possibile eterogenei gli stimoli utilizzati nel corso del laboratorio. Alla fine dell'intervento è previsto che i ragazzi collaborino in piccoli gruppi per realizzare un brano inedito, utilizzando soltanto gli strumenti a loro disposizione, la propria voce e la body percussion. Di seguito una tabella che esemplifica gli incontri proposti (*Tabella 1*).

| | |
|------------------|--|
| LEZIONE 1 | Introduzione al corso, esercizi vocali di gruppo, improvvisazione ritmica guidata. |
| LEZIONE 2 | Immaginando la preistoria: com'era la musica degli uomini delle caverne? |
| LEZIONE 3 | Musica tribale africana: lavoro di gruppo sulle ritmiche, i movimenti e il canto. |
| LEZIONE 4 | Samba: esplorare i ritmi tipici e il canto brasiliano. |
| LEZIONE 5 | Musica Andalusia: introduzione ai ritmi del flamenco e alle cadenze tipiche della musica spagnola. |
| LEZIONE 6 | Le "work song" degli schiavi americani: la musica come voce di protesta. |
| LEZIONE 7 | La musica moderna: esplorando i migliori brani dei Queen. |
| LEZIONE 8 | Tocca a voi! Piccolo laboratorio di composizione musicale di gruppo. |

Tabella 1 Sono qui dettagliate le attività relative a ciascuno degli incontri previsti dall'intervento musicale.

Il disegno sperimentale proposto prevede la partecipazione di due classi prime della scuola secondaria di secondo grado, con ragazzi di età compresa tra i 10 e i 12 anni. Il laboratorio musicale verrà implementato in una classe, mentre l'altra verrà utilizzata come gruppo di controllo. Gli otto incontri verranno proposti una/due volte a settimana, per una durata complessiva di 4-8 settimane. Per valutare la coesione di classe verrà somministrato il test sociometrico di Moreno (1938), una misura che permette, sulla base di giudizi di affinità interpersonale, di conoscere l'entità dell'affiatamento del gruppo classe incrociando tra loro i risultati degli alunni. Le misure relative alle competenze linguistiche consistono invece in un test sulle abilità di lettura, valutate in base a velocità, accuratezza e percentuale di errore, e un test sulle competenze fonologiche, in un compito di ripetizione di parole e non parole e di discriminazione sillabica. Tutte le misure verranno somministrate prima e dopo il periodo durante il quale verrà svolto il laboratorio di musica, sia nel gruppo sperimentale che nei controlli. La ricerca qui proposta si auspica di riscontrare un aumento nella coesione sociale del gruppo sperimentale, espressa in una stretta aderenza al gruppo classe nelle misure individuali del test di Moreno. Si ipotizza che nella classe in cui viene proposto il laboratorio questa dimensione sia non solo potenziata rispetto all'inizio dello studio, ma che differisca significativamente dal gruppo di controllo. Similmente, ci si aspetta un incremento nei punteggi dei test inerenti alla sfera linguistica nel gruppo sperimentale, maggiore rispetto al gruppo di controllo tra pre e post-test. Questi risultati permetterebbero di confermare quanto riscontrato in ricerche precedenti riguardo il potenziamento di abilità inerenti all'ambito scolastico in seguito ad un intervento musicale, e di aggiungere che questi potenziamenti si riscontrano anche dopo l'età scolare. Inoltre, se i risultati fossero quelli auspicati, si potrebbe ipotizzare un trasferimento delle capacità musicali a quelle socio-emotive oltre che a quelle linguistiche, con la possibilità che queste tre dimensioni mostrino un legame tra loro in un contesto ecologico. Il laboratorio qui proposto potrebbe permettere di ottenere maggiori insight riguardo le competenze che la musica coinvolge, sia nella produzione che nell'ascolto, aggiungendo un tassello al fiorente campo di indagine che mette in relazione musica, psicologia e neuroscienze.

CONCLUSIONI

La musica ha funzioni importanti per la nostra specie. Ha le sue radici in processi filogeneticamente determinati, come proposto da Darwin nel *Descent of Man* in merito alla sua universalità e trasversalità tra le specie animali. Le basi della produzione musicale sono intrinseche nei comportamenti temporalmente scanditi impiegati per la locomozione, e sottese da strutture neurali ampiamente condivise e presenti in specie lontane tra loro: dalle cicale e le lucciole ai mammiferi, e poi ai primati e all'uomo. Questa nozione spiega i comportamenti di sincronia, spontanea o appresa, di cui sono in grado un gran numero di specie, appartenenti a ordini differenti ed estremamente distanti dalla nostra. Nell'uomo la musica emerge dall'interazione e per l'interazione: la regolazione del rapporto madre bambino ha generato sequenze timbriche e temporali che si sono sviluppate in uno strumento fondamentale per garantire la sopravvivenza all'interno delle prime organizzazioni sociali, in quello che è stato definito un meccanismo di selezione di gruppo. Le forme proto-musicali avrebbero permesso un rafforzamento della coesione sociale e un senso identitario forte, che precede quello della scrittura di decine, se non centinaia di migliaia di anni, affermandosi tra i primi baluardi della cultura nella storia. A livello neurobiologico, l'ascolto di stimoli musicali evoca una costellazione di attività differenti, alcune delle quali identiche a quelle che si riscontrano in presenza di stimoli intrinsecamente associati al piacere e alla sopravvivenza. Le esperienze edoniche legate all'ascolto musicale si associano a modifiche acute del battito cardiaco, della pressione sanguinea, della frequenza respiratoria e di altri indici elettrofisiologici, e sono legate direttamente al rilascio neurotrasmettitoriale. Queste variazioni dimostrano, unitariamente, il coinvolgimento di strutture sottocorticali estremamente arcaiche, specie nel mesencefalo e nello striato, in cui si assiste ad attività sia dopaminergica che oppioide in relazione alla musica. D'altra parte, la codifica ritmica e musicale si associa all'attività di strutture motorie appartenenti a diversi livelli di elaborazione, dal cervelletto e i gangli della base alle aree motorie supplementari e premotorie. Tutto questo, se si prendono in considerazione anche i cluster di attivazione sensorimotoria e quelli legati all'affettività, permette una chiave di lettura motoria per gli stimoli musicali inerente sia al "come" prassico, individuando gli elementi che permettono l'esecuzione nelle sue finalità e nelle sue caratteristiche cinetiche, sia al "come" emotivo, informando l'ascoltatore sulle componenti affettive dello sforzo e dello stato d'animo di chi esegue il brano. Inoltre, le evidenze elettrofisiologiche indicano anche similitudini tra la codifica musicale e quella linguistica, con attività condivise che rappresentano una

sovrapposizione tra le due funzioni. A partire da un effetto così vasto su funzioni apparentemente distanti tra loro, sono state utilizzate numerose tecniche per l'implementazione della musica in ambito clinico. Gli esiti dell'esperienza musicale, pregressa o acquisita nel corso di una ricerca, mostrano miglioramenti notevoli nella popolazione geriatrica, sana e patologica, inerenti al tono dell'umore e associati ad un'aumentata connettività tra sistema motorio e cognizione emotiva. Nei pazienti neurodivergenti, la musica ha effetti altrettanto benefici, e permette la riduzione di espressioni sintomatologiche legate alla dislessia, all'ADHD e all'autismo. Questo in popolazione normale si traduce in potenziamenti di funzioni, con miglioramenti della coesione sociale nel corso di interventi musicali specifici e punteggi più alti su compiti linguistici e inerenti alle funzioni esecutive. Alla luce di queste evidenze, la musica può essere considerata come strumentale allo sviluppo neurocognitivo delle funzioni motorie, sensoriali multimodali, linguistiche, affettive ed esecutive, come dimostrato nelle ricerche che indagano il potenziale degli interventi musicali in ambito laboratoriale e scolastico. Il laboratorio qui proposto, forte di queste evidenze, vuole corroborarle ulteriormente per accrescere questo corpus letterario, e contribuire a cementare una nozione altrettanto semplice e complessa: la musica fa bene.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

1. Darwin, C., Kebler, L. & Joseph Meredith Toner Collection. (1871) *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex*. London: J. Murray. [Pdf] Retrieved from the Library of Congress, <https://www.loc.gov/item/04033382/>
2. Darwin, C. & Kebler, L. (1859) *On the origin of species by means of natural selection, or, The preservation of favoured races in the struggle for life*. London: J. Murray. [Pdf] Retrieved from the Library of Congress,
3. Clayton, Martin (2012) 'What is entrainment? Definition and applications in musical research.', *Empirical musicology review.*, 7 (1-2). pp. 49-56.
4. Bittman EL. Entrainment Is NOT Synchronization: An Important Distinction and Its Implications. *J Biol Rhythms*. 2021 Apr;36(2):196-199. doi: 10.1177/0748730420972817
5. Buck, J., & Buck, E. (1968). Mechanism of Rhythmic Synchronous Flashing of Fireflies: Fireflies of Southeast Asia may use anticipatory time-measuring in synchronizing their flashing. *Science*, 159(3821), 1319–1327. doi:10.1126/science.159.3821.1319
6. Patel, A. D., Iversen, J. R., Bregman, M. R., & Schulz, I. (2009). Experimental Evidence for Synchronization to a Musical Beat in a Nonhuman Animal. *Current Biology*, 19(10), 827–830. doi:10.1016/j.cub.2009.03.038
7. Cook, P., Rouse, A., Wilson, M., & Reichmuth, C. (2013). A California sea lion (*Zalophus californianus*) can keep the beat: Motor entrainment to rhythmic auditory stimuli in a non vocal mimic. *Journal of Comparative Psychology*, 127(4), 412–427. doi:10.1037/a0032345
8. Takeya, R., Kameda, M., Patel, A. D., & Tanaka, M. (2017). Predictive and tempo-flexible synchronization to a visual metronome in monkeys. *Scientific reports*, 7(1), 6127.
9. Zarco, W., Merchant, H., Prado, L. & Mendez, J. C. Subsecond timing in primates: comparison of interval production between human subjects and rhesus monkeys. *J Neurophysiol* 102, 3191–3202 (2009).
10. Merchant, H. & Honing, H. Are non-human primates capable of rhythmic entrainment? Evidence for the gradual audiomotor evolution hypothesis. *Front Neurosci* 7, 274 (2014).
11. Katsu, N., Yamada, K., Okanoya, K., & Nakamichi, M. (2019). Temporal adjustment of short calls according to a partner during vocal turn-taking in Japanese macaques. *Current zoology*, 65(1), 99-105.
12. Saito, N., & Maekawa, M. (1993). Birdsong: the interface with human language. *Brain and Development*, 15(1), 31-39.
13. Doupe, A. J., & Kuhl, P. K. (1999). Birdsong and human speech: common themes and mechanisms. *Annual review of neuroscience*, 22(1), 567-631.

14. Catchpole, C. K. & Slater, P. J. B. 1995. *Bird Song: Biological Themes and Variations*. Cambridge: Cambridge University Press.
15. Kelley, L. A., Coe, R. L., Madden, J. R., & Healy, S. D. (2008). Vocal mimicry in songbirds. *Animal behaviour*, 76(3), 521-528.
16. Norton, P., & Scharff, C. (2016). “Bird song metronomics”: Isochronous organization of zebra finch song rhythm. *Frontiers in Neuroscience*, 10, 309.
17. Large, E. W., & Gray, P. M. (2015). Spontaneous tempo and rhythmic entrainment in a bonobo (*Pan paniscus*). *Journal of comparative psychology*, 129(4), 317.
18. Eleuteri, V., Henderson, M., Soldati, A., Badihi, G., Zuberbühler, K., & Hobaiter, C. (2022). The form and function of chimpanzee buttress drumming. *Animal Behaviour*, 192, 189-205.
19. Brown, T. G. (1911). The intrinsic factors in the act of progression in the mammal. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, containing papers of a biological character*, 84(572), 308-319.
20. Sherrington, C. S. (1906). On innervation of antagonistic muscles. Ninth note.—Successive spinal induction. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 77(520), 478-497.
21. Wilson, D. M. (1961). The central nervous control of flight in a locust. *Journal of Experimental Biology*, 38(2), 471-490.
22. Weis Fogh, T. (1956). Biology and physics of locust flight. IV. Notes on sensory mechanisms in locust flight. *Phil. Trans. B* 239,553-584.
23. Marder, E., & Bucher, D. (2001). Central pattern generators and the control of rhythmic movements. *Current biology*, 11(23), R986-R996.
24. Chéron, G., Duvinage, M., De Saedeleer, C., Castermans, T., Bengoetxea, A., Petieau, M., ... & Ivanenko, Y. (2012). From spinal central pattern generators to cortical network: integrated BCI for walking rehabilitation. *Neural plasticity*, 2012.
25. Schöneich, S., & Hedwig, B. (2012). Cellular basis for singing motor pattern generation in the field cricket (*Gryllus bimaculatus* De Geer). *Brain and behavior*, 2(6), 707-725.
26. Nottebohm, F., Stokes, T. M. & Leonard, C. M. Central control of song in the canary, *Serinus canarius*. *J. Comp. Neurol.* 165, 457–486 (1976).
27. Gentner, T. Q., Hulse, S. H., Bentley, G. E. & Ball, G. F. Individual vocal recognition and the effect of partial lesions to HVC on discrimination, learning, and categorization of conspecific song in adult songbirds. *J. Neurobiol.* 42, 117–133 (2000).
28. Girard-Buttoz, C., Zaccarella, E., Bortolato, T., Friederici, A. D., Wittig, R. M., & Crockford, C. (2022). Chimpanzees produce diverse vocal sequences with ordered and recombinatorial properties. *Communications Biology*, 5(1), 410.
29. Richman, B. (1987). Rhythm and melody in gelada vocal exchanges. *Primates*, 28(2), 199-223.

30. Dissanayake, E. (2009). Root, leaf, blossom, or bole: Concerning the origin and adaptive function of music. *Communicative musicality: Exploring the basis of human companionship*, 17-30.
31. Brown, S. (2000). Evolutionary models of music: From sexual selection to group selection. *Perspectives in ethology: Evolution, culture, and behavior*, 231-281.
32. Conard N., Malina M., Münzel S. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, 460, 737–740.
33. Cross, I. (2008). Musicality and the human capacity for culture. *Musicae Scientiae*, 12(1_suppl), 147-167.
34. Peretz, I. (2016). Neurobiology of congenital amusia. *Trends in cognitive sciences*, 20(11), 857-867.
35. Moreau, P., Jolicœur, P., & Peretz, I. (2009). Automatic brain responses to pitch changes in congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 191-194.
36. Zendel, B. R., Lagrois, M. É., Robitaille, N., & Peretz, I. (2015). Attending to pitch information inhibits processing of pitch information: the curious case of amusia. *Journal of Neuroscience*, 35(9), 3815-3824.
37. Peretz, I. (1996). Can we lose memory for music? A case of music agnosia in a nonmusician. *Journal of Cognitive neuroscience*, 8(6), 481-496.
38. Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The rewarding aspects of music listening are related to degree of emotional arousal. *PloS one*, 4(10), e7487.
39. Guhn, M., Hamm, A., & Zentner, M. (2007). Physiological and musico-acoustic correlates of the chill response. *Music Perception*, 24(5), 473-484.
40. Eerola, T., Vuoskoski, J. K., & Kautiainen, H. (2016). Being moved by unfamiliar sad music is associated with high empathy. *Frontiers in psychology*, 1176.
41. Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(20), 11818-11823.
42. Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in cognitive sciences*, 17(4), 179-193.
43. Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature neuroscience*, 14(2), 257-262.
44. Gerra, G., Zaimovic, A., Franchini, D., Palladino, M., Giucastro, G., Reali, N., ... & Brambilla, F. (1998). Neuroendocrine responses of healthy volunteers to techno-music: Relationships with personality traits and emotional state. *International journal of psychophysiology*, 28(1), 99-111.

45. Cloninger, C. R. (1987). A systematic method for clinical description and classification of personality variants: A proposal. *Archives of general psychiatry*, 44(6), 573-588.
46. Hébert, S., Béland, R., Dionne-Fournelle, O., Crête, M., & Lupien, S. J. (2005). Physiological stress response to video-game playing: the contribution of built-in music. *Life sciences*, 76(20), 2371-2380.
47. Bringman, H., Giesecke, K., Thörne, A., & Bringman, S. (2009). Relaxing music as pre-medication before surgery: a randomised controlled trial. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, 53(6), 759-764.
48. Klarner, T., & Zehr, E. P. (2018). Sherlock Holmes and the curious case of the human locomotor central pattern generator. *Journal of neurophysiology*, 120(1), 53-77.
49. Karageorghis, C. I., & Terry, P. C. (1997). The psychophysical effects of music in sport and exercise: A review. *Journal of Sport Behavior*, 20(1), 54.
50. Rendi, M., Szabo, A., & Szabó, T. (2008). Performance enhancement with music in rowing sprint. *The Sport Psychologist*, 22(2), 175-182.
51. Bood, R. J., Nijssen, M., Van Der Kamp, J., & Roerdink, M. (2013). The power of auditory-motor synchronization in sports: enhancing running performance by coupling cadence with the right beats. *PloS one*, 8(8), e70758.
52. Schneider, S., Askew, C. D., Abel, T., & Strüder, H. K. (2010). Exercise, music, and the brain: Is there a central pattern generator? *Journal of Sports Sciences*, 28(12), 1337-1343.
53. Lewis, P. A., Wing, A. M., Pope, P. A., Praamstra, P., & Miall, R. C. (2004). Brain activity correlates differentially with increasing temporal complexity of rhythms during initialisation, synchronisation, and continuation phases of paced finger tapping. *Neuropsychologia*, 42(10), 1301-1312.
54. Bengtsson, S. L., Ullen, F., Ehrsson, H. H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., ... & Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *cortex*, 45(1), 62-71.
55. Murata, A., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., Raos, V., & Rizzolatti, G. (1997). Object representation in the ventral premotor cortex (area F5) of the monkey. *Journal of neurophysiology*, 78(4), 2226-2230.
56. Kohler, E., Keysers, C., Umiltà, M. A., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (2002). Hearing sounds, understanding actions: action representation in mirror neurons. *Science*, 297(5582), 846-848.
57. Hauk, O., Johnsrude, I., & Pulvermüller, F. (2004). Somatotopic representation of action words in human motor and premotor cortex. *Neuron*, 41(2), 301-307.
58. Grabowski, T. J., Damasio, H., & Damasio, A. R. (1998). Premotor and prefrontal correlates of category-related lexical retrieval. *Neuroimage*, 7(3), 232-243.

59. Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nature reviews neuroscience*, 8(7), 547-558.
60. Gordon, C. L., Cobb, P. R., & Balasubramaniam, R. (2018). Recruitment of the motor system during music listening: An ALE meta-analysis of fMRI data. *PloS one*, 13(11), e0207213.
61. Hari, R., Forss, N., Avikainen, S., Kirveskari, E., Salenius, S., & Rizzolatti, G. (1998). Activation of human primary motor cortex during action observation: a neuromagnetic study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(25), 15061-15065.
62. Cardellicchio, P., Dolfini, E., Hilt, P. M., Fadiga, L., & D'Ausilio, A. (2020). Motor cortical inhibition during concurrent action execution and action observation. *Neuroimage*, 208, 116445.
63. Harris, R., & de Jong, B. M. (2015). Differential parietal and temporal contributions to music perception in improvising and score-dependent musicians, an fMRI study. *brain research*, 1624, 253-264.
64. Wallmark, Z., Deblieck, C., & Iacoboni, M. (2018). Neurophysiological effects of trait empathy in music listening. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 66.
65. Keysers, C., Wicker, B., Gazzola, V., Anton, J. L., Fogassi, L., & Gallese, V. (2004). A touching sight: SII/PV activation during the observation and experience of touch. *Neuron*, 42(2), 335-346.
66. Ebisch, S. J., Perrucci, M. G., Ferretti, A., Del Gratta, C., Romani, G. L., & Gallese, V. (2008). The sense of touch: embodied simulation in a visuotactile mirroring mechanism for observed animate or inanimate touch. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(9), 1611-1623.
67. Fitch, W. T. (2006). The biology and evolution of music: A comparative perspective. *Cognition*, 100(1), 173-215.
68. Hébert, S., Racette, A., Gagnon, L., & Peretz, I. (2003). Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, 126(8), 1838-1850.
69. Stager, S. V., Jeffries, K. J., & Braun, A. R. (2003). Common features of fluency-evoking conditions studied in stuttering subjects and controls: an PET study. *Journal of Fluency Disorders*, 28(4), 319–336. doi:10.1016/j.jfludis.2003.08.004
70. Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M., & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of cognitive neuroscience*, 10(6), 717-733.
71. Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature neuroscience*, 7(3), 302-307.
72. Proverbio, A. M., & Piotti, E. (2022). Common neural bases for processing speech prosody and music: An integrated model. *Psychology of Music*, 50(5), 1408-1423.

73. Monteiro, N. M., & Wall, D. J. (2011). African dance as healing modality throughout the diaspora: The use of ritual and movement to work through trauma. *Journal of Pan African Studies*, 4(6), 234-252.
74. Heller GN. Ideas, initiative, and implementations: music therapy in America, 1789-1848. *J Music Ther.* 1987 Spring;24(1):35-46. doi: 10.1093/jmt/24.1.35. PMID: 10301541.
75. Bosanquet, D. C., Glasbey, J. C., & Chavez, R. (2014). Making music in the operating theatre. *BMJ*, 349.
76. Howland, K. M. (2017, August 31). music therapy. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/music-therapy>
77. Atlee E. An inaugural essay on the influence of music in cure of diseases: University of Pennsylvania; 1804.
78. Mathews, On the Effects of Music in Curing and Palliating Diseases (1806)
79. Altshuler, I. M. (1948). The past, present, and future of musical therapy. In E. Podolsky (Ed.), *Music therapy* (pp. 24-35). New York: Philosophical Library.
80. Lam HL, Li WTV, Laher I, Wong RY. Effects of Music Therapy on Patients with Dementia-A Systematic Review. *Geriatrics (Basel)*. 2020 Sep 25;5(4):62. doi: 10.3390/geriatrics5040062. PMID: 32992767; PMCID: PMC7709645.
81. Hong, I.S.; Choi, M.J. Songwriting oriented activities improve the cognitive functions of the aged with dementia. *Arts Psychother.* 2011, 38, 221–228
82. Ceccato, E.; Vigato, G.; Bonetto, C.; Bevilacqua, A.; Pizziolo, P.; Crociani, S.; Barchi, E. STAM Protocol in Dementia. *Am. J. Alzheimers Dis. Other Dement.* 2012, 27, 301–310.
83. Lord, T.R.; Garner, J.E. Effects of Music on Alzheimer Patients. *Percept. Mot. Skills* 1993, 76, 451–455.
84. Lyu J, Zhang J, Mu H, Li W, Champ M, Xiong Q, Gao T, Xie L, Jin W, Yang W, Cui M, Gao M, Li M. The Effects of Music Therapy on Cognition, Psychiatric Symptoms, and Activities of Daily Living in Patients with Alzheimer's Disease. *J Alzheimers Dis.* 2018;64(4):1347-1358. doi: 10.3233/JAD-180183. PMID: 29991131.
85. Ai, M., Loui, P., Morris, T. P., Chaddock-Heyman, L., Hillman, C. H., McAuley, E., & Kramer, A. F. (2022). Musical Experience Relates to Insula-Based Functional Connectivity in Older Adults. *Brain Sciences*, 12(11), 1577.
86. Kleber, B., Friberg, A., Zeitouni, A., & Zatorre, R. (2017). Experience-dependent modulation of right anterior insula and sensorimotor regions as a function of noise-masked auditory feedback in singers and nonsingers. *NeuroImage*, 147, 97-110.
87. Zamorano, A. M., Cifre, I., Montoya, P., Riquelme, I., & Kleber, B. (2017). Insula-based networks in professional musicians: evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Human brain mapping*, 38(10), 4834-4849.

88. Philippi, N., Noblet, V., Hamdaoui, M., Soulier, D., Botzung, A., Ehrhard, E., ... & Blanc, F. (2020). The insula, a grey matter of tastes: a volumetric MRI study in dementia with Lewy bodies. *Alzheimer's Research & Therapy*, 12(1), 1-11.
89. Wang D, Belden A, Hanser SB, Geddes MR, Loui P. Resting-State Connectivity of Auditory and Reward Systems in Alzheimer's Disease and Mild Cognitive Impairment. *Front Hum Neurosci*. 2020 Jul 17;14:280. doi: 10.3389/fnhum.2020.00280. PMID: 32765244; PMCID: PMC7380265.
90. Quinci, M. A., Belden, A., Goutama, V., Gong, D., Hanser, S., Donovan, N. J., ... & Loui, P. (2022). Longitudinal changes in auditory and reward systems following receptive music-based intervention in older adults. *Scientific Reports*, 12(1), 11517.
91. Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. *Annual review of neuroscience*, 38, 433-447.
92. Grahn, J. A., & Brett, M. (2009). Impairment of beat-based rhythm discrimination in Parkinson's disease. *Cortex*, 45(1), 54-61.
93. Krottinger, A., & Loui, P. (2021). Rhythm and groove as cognitive mechanisms of dance intervention in Parkinson's disease. *PloS one*, 16(5), e0249933.
94. Haslam, J. (1809/1976). Cases of insane children. In *Observations on madness and melancholy* (pp. 185-206). New York: Arno Press. (Reprinted from *Observations on madness and melancholy*, by J. Haslam, 1809, London: J. Callow)
95. Rizzolatti, G. & Fabbri-Destro, M. (2009). Mirror neurons: From discovery to autism. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*. 200. 223-37. 10.1007/s00221-009-2002-3.
96. Perkins, T. J., Bittar, R. G., McGillivray, J. A., Cox, I. I., & Stokes, M. A. (2015). Increased premotor cortex activation in high functioning autism during action observation. *Journal of Clinical Neuroscience*, 22(4), 664-669.
97. Finnigan, E., & Starr, E. (2010). Increasing social responsiveness in a child with autism: A comparison of music and non-music interventions. *Autism*, 14(4), 321-348.
98. Wan, C. Y., Bazen, L., Baars, R., Libenson, A., Zipse, L., Zuk, J., ... & Schlaug, G. (2011). Auditory-motor mapping training as an intervention to facilitate speech output in non-verbal children with autism: a proof of concept study. *PloS one*, 6(9), e25505.
99. Sharda, M., Tuerk, C., Chowdhury, R., Jamey, K., Foster, N., Custo-Blanch, M., ... & Hyde, K. (2018). Music improves social communication and auditory–motor connectivity in children with autism. *Translational psychiatry*, 8(1), 231.
100. Mehta, T. R., Monegro, A., Nene, Y., Fayyaz, M., & Bollu, P. C. (2019). Neurobiology of ADHD: a review. *Current Developmental Disorders Reports*, 6, 235-240.
101. Pelham Jr, W. E., Waschbusch, D. A., Hoza, B., Gnagy, E. M., Greiner, A. R., Sams, S. E., ... & Carter, R. L. (2011). Music and video as distractors for boys with ADHD in the classroom:

- comparison with controls, individual differences, and medication effects. *Journal of abnormal child psychology*, 39(8), 1085-1098.
102. Cripe, F. F. (1986). Rock Music as Therapy for Children with Attention Deficit Disorder: An Exploratory Study. *Journal of Music Therapy*, 23(1), 30–37. doi:10.1093/jmt/23.1.30
 103. Kasuya-Ueba, Y., Zhao, S., & Toichi, M. (2020). The Effect of Music Intervention on attention in children: Experimental evidence. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 757.
 104. Cancer, Alice & Bertoni, Silvia & Zugno, Elisa & Zanaboni, Carlotta & Allevi, Massimo & Antonietti, Alessandro. (2014). TRAINING MUSICALE PER BAMBINI CON DISTURBO DA DEFICIT DI ATTENZIONE E IPERATTIVITÀ (ADHD): L'EFFICACIA DI UN INTERVENTO IN PICCOLO GRUPPO.. *A e R - Abilitazione e Riabilitazione*. 37. 38-48.
 105. Cortese, S., Castellanos, F. X., Eickhoff, C. R., D'Acunto, G., Masi, G., Fox, P. T., ... Eickhoff, S. B. (2016). Functional Decoding and Meta-analytic Connectivity Modeling in Adult Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry*, 80(12), 896–904. doi:10.1016/j.biopsych.2016.06.01
 106. Kirby, P. (2018). A brief history of dyslexia. *Psychologist*, 31(3).
 107. Norton, E. S., Black, J. M., Stanley, L. M., Tanaka, H., Gabrieli, J. D., Sawyer, C., & Hoeft, F. (2014). Functional neuroanatomical evidence for the double-deficit hypothesis of developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 61, 235-246.
 108. Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PloS one*, 3(10), e3566.
 109. Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J., & Besson, M. (2016). Music and dyslexia: a new musical training method to improve reading and related disorders. *Frontiers in psychology*, 7, 26.
 110. Zuk, J., Perdue, M. V., Becker, B., Yu, X., Chang, M., Raschle, N. M., & Gaab, N. (2018). Neural correlates of phonological processing: Disrupted in children with dyslexia and enhanced in musically trained children. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 34, 82–91. doi:10.1016/j.dcn.2018.07.001
 111. Grape Viding, C., Sandgren, M., Hansson, L. O., Ericson, M., & Theorell, T. (2003). Does singing promote well-being?: An empirical study of professional and amateur singers during a singing lesson. *Integrative Physiological & Behavioral Science*, 38(1), 65-74.
 112. Keeler, J. R., Roth, E. A., Neuser, B. L., Spitsbergen, J. M., Waters, D. J. M., & Vianney, J. M. (2015). The neurochemistry and social flow of singing: bonding and oxytocin. *Frontiers in human neuroscience*, 518.
 113. Josef, L., Goldstein, P., Maysless, N., Ayalon, L., & Shamay-Tsoory, S. G. (2019). The oxytocinergic system mediates synchronized interpersonal movement during dance. *Scientific Reports*, 9(1), 1894.

114. Gebauer, L., Witek, M. A., Hansen, N. C., Thomas, J., Konvalinka, I., & Vuust, P. (2016). Oxytocin improves synchronisation in leader-follower interaction. *Scientific reports*, 6(1), 1-13.
115. Schellenberg EG, Corrigan KA, Dys SP, Malti T (2015) Group Music Training and Children's Prosocial Skills. *PLoS ONE* 10(10): e0141449. doi:10.1371/journal.pone.0141449
116. Bialystok, E., & DePape, A. M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 565.
117. Rodrigues AC, Loureiro MA, Caramelli P. Musical training, neuroplasticity and cognition. *Dement Neuropsychol.* 2010 Oct-Dec;4(4):277-286. doi: 10.1590/S1980-57642010DN40400005. PMID: 29213699; PMCID: PMC5619060.
118. Moreno S, Bialystok E, Barac R, Schellenberg EG, Cepeda NJ, Chau T. Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychol Sci.* 2011 Nov;22(11):1425-33. doi: 10.1177/0956797611416999. Epub 2011 Oct 3. PMID: 21969312; PMCID: PMC3449320.
119. Wechsler, D. (2002). *WPPSI-III: Technical and interpretative manual*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation.
120. Tremblay, K., Kraus, N., McGee, T., Ponton, C., & Otis, B. (2001). Central auditory plasticity: changes in the N1-P2 complex after speech-sound training. *Ear and hearing*, 22(2), 79-90.
121. Reinke K., He Y., Wang C., Alain C. (2003). Perceptual learning modulates sensory evoked response during vowel segregation. *Brain Res. Cogn. Brain Res.* 17, 781–791 10.1016/S0926-6410(03)00202-7
122. Recanzone, G. H., Schreiner, C. E., & Merzenich, M. M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *Journal of Neuroscience*, 13, 87–103
123. Rollo, D., Brazzi F., Zucchelli M., Mauro A., Eramo P., Melej A, Lopez L., Fogassi L. (2020): L'effetto della pratica musicale sulle competenze cognitive degli alunni: abilità cognitive di base (attenzione e memoria), letto-scrittura e apprendimento musicale. In *MUSICA È SCUOLA, Ricerche in Italia sul valore della musica pratica* a cura di Luigi Berlinguer, Gianni Nuti e Annalisa Spadolini. Franco Angeli, Milano
124. Romero Naranjo, F. J. (2012). *Percusión corporal y lateralidad: método BAPNE. Música y educación: revista internacional de pedagogía musical.*
125. Moreno, J. L., & Jennings, H. H. (1938). Statistics of Social Configurations. *Sociometry*, 1(3/4), 342–374. <https://doi.org/10.2307/2785588>

