



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo

**Corso di laurea in Scienze psicologiche dello sviluppo, della personalità e delle
relazioni interpersonali**

Elaborato finale

**Musica e neuroplasticità: riabilitazione cognitiva per bambini non-
udenti**

Music and neuroplasticity: cognitive rehabilitation for non-hearing children

Relatrice:

Prof.essa Eloisa Valenza

***Laureanda:* Alice Mosca**

Matricola: 2049115

Anno accademico 2023/2024

— Ai nonni, che hanno viaggiato con me.

INDICE

1. Abstract
2. Introduzione
3. Il sistema uditivo
 - 3.1. Le funzioni del sistema uditivo
 - 3.2. La perdita dell'udito
4. Il linguaggio
 - 4.1. Le fragilità dei bambini con impianti cocleari
 - 4.2. Parallelismi tra linguaggio e musica
5. Neuroplasticità
 - 5.1. Cambiamenti del cervello sordo
 - 5.2. Il ruolo della musica
6. La riabilitazione cognitiva
 - 6.1. I training musicali
 - 6.2. L'efficacia della riabilitazione
7. Conclusioni e discussione

1. Abstract

Lo scopo del presente elaborato finale è quello di approfondire la relazione tra due macro-ambiti della ricerca psicologica: l'ambito della musica e quello della neuroplasticità cerebrale. La letteratura neuroscientifica si sta sempre di più interessando alla possibilità di utilizzare la musica negli interventi di riabilitazione cognitiva, grazie alla sua capacità di attivare emotivamente e di stimolare i circuiti cerebrali, come ampiamente documentato dalla ricerca. La neuroplasticità cerebrale è un costrutto che ha origine a partire dagli anni '50, in cui studi sul funzionamento a livello neurale hanno dimostrato che il cervello umano, in risposta ad una deprivazione significativa di stimoli in certe aree, si riorganizza.

La seguente tesi bibliografica si pone l'obiettivo di analizzare la letteratura che ha esaminato l'efficacia della musica come fulcro di terapie di riabilitazione cognitiva per bambini non-udenti. Ci si concentrerà sui cambiamenti conseguenti alla sordità in età evolutiva e sulle difficoltà di questa popolazione dal punto di vista del funzionamento cognitivo. Difatti, si dimostrano fragilità in aree comunicative, relazionali, accademiche, d'umore, e delle funzioni esecutive.

Dagli studi emerge che terapie musicali vanno a coinvolgere più profondamente l'individuo, ciò rende possibile allenare capacità fondamentali per il linguaggio e l'adattamento psicosociale. Nonostante l'uso di queste terapie sia diventato più comune, le difficoltà nel creare studi randomizzati totalmente controllati rende la strada tutto fuorché tracciata. La speranza è quella di investire risorse che rendano possibile, a lungo termine, ulteriori supporti ad una terapia che può, e deve, essere divertente.

2. Introduzione

Definita attraverso le lenti di un mondo "normale" udente, la sordità è comunemente percepita come una perdita della possibilità di creare connessioni umane, un ostacolo al raggiungimento di appagamento e felicità, una condizione di pena. Questa visione nasce da un più ampio, subdolo, costrutto che rinforza la marginalizzazione e stereotipizzazione del diverso (Felten et al., 2013). Al contrario, molte persone sorde non

si considerano “disabili”, riportando di non sentire una mancanza o perdita per la loro condizione (Holcomb, 2013; Sheppard, 2014). Di conseguenza, è fondamentale scegliere di riorientare la nostra visione della disabilità, enfatizzando il valore aggiunto dato dalla diversità. Scegliere di lavorare in un’ottica di integrazione e valorizzazione delle differenze non vuol dire ignorare le difficoltà sistemiche di avere una disabilità, ma bensì comprenderle più a fondo.

La perdita dell’udito è associata a cambiamenti nel volume del cervello nelle regioni che supportano l’elaborazione uditiva e cognitiva (Rudner et al., 2019). Un deficit uditivo può mettere un individuo a rischio di isolamento e, di conseguenza, di vari problemi psicosociali causati principalmente da difficoltà nello sviluppo del linguaggio, da problemi di comunicazione, di percezione uditiva e dell’intelligibilità verbale (Hallahan et al., 2018). Anche se il deficit uditivo non è abbastanza grave da classificare una persona come sorda, ma piuttosto come ipoudente, l’individuo si trova comunque svantaggiato praticamente in tutti gli aspetti dello sviluppo del linguaggio, legati poi al successo accademico, lavorativo, e sociale (Chen et al., 2017).

Di fondamentale importanza è avere consapevolezza delle fragilità di questi bambini in fase di sviluppo, in particolare nel contesto scolastico in cui la compromissione delle funzioni cognitive ha conseguenze visibili. Difatti, studi indicano che la maggior parte dei problemi che i bambini sordi incontrano a scuola sono dovuti principalmente alle difficoltà intrinseche alla loro disabilità (Ciscare et al., 2017). Partendo dalla necessità di sensibilizzare ed integrare qualunque individuo nella società, e di creare nelle scuole un ambiente che offra le medesime opportunità per tutti (Irwin et al., 2007), è necessario potenziare la ricerca al fine di migliorare gli strumenti a nostra disposizione per la riabilitazione di funzioni fondamentali all’adattamento.

Per molti anni si è creduto che i bambini sordi non potessero imparare a parlare, e proprio per questo non sono state sviluppate terapie riabilitative per supportare lo sviluppo dei prerequisiti cognitivi dello sviluppo del linguaggio (Almeida et al., 2018). Al giorno d’oggi, gli atteggiamenti dei professionisti sono cambiati ed è riconosciuto che i bambini sordi possono sviluppare capacità comunicative adattive se istruiti in modo appropriato (Hallahan et al., 2018). Il riconoscimento che i bambini sordi abbiano delle

difficoltà specifiche nel funzionamento cognitivo ha una storia datata più di un secolo. Già nel 1917 studi di Pintner e Paterson sottolineavano performance peggiori in vari compiti rispetto a quelli dei controlli (Hall et al., 2017).

Gli impatti principali si riscontrano nelle funzioni esecutive, un costrutto che racchiude un complesso set di capacità cognitive. Esse rendono possibile coordinare processi mentali, manipolare informazioni, trovare soluzioni a nuovi problemi, integrare informazioni, e generare nuove strategie per raggiungere un obiettivo in maniera flessibile; in breve, tutti quei processi che controllano e regolano pensiero ed azione (Friedman et al, 2006). Se il rischio aumentato di sviluppare problematiche nelle funzioni esecutive sia un risultato diretto della sordità, o piuttosto dovuto alle conseguenze di altri fattori, solitamente un ritardo nell'acquisizione del linguaggio, è una questione ancora aperta. Tenzialmente, possiamo affermare che differenti abilità hanno un decorso differente, rendendo alcune abilità più associate al linguaggio, e quindi, più influenzate dalla presenza di sordità, rispetto ad altre (Mason et al., 2021). Uno studio suggerisce che l'efficacia delle funzioni esecutive possa dipendere dalle tempistiche di sviluppo del linguaggio (Figueras et al., 2008). In Questo studio è stato confrontato un campione di bambini udenti con un campione di bambini sordi con impianti cocleari, dimostrando che più i compiti dipendevano dalle capacità linguistiche, più i bambini sordi avevano difficoltà rispetto ai bambini udenti.

In una meta-analisi di training cognitivi, Diamond (2016) stila una comparazione tra i metodi più utilizzati nella riabilitazione di queste capacità, ad esempio programmi computerizzati, basati su attività fisiche, o basati su approcci come quello proposto dalla Montessori (1964). Queste ricerche suggeriscono che le attività più efficaci per supportare il bambino a raggiungere le sue potenzialità sono quelle che coinvolgono aspetti sociali ed emotivi, provvedendo un senso di appartenenza e accettazione nel gruppo (Diamond et al., 2011). Negli ultimi anni, la musica è stata indicata come uno strumento ideale a questo scopo.

Parallelamente, l'ampia letteratura a disposizione che supporta empiricamente l'idea che chi è consistentemente immerso dalla musica dimostra significativi cambiamenti cerebrali, ha incentivato la ricerca ad investire in interventi che utilizzino la musica. Risultati di oltre 100 studi di neuroimaging dimostrano che i cervelli di musicisti

e non-musicisti differiscono in struttura e funzionamento, rendendo chiaro al mondo scientifico il potere della musica di modellare le risposte neurali (Merrett et al., 2013). All'interno di questo paradigma, si è posto l'obiettivo di valutare l'efficacia di interventi musicali sulla popolazione di bambini non-udenti nello sviluppo delle capacità cognitive e linguistiche, prestando attenzione ai loro bisogni specifici.

Sia la musica che il linguaggio sono abilità tipicamente umane che coinvolgono strutture sonore complesse, alla cui base è racchiusa la possibilità di udire. Pertanto, percepire la musica, allo stesso modo che percepire il linguaggio, richiede l'affinamento di capacità di discriminare tra suoni. Questo processo avviene attraverso regioni cerebrali specifiche all'integrazione di informazioni uditive, poi elaborate da emisferi interdipendenti cruciali per uno sviluppo psicosociale adattivo (Yucel et al., 2009). Le caratteristiche rilevanti in comune tra queste esperienze fanno sì che l'esperienza con il dominio musicale possa migliorare il dominio linguistico (Schellenberg, 2004). Difatti, vari studi, che vedremo più in dettaglio successivamente, hanno dimostrato che esistono meccanismi neurali comuni tra musica e linguaggio, rendono questo tipo di riabilitazione particolarmente funzionale (Maess et al., 2001).

Nel seguente elaborato si propone, quindi, di analizzare la sordità come condizione di deficit uditivo, che colpisce la percezione uditiva e l'intelligibilità verbale (Hassanzadeh et al., 2016). Successivamente, verrà presentata una breve rassegna sullo sviluppo del linguaggio, e si sottolineerà come deficit linguistici possano dipendere da disfunzionalità attentive, da una ridotta velocità di elaborazione dell'informazione (speed processing), da deficit nelle funzioni esecutive, nella memoria e nelle funzioni visuo-spaziali (Jalil-Abkenar et al., 2013). Andremo poi a trattare il tema della neuroplasticità cerebrale, un costrutto ormai ampiamente riconosciuto nell'ambito della riabilitazione, rispetto a come si relaziona con la musica. Infine, ci concentreremo sui numerosi studi che hanno indagato gli effetti della musica sullo sviluppo linguistico nei bambini ipoudenti, ai fini di analizzare i risultati e le criticità emerse.

3. Il sistema uditivo

3.1. *Le funzioni del sistema uditivo*

Dal punto di vista neurobiologico, il sistema uditivo umano ha supportato lo sviluppo del linguaggio attraverso una sempre più complessa elaborazione uditiva delle vocalizzazioni che emettiamo. Ciò si osserva nella capacità attentiva di rilevare e discriminare il suono, come anche di comprendere il significato dalle parole (Mueller et al., 2012). L'elaborazione uditiva ha lo scopo di trasformare le onde sonore in specifiche traduzioni di attività neurale, che insieme all'integrazione successiva con le informazioni provenienti da altri sistemi sensoriali, hanno il risultato di guidare il comportamento, come l'orientamento dei movimenti verso stimoli acustici e la comunicazione intra-specie (Purves et al., 2001).

Secondo il manuale "Neuroscienze: Esplorando il cervello" di Bear e colleghi (2016), la prima fase di questa trasformazione avviene nell'orecchio esterno e in quello medio, che traducono la pressione dell'onda sonora alla coclea dell'orecchio interno, pieno di liquido. La pressione mette in movimento i fluidi che contiene, dando forma all'intensità, frequenza e alle proprietà temporali del segnale. L'orecchio interno racchiude sia il sistema vestibolare (alla base del senso di equilibrio) che la coclea (alla base del senso dell'udito).

Dalla coclea, gli impulsi nervosi indotti dalle onde sonore vengono finalmente trasportati al cervello per la loro interpretazione. Un ampio spettro di caratteristiche del suono (ad esempio altezza, timbro, intensità del suono, disparità interaurali) è codificato da diverse proprietà di risposta neurale e trasformato nel tronco encefalico uditivo, vale a dire nel complesso olivare superiore e nel collicolo inferiore (Langner et al., 2006). Da queste regioni, le informazioni uditive organizzate topograficamente viaggiano verso il talamo uditivo, in particolare attraverso il corpo genicolato ventrale per raggiungere la corteccia uditiva primaria (A1) (Smith et al., 2012). Questo percorso è noto come percorso lemniscale e rappresenta il principale percorso di elaborazione del segnale uditivo.

Può essere interessante a questo punto volgere l'attenzione a come si struttura la percezione della musica. Essendo essa uno stimolo multisensoriale, l'ascolto della musica attiva la corteccia A1 insieme alle regioni motorie e premotorie, come i gangli della base, le aree motorie primarie, le aree motorie supplementari e il cervelletto (Pando-Naude et

al., 2021). Anche un semplice ascolto passivo di musica mai sentita prima può attivare una costellazione di sistemi cerebrali, quali il giro del cingolo subcalloso, la corteccia cingolata anteriore prefrontale e retrospleniale, l'ippocampo, l'insula anteriore e lo striato ventrale (Brown et al., 2004). In particolare, una delle caratteristiche più importanti della musica riguarda riuscire a coglierne l'intonazione. Specificamente, l'elaborazione dell'intonazione accende regioni corticali laterali fino alla corteccia A1 (McDermott et al., 2008). Gli studi che utilizzano la risonanza magnetica funzionale (fMRI) indicano che l'elaborazione del tono si verifica in maniera gerarchica, dove le proprietà più astratte si codificano dinamicamente nel tempo, e solo ad un certo punto del processo possono essere percepite come una melodia (Zatorre et al., 2007). In questa ultima fase, vanno a coinvolgere le vie uditive anteriori e posteriori (Patterson et al., 2002). Negli studi di neuroimaging che si sono, invece, concentrati sugli aspetti del ritmo, si attivano le aree del cervelletto, i gangli della base, la corteccia premotoria e l'area motoria supplementare (Grahn e Brett, 2007).

3.2. *La perdita dell'udito*

Lo sviluppo del linguaggio è un processo composto da un'integrazione di molteplici variabili, di conseguenza ogni bambino avrà outcome diversi mediati dalle proprie caratteristiche personali e dell'ambiente dove crescono. Lo sviluppo delle capacità comunicative di ogni individuo dipende da una serie di competenze in vari ambiti, che non riguardano unicamente la produzione, ma anche la discriminazione, le competenze attentive, le abilità motorie, ed il coinvolgimento affettivo (Bebko et al., 2003).

Esistono molte cause di danno al sistema uditivo che provocano una perdita o riduzione di queste capacità. Secondo le linee guida dell'Istituto Superiore di Sanità, la perdita dell'udito può essere causata da fattori ereditari (genetica), invecchiamento (presbiacusia), esposizione a suoni forti, malattie e infezioni, traumi (incidenti) o farmaci ototossici (farmaci e sostanze chimiche velenose per le strutture uditive). Addizionalmente, la perdita può essere causata da un danno a qualsiasi parte del percorso uditivo.

La “World Health Organization, Deafness and hearing loss”, specifica che il termine “non udenti” è adeguato a descrivere chiunque abbia una perdita uditiva che varia da leggera a moderata, a moderatamente severa, e che può trarre beneficio dall'uso di apparecchi acustici o impianti cocleari. La compromissione dell'udito è classificata in quattro livelli: leggera (dai 16 ai 25 dB), moderata, severa, profonda (oltre i 90 dB). Nel caso del quarto livello, la persona non percepisce nessun tipo di rumore.

In quanto agli apparecchi di supporto, gli impianti cocleari rappresentano un'opzione riabilitativa standard per i bambini con perdita dell'udito troppo avanzata per poter usare apparecchi acustici, consentendo l'accesso ai suoni necessari per lo sviluppo del linguaggio parlato. A causa del costante aumento della già numerosa popolazione di persone non udenti e con problemi di udito, la tecnologia degli impianti cocleari è in costante miglioramento. Lenarz (2018) descrive in dettaglio come funzionano gli impianti cocleari, dispositivi protesici che consentono di elaborare il suono e convertirlo in segnali elettrici.

Gli apparecchi acustici amplificano i suoni in modo che possano essere rilevati nonostante i possibili danni alle orecchie, mentre gli impianti cocleari bypassano le parti danneggiate dell'orecchio e stimolano direttamente il nervo uditivo. I segnali generati dall'impianto vengono inviati attraverso il nervo uditivo al cervello, che riconosce i segnali come suoni. L'autore prosegue spiegando come l'impianto è costituito da una porzione esterna che si trova dietro l'orecchio e da una seconda porzione che viene posizionata chirurgicamente sotto la pelle. In breve, le varie parti sono: un microfono, che capta il suono dall'ambiente; un processore vocale, che seleziona e organizza i suoni captati dal microfono; un trasmettitore collegato ad un ricevitore/stimolatore, che ricevono i segnali dal processore e li convertono in impulsi elettrici; ed un array di elettrodi, ovvero un gruppo di elettrodi che raccoglie gli impulsi dallo stimolatore e li invia a diverse regioni del nervo uditivo. È importante sottolineare che nonostante la sua utilità, un impianto non potrà mai ripristinare l'udito normale della persona, il suo obiettivo è invece quello di fornire a una persona sorda una rappresentazione utile dei suoni nell'ambiente e aiutarla a comprendere il parlato. Nelle ultime generazioni, i moderni dispositivi di questo tipo sono arrivati a consentire l'udibilità dell'intero spettro vocale, il che implica un grande potenziale per lo sviluppo o conservazione del linguaggio (Cole et al., 2010). In alcuni casi, gli impianti consentono lo sviluppo della lingua parlata,

dell'alfabetizzazione e dell'istruzione in linea con i coetanei udenti (Crowson, et al., 2017).

Tuttavia, per quanto sia vero che l'utilizzo di impianti cocleari in genere consenta una percezione del parlato soddisfacente in condizioni di silenzio, le prestazioni nelle attività che dipendono fortemente dalla percezione del tono sono significativamente peggiori. Queste difficoltà possono essere in gran parte attribuite ai vincoli tecnologici degli impianti cocleari, come la scarsa risoluzione di frequenza dovuta al numero limitato di elettrodi e alla semplificazione dell'informazione necessaria (Riss et al., 2011). Altri fattori che possono limitare il rilevamento del cambiamento di intonazione includono la distanza tra l'elettrodo e gli elementi neurali, i deficit neurali legati alla deprivazione del suono e il declino della funzione cognitiva (Pisoni et al., 2018).

A causa delle sue caratteristiche un impianto cocleare richiede sia una procedura chirurgica che una terapia significativa per apprendere a usarlo. I risultati uditivi possono variare ampiamente a seconda delle condizioni individuali ed ambientali della persona. Tendenzialmente, il potenziale più grande di sviluppo linguistico ricettivo ed espressivo nei confronti dei pari è generalmente associato all'impianto cocleare molto precoce (Almomani et al., 2021; Lenarz, 2018; Connor et al., 2006). I risultati vengono anche raggiunti con notevole rapidità, già dopo 6 e 12 mesi, soprattutto quando i bambini ricevono impianti entro il primo anni di vita, ma rimangono promettenti fino ai 4 anni di vita (Tait et al., 2007). Il riadattamento neurale necessario per abituarsi a sentire attraverso una protesi può essere sfidante, per questo la procedura viene sconsigliata se al di fuori di questo periodo di migliore plasticità del sistema nervoso centrale (Kral et al., 2012). La letteratura suggerisce che l'abilitazione ottimale dopo l'impianto cocleare è orientata verso un'abbondante stimolazione del linguaggio parlato, facilitata attraverso la guida continua e la formazione dei membri della famiglia da parte di un team di esperti (Ganek et al., 2012). Logopedisti e audiologi sono spesso coinvolti in questo processo di apprendimento, che richiede tempo e pratica. Solo una stimolazione precoce, continua e ricca del percorso uditivo promuove lo sviluppo dei centri uditivi nel cervello, è quindi necessario considerare tutte le sfaccettature di questa decisione.

4. Il linguaggio

4.1. *Le fragilità dei bambini con impianti cocleari*

L'acquisizione del linguaggio è un processo cruciale per lo sviluppo, attraverso il quale il bambino potrà percepire, produrre e usare le parole per comprendere e comunicare. Adulti e bambini dipendono dall'udito per la loro capacità di funzionare nel lavoro, a scuola e in altre attività quotidiane, per essere in grado di comunicare usando la parola e per elaborare meglio le informazioni sugli oggetti nel loro ambiente.

Negli ultimi 40 anni, i risultati di numerosi studi hanno indicato che i bambini sordi hanno una comprensione della lettura significativamente più scarsa, capacità di alfabetizzazione e un rendimento scolastico complessivamente più basso rispetto ai loro coetanei udenti (Qi e Mitchell, 2012), riducendo la probabilità di iscrizione ad istituti di istruzione post-secondaria (Garberoglio et al., 2014). Ad esempio, in uno studio sulla popolazione danese è emerso che il 51% di giovani uomini con udito normale ha continuato gli studi oltre i 16 anni, rispetto al 42% con perdita dell'udito da lieve a moderata e il 34% con perdita dell'udito più grave (Teasdale et al., 2007). Un altro studio di coorte norvegese ha rilevato che le persone con perdite uditive avevano la metà delle probabilità di conseguire un'istruzione superiore (Ildstad et al., 2019).

Non è stato ancora raggiunto un consenso riguardo all'intervento precoce ottimale con l'obiettivo di sviluppare adeguate capacità di linguaggio parlato nei bambini sordi. Tuttavia, grazie all'intensificarsi delle ricerche sui supporti necessari per persone non-udenti, la tecnologia degli impianti cocleari continua a migliorare. I risultati odierni dimostrano che un intervento in età precoce rende possibile raggiungere traiettorie di sviluppo linguistico quasi normali (Đoković et al., 2014; Tomblin et al., 2015), anche se la loro efficacia sarà sempre mediata da fattori come il livello di istruzione materna, la durata dell'uso quotidiano degli apparecchi acustici, e l'intelligenza non verbale (Walker et al., 2015).

Ciononostante, i bambini sordi rimangono a rischio di ritardi in molteplici funzioni esecutive (Beer et al., 2011; Aubuchon et al., 2015), come vedremo più in dettaglio nei successivi paragrafi. Inoltre, studi hanno rivelato anche conseguenze atipiche dal punto di vista motorio, il 50% dei bambini con impianto cocleare presenta

una funzione vestibolare compromessa, che può influenzare ulteriormente la loro capacità di partecipare alle normali attività infantili (Cushing et al., 2018). Infine, le abilità linguistiche sottosviluppate dei bambini non-udenti possono avere impatti significativi in domini socio-emotivi, Šantić (2023) descrive un aumento del rischio di difficoltà emotive e comportamentali, come anche di comportamenti oppositivi e distruttivi. Si riscontra generalmente un funzionamento sociale debole ed aumento del rischio di stigma, discriminazione e isolamento, che a loro volta portano a conseguenze in ambito psicologico. Difatti, sono state riscontrate influenze negative sull'adattamento scolastico e sociale dei bambini, alcune volte andando a sfociare in disturbi del comportamento e depressione (Fellinger et al., 2009). Le persone non-udenti con impianti cocleari, che però non hanno raggiunto la competenza linguistica prevista, in generale hanno difficoltà ancora superiori, con un aumentato rischio di negligenza emotiva e fisica, di abuso, di disordini sessuali, trauma, disturbi d'umore, ed ansia (Humphries et al., 2014).

Infine, studi longitudinali a lungo termine dimostrano correlazioni significative tra la perdita dell'udito infantile e la diminuzione del benessere e dell'autostima, nonché dell'ansia e depressione, in particolare tra le donne (Idstad et al., 2019).

Dal punto di vista linguistico, è stato riscontrato che i bambini con impianti cocleari presentano deficit fonologici sproporzionatamente grandi rispetto a deficit che presentano per le abilità lessicali e sintattiche. Si crede che questo sia dovuto all'incapacità dei processori del segnale vocale negli impianti cocleari di trasmettere correttamente tutte le caratteristiche acustiche del linguaggio, pertanto le rappresentazioni mentali dei suoni del parlato non si formano correttamente. Di conseguenza, rappresentazioni caotiche, o direttamente scorrette, creano terreno instabile per un possibile ulteriore sviluppo del linguaggio (Nittrouer et al., 2017). Alcuni autori riportano che le deboli capacità di memoria di lavoro, anche con buona udibilità, impattano l'aspetto verbale (codifica, memoria e elaborazione delle informazioni verbali), mentre l'aspetto visuo-spaziale (memoria e elaborazione delle informazioni non verbali), risulta pressoché preservato (Davidson et al., 2019).

Ciò indica che i disturbi uditivi pre-linguistici non influenzano di per sé l'architettura cognitiva, ma i meccanismi cognitivi superiori si formano in conformità con

la stimolazione ricevuta durante lo sviluppo (Rudner et al., 2009). In altre parole, la plasticità cerebrale ha una base esperienziale (Twomey et al., 2020), quindi le specificità organizzative e funzionali del sviluppo del cervello dipendono dalla stimolazione a cui il bambino è esposto. Questo processo viene generalmente definito apprendimento statistico (statistical learning; Perruchet e Pacton, 2006). L'apprendimento statistico si riferisce all'acquisizione (in gran parte implicita) della struttura del linguaggio grazie all'esposizione sistematica di esso nel contesto di sviluppo. Attraverso questo paradigma, impariamo a riconoscere le parole tramite un meccanismo probabilistico, in altre parole apprendiamo la frequenza con cui certi elementi fonetici si susseguono durante input uditivi. Quindi, ad esempio, ascoltando parole dette ad alta voce, attraverso l'apprendimento statistico il bambino impara a riconoscere la frequenza con cui particolari suoni si verificano insieme, consentendo la previsione di suoni imminenti in base alla probabilità di una particolare successione di suoni (Deocampo et al., 2018).

Deocampo (2018) sottolinea la presenza di vulnerabilità dei bambini con impianti cocleari nell'apprendimento statistico, essendo a sua volta legato a processi radicati nella memoria di lavoro e attenzione. Questo tipo di meccanismo è stato oggetto di notevoli ricerche nel campo dello sviluppo del linguaggio (vedi Romberg e Saffran, 2010, per una recente revisione) e, di particolare interesse per gli scopi di questo scritto, è considerevolmente implicato anche nell'ambito della musica (McMullen e Saffran, 2004; Hannon, 2010).

Diversi studi hanno dimostrato che il linguaggio condivide somiglianze con la musica, collegandole all'uso delle stesse risorse (memoria, attenzione e integrazione temporale) per creare rappresentazioni mentali e formare aspettative di eventi futuri (Gordon et al., 2015). Ad esempio, una rassegna di Ettliger (2011) riporta prove che l'apprendimento implicito di più sistemi musicali può determinare cambiamenti fondamentali nel modo in cui il cervello appropria il suono espressivo, andando a influenzare le abilità linguistiche in conseguenza a modifiche nelle strutture neurali.

Analizzando la letteratura scientifica rilevante, si osserva che regioni come le aree di Broca e Wernicke, le quali sono state considerate specifiche per la produzione e la comprensione del linguaggio per oltre un secolo, hanno dimostrato più di recente di essere attivate anche da certi aspetti dell'elaborazione musicale (ad esempio, Brown et al., 2004,

Koelsch et al., 2002, Tillmann et al., 2003). I risultati dei risultati di Schon (2010) hanno mostrato chiaramente che all'interno di una rete piuttosto ampia di regioni cerebrali, le dimensioni linguistiche e musicali delle parole cantate non venivano elaborate in modo indipendente. L'interazione tra linguaggio e musica era significativa nei giri temporali medio e superiore bilateralmente, nell'insula e nei giri frontali inferiori bilateralmente e nel cingolato anteriore e posteriore.

Bisogna tuttavia notare che gli studi che hanno esaminato le teorie di dipendenza/indipendenza tra funzioni musicali e linguistiche possono produrre risultati contrastanti. Da una parte, la letteratura sulle lesioni cerebrali sembra favorire la teoria dell'indipendenza, dall'altra, gli studi su soggetti neurologicamente normali favoriscono l'idea di dipendenza. Va oltre lo scopo di questo elaborato approfondire questo dibattito, se non per menzionare che è stata proposta una riconciliazione imponendo una distinzione tra rappresentazione, ed elaborazione almeno per la sintassi (Slevc et al., 2008)., Molti studi suggeriscono una stretta relazione tra linguaggio e musica, indicando che alcuni processi possano basarsi su delle risorse sovrapposte.

4.2. Parallelismi tra linguaggio e musica

Sia il linguaggio che la musica sono universali umani, presenti in tutte le culture (Patel, 2014). Entrambe sono costituite da elementi percettivamente discreti, organizzati in sequenze coerenti strutturate gerarchicamente. Questa organizzazione del linguaggio e della musica non è casuale, ma procede secondo principi sintattici (Patel, 2003).

Ai bambini umani non viene semplicemente insegnata la lingua direttamente: la imparano attraverso l'immersione. Già ben prima di nascere, hanno molte occasioni per allenare le proprie capacità di riconoscimento: un feto inizia a rispondere ai suoni intorno al terzo trimestre, e questo periodo, fino ai 6 mesi, sarà critico per lo sviluppo percettivo uditivo (Graven e Browne, 2008). Anche in questo caso, le caratteristiche del linguaggio a cui presterà attenzione il feto (e, quindi, quelle con cui il bambino una volta nato ha più familiarità) sono le più musicali del discorso: vocalizzi a bassa frequenza, l'intonazione, ed il ritmo. Questa è una consapevolezza che sorge intuitiva a tutti i genitori: quando comunichiamo con un bambino usiamo un parlato tipicamente caratterizzato da un grado ancora maggiore di musicalità, rispetto a quello tipico. Questo discorso diretto ai bambini

(denominato “motherese” in inglese) è di carattere acuto, lento e ritmico, con una gamma di toni più ampia e contorni melodici più esagerati rispetto al tipico discorso diretto ad un adulto (Fernald, 1989). Riscontriamo le stesse caratteristiche anche nelle tipiche ninnanne. Si ipotizza che il linguaggio e il canto specifici per bambini siano così utili nell’apprendimento del linguaggio perché attirano l’attenzione e, allo stesso tempo, possono condurre informazioni affettive (Fernald, 1989). In questo modo possono rinforzare i modelli importanti del linguaggio, come le categorie vocaliche e le divisioni delle parole (Kuhl et al., 1997).

Oramai è stato ampiamente confermato che i neonati, fino ai 6 mesi, sono capaci di discriminare tutti i fonemi di qualunque lingua del mondo, capacità che va poi a disperdersi con la specializzazione verso la propria lingua madre (ad esempio, Eimas et al., 1971). Le "aree vocali temporali" (Belin et al., 2000) nel solco temporale superiore sviluppano selettività per l'identità vocale e la prosodia emotiva tra i 4 e i 7 mesi di età (Blasi et al., 2011). Questa discriminazione fonemica è una capacità dovuta alla sensibilità verso il timbro e ritmo del parlato, difatti, i neonati sono in grado di distinguere tra linguaggi a seconda delle loro caratteristiche ritmiche (Nazzi et al., 1998). Al contrario, tanto più gli aspetti del linguaggio si allontanano dalla musica, tanto più tardivamente saranno appresi: i primi segni di comprensione delle parole si potranno intravedere solo intorno ai 9 mesi (Friederici, 2006). Su questa linea, è interessante notare che anche l’iniziale sillabazione delle parole è basata in gran parte su informazioni ritmiche, e solo successivamente i bambini dimostrano di prestare attenzione per la ricezione del parlato a segnali non basati sull’accentuazione (Jusczyk et al., 1999).

La relazione tra musica e linguaggio continua oltre la prima infanzia, ma il suo ruolo viene significativo ridimensionato, a causa della percezione sociale che pone linguaggio e musica in contrasto, la prima un’abilità innata, mentre l’altra esperienza di pochi. In realtà, acquisire le convenzioni musicali della propria cultura non è più impegnativo che padroneggiare la propria lingua madre (Bigand e Poulin-Charronnat, 2006). Infatti, tra i 2 e i 3 anni di età, i bambini acquisiscono contemporaneamente competenza come la sintassi della loro lingua madre e la sintassi della musica della loro cultura (ad esempio, armonia e appartenenza tonale). Allo stesso modo, se le capacità di discriminazione dei toni raggiunge la sua maturazione adulta intorno ai 10 anni di età,

quella per le armonie implicite raggiunge lo stesso livello intorno ai 12 (Brandt et al., 2012).

In sintesi, l'apprendimento della struttura del suono da parte dei bambini si basa fortemente sugli aspetti musicali del linguaggio: i bambini utilizzano queste caratteristiche (ritmo, contrasto timbrico, contorno melodico) come impalcatura per il successivo sviluppo degli aspetti semantici e sintattici del linguaggio. Man mano che il cervello si specializza a discriminare funzionalmente i suoni caratteristici della propria cultura, i network neurali si specializzano strutturalmente nelle reti neurali "adulte" (Johnson, 2011), iniziano anche a gettare le basi per l'elaborazione del significato e della sintassi più complessa. I bambini sembrano naturalmente affini alla musicalità, il che rende possibile sfruttare la musica per coinvolgere le persone ipoudenti a sviluppare abilità linguistiche.

5. Neuroplasticità

5.1. *Cambiamenti del cervello sordo*

La neuroplasticità, nota anche come plasticità neurale o plasticità cerebrale, è un processo che comporta cambiamenti adattativi strutturali e funzionali del cervello. Una buona definizione è "la capacità del sistema nervoso di modificare la propria attività in risposta a stimoli intrinseci o estrinseci riorganizzando la propria struttura, funzioni o connessioni" (Cramer et al., 2011). Clinicamente, è il processo di cambiamenti cerebrali dopo un infortunio, come un ictus o una lesione cerebrale traumatica.

L'organizzazione, densità, e forza delle connessioni neurali nel sistema nervoso centrale non sono stabili dalla nascita, ma si sviluppano in funzione dell'esperienza individuale (Ripollés et al., 2016), modellando così le funzioni cerebrali (Bavelier et al., 2002). Sebbene il cervello rimanga plastico per tutto l'arco della vita, la plasticità adulta è più limitata sia negli aspetti qualitativi che quantitativi rispetto a quella che si osserva nelle prime fasi dello sviluppo (Neville, 2002). Cambiamenti neuroplastici sono stati osservati dopo un'insorgenza congenita, precoce e persino tardiva della deprivazione sensoriale (per la sordità, vedere, ad esempio, Allman et al., 2009; Sandmann et al., 2012).

Per capire come poter strutturare interventi adeguati, la comunità neuroscientifica si è concentrata su cosa accade in conseguenza alla deprivazione uditiva precoce dovuta al nascere sordi, studiando come influisce sulla strutturazione cerebrale (Merabet et al., 2010). In primo luogo, la corteccia uditiva viene coinvolta nel processare stimoli di modalità sostitutive, che diventano le prevalenti, come la tattile e visiva (Bola et al., 2017). La riorganizzazione funzionale che avviene naturalmente rende possibile avvantaggiarsi delle aree che avrebbero dovuto processare suoni, per invece renderle attive in compiti sensoriali alternativi, come il processamento del linguaggio dei segni (Trumpp et al., 2018), la lettura labiale (Capek et al., 2008), la memoria di lavoro visiva (Ding et al., 2015). Ma le differenze di struttura cerebrale non riguardano unicamente il sistema uditivo, le persone sorde dimostrano un volume delle aree frontali aumentato rispetto alla media (Leporé et al., 2010), come anche dell'insula (Allen et al., 2008), ed un volume della materia grigia della corteccia occipitale minore (Pénicaud et al., 2013). In termini di funzione cerebrale, mostrano un aumento del reclutamento delle aree parietali e occipitali multimodali durante l'esecuzione di compiti di attenzione (Bavelier et al., 2001) e un aumento del reclutamento dell'insula, del cingolo anteriore e del talamo durante le attività di memoria verbale (Green et al., 2008).

Lo sviluppo delle abilità percettive, cognitive e socio-emotive è caratterizzato da finestre temporali specifiche e limitate. Per uno sviluppo tipico, è necessario ricevere determinati input entro determinati periodi critici, particolarmente sensibili (Knudsen, 2004). La letteratura su bambini sordi precoci con un impianto cocleare indica che per uno sviluppo ottimale della funzionalità uditiva, i primi 7 anni di vita sono critici (Putzar et al., 2007). Alcuni studi hanno definito una finestra temporale ancora più precoce, raccomandando l'impianto prima dell'età dei 3.5-4 anni (Sharma et al., 2002).

Esistono periodi critici anche per le funzioni cognitive superiori, come per specifiche funzioni linguistiche (Kuhl, 2011). Nel caso di un'esposizione gravemente ritardata alla prima lingua, alcune funzioni linguistiche, come la struttura sintattica complessa, potrebbero essere perse in modo irreversibile (Mayberry et al., 2002). D'altra parte, altre caratteristiche linguistiche – ad esempio l'elaborazione semantica – sembrano essere meno suscettibili alla ricezione di informazione entro una certa età (Mayberry et al., 2018).

5.2. *Il ruolo della musica*

La musica è uno stimolo complesso che coinvolge più regioni e circuiti cerebrali. La letteratura neuroscientifica dimostra come la musica può indurre una riorganizzazione strutturale studiando le differenze tra cervelli di musicisti e non-musicisti. Ad esempio, i suonatori di archi hanno una rappresentazione cerebrale ingigantita delle dita che usano specificamente per suonare il loro strumento, quanto più un dito viene allenato, tanto più estesa sarà la risposta corticale (Elbert et al., 1995). Studi dimostrano che l'allenamento musicale durante i periodi di maturazione dei tratti fibrosi può causare cambiamenti plastici nella materia bianca (Bengtsson et al., 2005), e che in musicisti la densità della materia grigia è maggiore nella corteccia sensorimotoria primaria sinistra e nel cervelletto destro rispetto ai non-musicisti (Han et al., 2009). Questi risultati suggeriscono, in conseguenza agli adattamenti della materia grigia e bianca, una possibile influenza anche nel numero di sinapsi, nel volume della glia, nella mielinizzazione e nel diametro degli assoni (Han et al., 2009).

Negli anni, è stato riportato che l'allenamento musicale induce cambiamenti strutturali nelle aree corticali coinvolte nelle funzioni sensorimotorie (Schlaug, 2001), nella percezione uditiva (Kraus et al., 2010) e nei tratti di sostanza bianca, come il corpo calloso, il tratto corticospinale e il fascicolo arcuato (Reybrouck et al., 2018) e una maggiore densità di materia grigia anche nell'ippocampo anteriore sinistro (Groussard et al., 2010).

Una rassegna di Chatterjee (2021) riporta risultati di studi longitudinali sull'effetto dell'allenamento musicale nei bambini. Si dimostra miglioramento nell'elaborazione uditiva (Habibi et al., 2016), nelle capacità motorie fini (Martins et al., 2018), nella memoria verbale e nelle funzioni esecutive (Miendlarzewska et al., 2014).

Si è ampiamente discusso anche delle proprietà edonistiche della musica e del suo ruolo di stimolo rinforzante naturale (Chanda et al., 2013). Studi di neuroimaging PET (Blood e Zatorre, 2001) hanno dimostrato che, all'aumento dell'intensità del piacere evocato dalla musica, si osservano cambiamenti del flusso sanguigno cerebrale nelle regioni associate alla ricompensa, alla motivazione, all'eccitazione; vale a dire allo striato ventrale, nel mesencefalo, nella amigdala, nella corteccia orbitofrontale e prefrontale

mediale ventrale. Queste regioni del cervello vengono attivate similamente da stimoli altamente gratificanti come cibo, droghe, sesso (Berridge et al., 2008). Insomma, la musica è in grado di attivare i circuiti cerebrali coinvolti nel piacere e nella ricerca della ricompensa, questo fatto è di grande aiuto alla terapia con bambini, per poter supportare il mantenimento della loro attenzione e motivazione.

Per la maggior parte degli utenti con impianti cocleari, tuttavia, l'esperienza musicale può essere profondamente diversa. I sondaggi hanno dimostrato che dopo l'impianto, l'ascolto e godimento della musica vedono un forte abbassamento.

Secondo McDermott (2004), questo accade a causa del numero limitato di elettrodi disponibili e della mancata corrispondenza tra la frequenza degli impulsi elettrici e la frequenza del suono in ingresso. L'impianto cocleare fatica a codificare adeguatamente lo spettro del suono necessario per percepire l'altezza e il timbro musicale. Inoltre, una serie di variabili individuali del paziente, come il grado di sopravvivenza dei neuroni uditivi, la profondità di inserimento e il posizionamento degli elettrodi all'interno della coclea, spesso influiscono sulla misura in cui le informazioni musicali possono essere decodificate con successo. Ciò è supportato da diversi studi, che concludono che, sebbene la percezione di schemi ritmici semplici si avvicini ai livelli dell'udito normale, il riconoscimento della melodia e del timbro è significativamente più scarso negli utenti di impianti cocleari rispetto ai soggetti di controllo udenti (Cooper et al., 2008).

Eppure, in primo luogo bisogna prestare attenzione all'eterogeneità della comunità di persone sorde, che non possono essere riassunte in generalizzazioni statistiche. Come scrive Sylvain Brétéché (2021), parlando della percezione musicale in persone sorde, "la relazione tra Sordo e musica è spesso vista come alterata, deteriorata, o ridotta [...]. Ciononostante, "l'ascolto Sordo" è reale e confonde le nostre concezioni ordinarie, sottolineando che per quanto la sordità sia una condizione, non rivela *alterazione*, ma piuttosto *alternativa*". Alcuni studi hanno dimostrato che ci sono casi in cui gli utenti con impianti cocleari ritrovano il piacere nel consumare musica attraverso l'ascolto ripetuto (Gfeller et al., 2005).

Questo è supportato anche dalle più recenti ricerche (Bonna et al., 2021), le strutture cerebrali in giovane età si rimodellano per avvantaggiarsi delle parti che

avrebbero processato il suono, interessandosi piuttosto alle vibrazioni e ad aspetti visivi. Il senso vibrotattile ha attratto scarso interesse negli anni, ma gli studi di Prsa (2019; 2021) hanno dimostrato che la percezione tattile di vibrazioni diviene più sensibile alla variabilità delle frequenze e intensità, alla quale risponderanno impulsi neuronali diversi, come accade nel sistema uditivo. Quindi, nonostante la diffidenza che si potrebbe avere a primo impatto nel proporre training musicali a chi apparentemente ha perso la possibilità di beneficiarne, la letteratura dimostra che non dovremmo mai lasciarci guidare dalla percezione socialmente determinata del “normale”.

6. La riabilitazione cognitiva

6.1. *I training musicali*

Negli ultimi anni le ricerche hanno confermato i benefici legati all'utilizzo della musica in terapie riabilitative, sottolineando notevoli vantaggi rispetto a programmi riabilitativi basati su altre arti, come le arti visive.

In una serie di studi, Moreno e colleghi (2009) hanno dimostrato che laddove le abilità allenate nel training musicale si sono trasferite in un miglioramento dell'elaborazione uditiva, nessun miglioramento è stato osservato nel gruppo delle arti visive. Un successivo studio dello stesso stampo (Moreno et al., 2011) ha riscontrato, durante un compito sulle funzioni esecutive, che i bambini avevano anche una migliore conoscenza del vocabolario, indicando un aumento dell'intelligenza verbale.

Mettendo il training musicale a confronto con altre attività dove l'aspetto verbale è coinvolto, Moreno e colleghi (2006) hanno scoperto che, rispetto ad un gruppo che riceveva lezioni di teatro, la formazione musicale di bambini di 9-11 anni migliorava la loro capacità di percepire segnali prosodici.

L'allenamento musicale sembra presentare alcuni vantaggi rispetto ad altri approcci di allenamento uditivo (ad esempio, l'allenamento vocale). In termini di plasticità uditiva intersettoriale, l'allenamento musicale migliora le reti cerebrali sovrapposte condivise dall'elaborazione del linguaggio e della musica (Besson et al., 2007). La percezione della musica può anche porre requisiti più elevati all'elaborazione

uditiva, rispetto alla percezione del parlato, poiché coinvolge le emozioni e l'attenzione focalizzata (Patel, 2014). Numerosi studi condotti su ascoltatori normo-dotati hanno riportato effetti positivi dell'allenamento musicale sulla percezione dell'intonazione. Ad esempio, è stato dimostrato che i musicisti, che si sottopongono ad anni di formazione musicale, mostrano prestazioni superiori nella percezione dell'intonazione e risposte neurofisiologiche più sensibili rispetto ai non musicisti (Brown et al., 2017; Fuller et al., 2014). Tale formazione musicale a lungo termine può essere estesa al dominio del parlato e influenzare positivamente la percezione del parlato nel rumore (Baskent et al., 2016). È più probabile che queste differenze nelle risposte neurali e nella funzione uditiva nei musicisti, rispetto ai non-musicisti, derivino dalla plasticità cerebrale indotta dall'allenamento piuttosto che dalle loro pre-esistenti predisposizioni biologiche per la musica (Besson et al., 2007).

Poiché una funzione importante della musica è quella di trasmettere emozioni (Juslin & Laukka, 2003), l'allenamento musicale è stato suggerito come modo per migliorare l'elaborazione degli aspetti emotivi del linguaggio. In particolare, nel caso della prosodia nel discorso. Essa implica l'uso di segnali paralinguistici, come variazioni di tono o velocità, che servono a evidenziare la sintassi e la semantica di un'espressione, nonché lo stato emotivo di chi parla (Petersen et al., 2012). I segnali paralinguistici, come il cambio di tono, la velocità del parlato e il volume, sono essenziali per la precisione nella decodifica delle emozioni nel parlato (Frick, 1985). Ad esempio, Jamieson e colleghi (2003) hanno visto che partecipanti musicalmente formati hanno sovraperformato i partecipanti non addestrati nell'estrarre segnali prosodici nel discorso. Un ulteriore studio indica anche una migliore abilità nell'interpretare la prosodia, cioè riuscire a interpretare l'emozione espressa dall'interlocutore solo attraverso la frequenza della loro voce (Thompson et al., 2004). Questi risultati potrebbero indicare un potenziale effetto positivo del training musicale anche sull'elaborazione emotiva del parlato negli utenti con impianti cocleari.

6.2. *L'efficacia della riabilitazione*

Come abbiamo potuto osservare nel corso di questo elaborato, lo scopo principale degli sforzi riabilitativi volti alle persone sorde è quello di ripristinare o promuovere le capacità primarie del sistema uditivo: la prima è quella comunicativa, dare la possibilità a qualunque bambino di ottimizzare il suo livello di sviluppo linguistico, da cui dipendono conseguenze cognitive e socio-emotive (Yoshinaga-Itano, 2003). Uno scopo secondario è quello di fornire consapevolezza dei suoni circostanti, per consentire l'identificazione e la localizzazione di suoni nell'ambiente, al fine di garantire la propria sicurezza. Nella specie umana, l'udito è il senso che svolge il ruolo importante di avvisare gli individui riguardo ad eventi che accadono a distanza, fuori dal campo visivo, rendendo possibile ridirezionare l'attenzione rapidamente se necessario (Näätänen, 1992).

Nello studio di Torppa e colleghi (2018), si dimostra una correlazione tra il processamento corticale di suoni di strumenti musicali e la percezione del parlato rumori di sottofondo. Dimostrano anche una correlazione tra il cantare a casa propria e la percezione degli accenti, come anche fra attività di gioco musicali a scuola e la percezione degli accenti (2010). Come nello studio di Moreno e colleghi (2011), hanno riscontrato anche un miglioramento nell'intelligenza verbale rispetto ai bambini con impianti cocleari che non hanno partecipato alle attività. Sia per i bambini sordi che per quelli udenti, tutte le abilità linguistiche sono migliorate con una migliore percezione dello stress prosodico, dimostrando che la percezione della prosodia aiuta l'apprendimento linguistico di entrambi le condizioni di sviluppo.

Rochette e colleghi (2014) hanno condotto uno studio trasversale su bambini sordi in età preverbale che utilizzano apparecchi di supporto, confrontando due gruppi a seconda del loro coinvolgimento in attività musicali. Hanno riscontrato che, rispetto ai bambini senza formazione musicale, i bambini con formazione musicale ottenevano risultati migliori nei compiti di misurazione della memoria di lavoro uditiva, nell'analisi della scena uditiva e nella discriminazione fonetica.

In alcuni studi senza un gruppo di controllo è stata seguita la performance nel corso del tempo di un gruppo di bambini con disabilità uditive che partecipavano ad un intervento musicale. I risultati di questo studio indicano un significativo miglioramento nella percezione melodica (Fu et al., 2015), nei neonati una maggiore propensione ai vocalizzi e all'attenzione ed anticipazione per i suoni (Rocca, 2015), una maggiore

sicurezza nel controllo della loro voce, ed un aumentata capacità di coinvolgersi socialmente (Innes-Brown et al., 2013). Tali studi misurano da una parte l'effetto dello sviluppo delle abilità uditive o linguistiche legate all'apprendimento musicale, d'altra parte lo sviluppo delle stesse abilità legate alla maturazione generale e all'esposizione alla parola, cioè alla pratica quotidiana delle abilità linguistiche.

In un programma riabilitativo, che coinvolge l'intera famiglia, chiamato Musical EARS si è osservato un miglioramento nel cantare, riconoscere canzoni e melodie, ed il processamento del timbro e il ritmo (Kosaner et al., 2012)

Una recente rassegna sistematica (León Méndez et al., 2023), con l'obiettivo di raccogliere studi che utilizzano training ritmici sulle abilità linguistiche in utenti con impianti cocleari dagli 8 ai 16 anni, suggerisce un impatto positivo su vari fronti, non solo nell'ambito della comunicazione (percezione e produzione del parlato, discriminazione delle caratteristiche fonetiche e di sintassi), ma anche nelle abilità musicali e un rafforzamento di funzioni cognitive, quali memoria e attenzione.

In particolare, due studi di Hidalgo e colleghi (2017, 2019), hanno indagato sulla produzione del parlato sia in bambini che udenti attraverso training computer-based. Si è visto che bambini con impianti cocleari diventavano sensibili al flusso del parlato solo dopo l'allenamento messo a disposizione, cioè erano in grado di adattarsi ad una velocità del parlato adeguata. Inoltre, a confronto con programmi strutturati similmente, è apparso che i bambini sordi con impianti cocleari hanno presentato benefici più pronunciati e duraturi rispetto all'allenamento uditivo tradizionale.

In aggiunta, uno studio (Roman et al., 2016) ha messo in comparazione due gruppi di bambini con impianti cocleari, uno che segue allenamenti ritmici, ed uno che non riceve nessun tipo di training. Il primo gruppo ha dimostrato un miglioramento significativo in tutti i sottotest di discriminazione fonetica, mentre il gruppo di controllo non mostrava alcun miglioramento.

Allo stesso modo, studi sulla consapevolezza sintattica hanno analizzato la capacità di monitorare le relazioni tra le parole in una frase per comprenderne il significato durante la lettura o la composizione orale o scritta. Bedoin e colleghi (2018) hanno suddiviso due gruppi secondo tipi di suoni, nel primo erano musicali (ad esempio,

il suono di una chitarra) e altri erano suoni ambientali (ad esempio, un cane che abbaia), osservando un miglioramento significativo nei giudizi grammaticali dei bambini e nelle capacità di ripetizione di non parole solo nella condizione musicale. Tuttavia, è stato osservato un miglioramento significativo sia per le condizioni musicali che per quelle di controllo quando si valutava la capacità di comprensione della sintassi.

Good e colleghi (2017) hanno scoperto che, rispetto alla formazione artistica, la formazione musicale porta a prestazioni migliori nella prosodia percepita del discorso emotivo, in particolare nei compiti esclusivamente uditivi, come anche nella discriminazione musicale e ritmo.

In riferimento al miglioramento di ulteriori funzioni cognitive, un ulteriore studio di Torppa e colleghi (2020) ha dimostrato che anche abilità legate allo sviluppo del linguaggio come memoria visuo-spaziale e attenzione erano positivamente influenzate. Questi risultati sono in linea con quelli riportati da Cheng e colleghi (2018), che hanno dimostrato prestazioni nei compiti di riconoscimento lessicale e delle frasi significativamente migliori, vale a dire che i bambini formati con l'intervento musicale hanno migliorato il riconoscimento delle frasi, la percezione del parlato e la percezione della musica.

Tuttavia, Yucel e colleghi (2009) hanno concluso che l'allenamento musicale non produce benefici per la prosodia emotiva o la percezione dell'intonazione. Hanno però osservato che la percezione del parlato nel rumore, la prosodia delle domande/affermazioni, il timbro musicale e la risoluzione spettrale miglioravano significativamente quando i bambini venivano addestrati con un intervento di pattern ritmici.

7. Conclusioni e discussione

Il presente elaborato si è posto l'obiettivo di evidenziare i molteplici benefici dell'utilizzo della musica in terapie riabilitative per bambini sordi o non-udenti.

Nel corso della storia umana, la possibilità di comunicare ha plasmato, attraverso un'influenza reciproca, il modo in cui viviamo all'interno del gruppo allargato. Il linguaggio ha consentito ai nostri antenati di trasmettere informazioni nel corso delle generazioni e coordinare idee collettive di società (Carvalho et al., 2016). Usare l'udito

per funzionare nel mondo significa rilevare e poter manipolare mentalmente il suono prodotto dalle numerose sorgenti sonore che ci circondano costantemente. Quindi, una funzionalità complessa che, per persone sorde, si rivela difficile anche con protesi acustiche. Negli ultimi decenni, si è visto un forte aumento dell'interesse dei ricercatori nella perdita dell'udito in età evolutiva, in contrasto con anni passati, quando si arrivò a coniare il termine "i nostri bambini dimenticati" (Davis et al., 1981), in riferimento all'ignoranza rispetto ai bisogni di questa popolazione.

Al giorno d'oggi, siamo fortemente consapevoli che competenze linguistiche limitate durante l'infanzia possono avere conseguenze per tutta la vita in una serie di aree, tra cui il comportamento, l'apprendimento, il benessere e l'occupazione futura (Schoon et al., 2010). Lo sviluppo del linguaggio, anche attraverso il supporto di tecnologie avanzate come gli impianti cocleari, si basa su un'ampia variabilità di fattori personali e ambientali: genere, QI non verbale, affinità per l'ascolto e lo sviluppo del linguaggio orale, caratteristiche educative e socioeconomiche della famiglia, sono tutte caratteristiche che possono influenzare i risultati finali dell'impianto cocleare (Moog et al., 2010).

Di conseguenza, per potenziare queste capacità, spesso, davanti ad una disabilità sensoriale, ci si rivolge alla riabilitazione cognitiva, un approccio sistematico per migliorare la funzione cerebrale superiori che può essere definita come l'insieme delle tecniche e delle procedure volte ad aiutare persone con deficit cognitivi, comportamentali, emotivi e linguistici (Cicerone et al., 2019). Gli effetti dei programmi di riabilitazione cognitiva sono stati dimostrati sulle abilità linguistiche, abilità comunicative, percezione uditiva, produzione del linguaggio, abilità sociali ed emotive nei bambini sordi (Glanemann et al., 2016).

Da questo punto di vista, la musica si è rivelata uno strumento multimodale utile per contribuire a comprendere la capacità plastica del cervello, Inoltre, Darrow (2006a) ha osservato come la musica possa essere importante nel lavoro con le persone sorde, ha evidenziato che: "a causa della sua ampia gamma di frequenze e intensità, la musica è generalmente molto più accessibile del parlato per coloro che hanno una perdita uditiva" (p. 5).

I training musicali sono stati implementati con risultati positivi in vari studi, alcuni coinvolgendo proprio persone con impianti cocleari. La plasticità tra domini che può

indurre la musica sembra avere un impatto significativo sugli utenti di impianti cocleari che desiderano sottoporsi a terapie riabilitative per migliorare la percezione del parlato, l'ampiezza del vocabolario, la prosodia, come anche la percezione della musica in sé. Ad esempio, Hyde e colleghi (2009) hanno riscontrato miglioramenti nelle capacità uditive e nelle strutture neurali nei bambini di 5-6 anni dopo un allenamento musicale di 15 mesi. I cambiamenti neurali strutturali si osservavano principalmente nelle aree corticali temporale, frontale e parieto-occipitale, cioè le stesse aree in cui i musicisti professionisti adulti mostrano cambiamenti corticali più significativi e consistenti.

Ulteriormente, Dittinger e colleghi (2017) hanno evidenziato che nel compito di apprendere nuove parole, i bambini con una formazione musicale erano più veloci e avevano risposte cerebrali migliori alle parole apprese. Allo stesso modo, dagli studi di Strait e colleghi (2014) emergono diversi cambiamenti negli ambiti del linguaggio dopo due anni di formazione musicale, rispetto ai bambini ancora in lista d'attesa, che fungevano come gruppo di controllo.

Innanzitutto, l'efficienza della risposta del tronco encefalico nel replicare il contenuto acustico di sillabe era aumentata in modo significativo. In secondo luogo, l'elevata efficienza della risposta del tronco encefalico e l'accuratezza temporale erano correlate con migliori capacità di lettura.

Alla luce della letteratura esaminata, che ha dimostrato come l'esposizione e l'allenamento legati alla musicalità possano migliorare l'attività del sistema uditivo e del cervello, così come l'attenzione uditiva, il linguaggio, e le prestazioni di apprendimento, sembra verosimile suggerire che la musica dovrebbe essere usata come strumento riabilitativo per bambini con diversi tipi di problemi uditivi, sia per aiutarli a migliorare le loro abilità linguistiche, sia per migliorare le loro capacità uditive in generale. È infatti diventato sempre più comune l'utilizzo della musica nell'ambito della logopedia e nella riabilitazione generale di questi bambini.

Infine, per quanto riguarda i limiti di questa revisione bibliografica, è importante notare che sono necessarie ulteriori ricerche nell'ambito, soprattutto miglioramenti per quanto riguarda gli strumenti utilizzati per valutare gli effetti delle attività musicali sulle competenze linguistiche dei bambini non-udenti.

Una procedura standardizzata per valutare gli effetti di questi tipi di formazione sulle diverse competenze potrebbe migliorare l'accuratezza di queste valutazioni, contribuendo allo stesso tempo ad aumentare la generalibilità dei risultati. Vari studi (ad esempio, Gfeller et al., 2016) hanno sottolineato la scarsità di prove da studi di intervento randomizzati e completamente controllati sull'impatto degli interventi di formazione musicale sulla percezione del parlato o sulle abilità linguistiche dei bambini con impianti. Nonostante la direzione significativamente positiva che stanno prendendo gli studi neuroscientifici sull'argomento, queste critiche sono valide ed è importante considerarle quando si progettano nuove ricerche

Uno dei motivi principali della mancanza di studi standardizzati è la popolazione relativamente bassa di bambini con impianti cocleari, rispetto ai bambini con udito normale. In secondo luogo, le famiglie con bambini non-udenti possono non farsi coinvolgere in attività di ricerca perché in genere sono già impegnate nei programmi di riabilitazione standard, come la logopedia. Pertanto, potrebbero non avere le risorse, o il tempo, necessarie per prendere parte a studi empirici.

In ultimo, la letteratura con studi randomizzati e controllati su larga scala su bambini che usano impianti cocleari, o in generale sulla fascia di sviluppo con problemi di udito, è scarsa. Di conseguenza, sarà di fondamentale importanza considerare i risultati attuali con l'adeguata cautela, in quanto è necessario un maggior numero di dati raccolti su campioni più numerosi prima di arrivare a considerazioni conclusive.

BIBLIOGRAFIA

Felten, Peter & Bauman, Dirksen. (2013). Reframing Diversity and Student Engagement: Lessons from Deaf-Gain.

Holcomb T. K. (2013). Introduction to American Deaf culture. New York, NY: Oxford University Press.

Sheppard K. (2014). Deaf adults and health care: Giving voice to their stories. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*, 26, 504-510.

Rudner M, Seeto M, Keidser G, Johnson B, Rönnerberg J. Poorer speech reception threshold in noise is associated with lower brain volume in auditory and cognitive processing regions. *J Speech Lang Hear Res* 2019;62:1117–30.

Hallahan DP, Kauffman JM, Pullen PC. Exceptional learners: an introduction to special education. 14th ed. Boston: Pearson/Allyn & Bacon; 2018.

Chen Y ,Wong LLN. Speech perception in Mandarin-speaking children with cochlear implants: a systematic review. *Int J Audiol* 2017;56(2):S7–16.

Ciscare, G. K. S., Mantello, E. B., Fortunato-Queiroz, C. A. U., Hyppolito, M. A., & Reis, A. C. M. B. D. (2017). Auditory Speech Perception Development in Relation to Patient's Age with Cochlear Implant. *International archives of otorhinolaryngology*, 21(3), 206–212. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584296>

Irwin, L. G., Siddiqi, A., and Hertzman, C. (2007). Early child development: A powerful equalizer: Final report. Available online at: <http://whqlibdoc.who.int/hq/2007/a91213.pdf?ua=1>

Almeida J, Nunes G, Marques JF, Amaral L. Compensatory plasticity in the congenitally deaf for visual tasks is restricted to the horizontal plane. *J Exp Psychol Gen*. 2018 Jun;147(6):924-932. doi: 10.1037/xge0000447. PMID: 29888942.

Hall, M. L., Eigsti, I. M., Bortfeld, H., & Lillo-Martin, D. (2017). Auditory Deprivation Does Not Impair Executive Function, But Language Deprivation Might: Evidence From a Parent-Report Measure in Deaf Native Signing Children. *Journal of deaf studies and deaf education*, 22(1), 9–21. <https://doi.org/10.1093/deafed/enw054>

Friedman, N.P., Miyake, A., Corley, R.P., Young, S.E., DeFries, J.C., & Hewitt, J.K. (2006). Not all executive functions are related to intelligence. *Psychological Science*, 17, 172–179.

Mason K, Marshall CR, Morgan G. Executive Function Training for Deaf Children: Impact of a Music Intervention. *J Deaf Stud Deaf Educ*. 2021 Sep 15;26(4):490-500. doi: 10.1093/deafed/enab026. PMID: 34476479; PMCID: PMC8448422.

Figueras B, Edwards L, Langdon D. Executive function and language in deaf children. *J Deaf Stud Deaf Educ*. 2008 Summer;13(3):362-77. doi: 10.1093/deafed/enm067. Epub 2008 Feb 4. PMID: 18252699.

Diamond A, Ling DS. Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Dev Cogn Neurosci*. 2016 Apr;18:34-48. doi: 10.1016/j.dcn.2015.11.005. Epub 2015 Dec 7. PMID: 26749076; PMCID: PMC5108631.

Diamond A, Lee K. Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*. 2011 Aug 19;333(6045):959-64. doi: 10.1126/science.1204529. PMID: 21852486; PMCID: PMC3159917.

Montessori, M. (1964). *The Montessori method*.. New York, Schocken Books.

Merrett DL, Peretz I, Wilson SJ. Moderating variables of music training-induced neuroplasticity: a review and discussion. *Front Psychol*. 2013 Sep 9;4:606. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00606. PMID: 24058353; PMCID: PMC3766835.

Yucel E, Sennaroglu G, Belgin E. The family oriented musical training for children with cochlear implants: speech and musical perception results of two year follow-up. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. 2009 Jul;73(7):1043-52. doi: 10.1016/j.ijporl.2009.04.009. Epub 2009 May 2. PMID: 19411117.

Schellenberg EG. Music lessons enhance IQ. *Psychol Sci*. 2004 Aug;15(8):511-4. doi: 10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x. PMID: 15270994.

Maess B, Koelsch S, Gunter TC, Friederici AD. Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nat Neurosci*. 2001 May;4(5):540-5. doi: 10.1038/87502. PMID: 11319564.

Hassanzadeh S. Outcomes of cochlear implantation in deaf children of deaf parents: comparative study. *The Journal of Laryngology & Otology*. 2012;126(10):989-994. doi:10.1017/S0022215112001909

Jalil-Abkenar S S, Ashori M, Pourmohamadreza-Tajrishi M, Hasanzadeh S. Auditory Perception and Verbal Intelligibility in Children with Cochlear Implant, Hearing Aids and Normal Hearing. *PCP* 2013; 1 (3) :141-147

Mueller, Jutta & Friederici, Angela & Männel, Claudia. (2012). Auditory perception at the root of language learning. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109. 15953-8. [10.1073/pnas.1204319109](https://doi.org/10.1073/pnas.1204319109).

Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al., editors. *Neuroscience*. 2nd edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2001. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10799/>

Bear, Mark F., author. *Neuroscience : Exploring the Brain*. Philadelphia :Wolters Kluwer, 2016.

Langner, G., & Ochse, M. (2006). The neural basis of pitch and harmony in the auditory system. *Musicae Scientiae*, 10(1_suppl), 185-208. <https://doi.org/10.1177/102986490601000109>

Smith EH, Kellis SS, House PA, Greger B. Information transfer along the ventral auditory processing stream in the awake macaque. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*. 2012;2012:5178-81. doi: 10.1109/EMBC.2012.6347160. PMID: 23367095.

Pando-Naude V, Patyczek A, Bonetti L, Vuust P. An ALE meta-analytic review of top-down and bottom-up processing of music in the brain. *Sci Rep*. 2021 Oct 21;11(1):20813. doi: 10.1038/s41598-021-00139-3. PMID: 34675231; PMCID: PMC8531391.

Brown, M., Irvine, D. R. F., and Park, V. N. (2004). Perceptual learning on an auditory frequency discrimination task by cats: association with changes in primary auditory cortex. *Cereb. Cortex* 14, 952–965.

McDermott JH, Oxenham AJ. Music perception, pitch, and the auditory system. *Curr Opin Neurobiol*. 2008 Aug;18(4):452-63. doi: 10.1016/j.conb.2008.09.005. Epub 2008 Oct 2. PMID: 18824100; PMCID: PMC2629434.

Zatorre, R., Chen, J. & Penhune, V. When the brain plays music: auditory–motor interactions in music perception and production. *Nat Rev Neurosci* 8, 547–558 (2007). <https://doi.org/10.1038/nrn2152>

Patterson RD, Uppenkamp S, Johnsrude IS, Griffiths TD. The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron*. 2002 Nov 14;36(4):767-76. doi: 10.1016/s0896-6273(02)01060-7. PMID: 12441063.

Grahn, Jessica & Brett, Matthew. (2007). Rhythm and Beat Perception in Motor Areas of the Brain. *Journal of cognitive neuroscience*. 19. 893-906. [10.1162/jocn.2007.19.5.893](https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893).

James M. Bebko, Rosemary Calderon, Robert Treder, The Language Proficiency Profile-2: Assessment of the Global Communication Skills of Deaf Children Across Languages and Modalities of Expression, *The Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, Volume 8, Issue 4, October 2003, Pages 438–451, <https://doi.org/10.1093/deafed/eng034>

Lenarz T. Cochlear implant - state of the art. *GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2018 Feb 19;16:Doc04.

Cole EB, Flexer C. *Children with hearing loss: developing listening and talking, birth to six.* 2nd ed. San Diego, CA: Plural Publishing, Inc;2010. p.1-365.

Crowson MG, Semenov YR, Tucci DL, Niparko JK. Quality of life and cost-effectiveness of cochlear implants: a narrative review. *Audiol Neurootol* 2017;22:236-58.

Riss D, Hamzavi JS, Katzinger M, Baumgartner WD, Kaider A, Gstoettner W, Arnoldner C. Effects of fine structure and extended low frequencies in pediatric cochlear implant recipients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2011 Apr;75(4):573-8. doi: 10.1016/j.ijporl.2011.01.022. Epub 2011 Feb 15. PMID: 21324531.

Pisoni DB, Kronenberger WG, Harris MS, Moberly AC. Three challenges for future research on cochlear implants. *World J Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2018 Jan 2;3(4):240-254. doi: 10.1016/j.wjorl.2017.12.010. PMID: 29780970; PMCID: PMC5956139.

Almomani F, Al-Momani MO, Garadat S, Alqudah S, Kassab M, Hamadneh S, Rauterkus G, Gans R. Cognitive functioning in Deaf children using Cochlear implants. *BMC Pediatr.* 2021 Feb 10;21(1):71.

Connor CM, Craig HK, Raudenbush SW, Heavner K, Zwolan TA. The age at which young deaf children receive cochlear implants and their vocabulary and speech-production growth: is there an added value for early implantation? *Ear Hear.* 2006 Dec;27(6):628-44.

Tait ME, Nikolopoulos TP, Lutman ME. Age at implantation and development of vocal and auditory preverbal skills in implanted deaf children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2007 Apr;71(4):603-10.

Kral A, Sharma A. Developmental neuroplasticity after cochlear implantation. *Trends Neurosci* 2012;35:111-22

Ganek H, McConkey Robbins A, Niparko JK. Language outcomes after cochlear implantation. *Otolaryngol Clin North Am* 2012;45: 173-85

Qi S, Mitchell RE. Large-scale academic achievement testing of deaf and hard-of-hearing students: past, present, and future. *J Deaf Stud Deaf Educ.* 2012 Winter;17(1):1-18. doi: 10.1093/deafed/enr028. Epub 2011 Jun 28. PMID: 21712463.

Garberoglio, C.L., Schoffstall, S., Cawthon, S. et al. The Role of Self-Beliefs in Predicting Postschool Outcomes for Deaf Young Adults. *J Dev Phys Disabil* 26, 667–688 (2014). <https://doi.org/10.1007/s10882-014-9388-y>

Teasdale TW, Sorensen MH. Hearing loss in relation to educational attainment and cognitive abilities: a population study. *Int J Audiol*. 2007 Apr;46(4):172-5. doi: 10.1080/14992020601089484. PMID: 17454229.

Idstad M, Engdahl B. Childhood Sensorineural Hearing Loss and Educational Attainment in Adulthood: Results From the HUNT Study. *Ear Hear*. 2019 Nov/Dec;40(6):1359-1367. doi: 10.1097/AUD.0000000000000716. PMID: 30946138.

Doković S, Gligorović M, Ostojić S, Dimić N, Radić-Šestić M, Slavnić S. Can mild bilateral sensorineural hearing loss affect developmental abilities in younger school-age children? *J Deaf Stud Deaf Educ*. 2014 Oct;19(4):484-95. doi: 10.1093/deafed/enu018. Epub 2014 Jul 25. PMID: 25063005.

Tomblin JB, Harrison M, Ambrose SE, Walker EA, Oleson JJ, Moeller MP. Language Outcomes in Young Children with Mild to Severe Hearing Loss. *Ear Hear*. 2015 Nov-Dec;36 Suppl 1(0 1):76S-91S. doi: 10.1097/AUD.0000000000000219. PMID: 26731161; PMCID: PMC4704115.

Walker, E. A., Holte, L., McCreery, R. W., Spratford, M., Page, T., & Moeller, M. P. (2015). The Influence of Hearing Aid Use on Outcomes of Children With Mild Hearing Loss. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 58(5), 1611–1625. https://doi.org/10.1044/2015_JSLHR-H-15-0043

Beer, J., Kronenberger, W. G., & Pisoni, D. B. (2011). Executive function in everyday life: implications for young cochlear implant users. *Cochlear Implants International*, 12(sup1), S89–S91. <https://doi.org/10.1179/146701011X13001035752570>

AuBuchon AM, Pisoni DB, Kronenberger WG. Verbal processing speed and executive functioning in long-term cochlear implant users. *J Speech Lang Hear Res*. 2015 Feb;58(1):151-62. doi: 10.1044/2014_JSLHR-H-13-0259. PMID: 25320961; PMCID: PMC4329274.

Cushing, S. L., & Papsin, B. C. (2018). Cochlear Implants and Children with Vestibular Impairments. *Seminars in hearing*, 39(3), 305–320. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666820>

Šantić IŠ, Bonetti L. Language Intervention Instead of Speech Intervention for Children With Cochlear Implants. *J Audiol Otol*. 2023 Apr;27(2):55-62. doi: 10.7874/jao.2022.00584. Epub 2023 Apr 10. PMID: 37073450; PMCID: PMC10126584.

Fellinger J, Holzinger D, Sattel H, Laucht M, Goldberg D. Correlates of mental health disorders among children with hearing impairments. *Dev Med Child Neurol*. 2009;51:635–41

Humphries T, Kushalnagar P, Mathur G, Napoli DJ, Padden C, Rathmann C, et al. Bilingualism: a pearl to overcome certain perils of cochlear implants. *J Med Speech Lang Pathol*. 2014;21:107–25.

Nittrouer S, Caldwell-Tarr A, Low KE, Lowenstein JH. Verbal Working Memory in Children With Cochlear Implants. *J Speech Lang Hear Res.* 2017 Nov 9;60(11):3342-3364. doi: 10.1044/2017_JSLHR-H-16-0474. PMID: 29075747; PMCID: PMC5945083.

Davidson LS, Geers AE, Uchanski RM, Firszt JB. Effects of Early Acoustic Hearing on Speech Perception and Language for Pediatric Cochlear Implant Recipients. *J Speech Lang Hear Res.* 2019 Sep 20;62(9):3620-3637. doi: 10.1044/2019_JSLHR-H-18-0255. Epub 2019 Sep 13. PMID: 31518517; PMCID: PMC6808345.

Rudner M, Foo C, Rönnerberg J, Lunner T. (2009), Cognition and aided speech recognition in noise: Specific role for cognitive factors following nine-week experience with adjusted compression settings in hearing aids. *Scandinavian Journal of Psychology*, 50: 405-418. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9450.2009.00745.x>

Twomey T, Price CJ, Waters D, MacSweeney M. The impact of early language exposure on the neural system supporting language in deaf and hearing adults. *Neuroimage.* 2020 Apr 1;209:116411. doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.116411. Epub 2019 Dec 16. PMID: 31857205; PMCID: PMC7985620.

Perruchet P, Pacton S. Implicit learning and statistical learning: one phenomenon, two approaches. *Trends Cogn Sci.* 2006 May;10(5):233-8. doi: 10.1016/j.tics.2006.03.006. Epub 2006 Apr 17. PMID: 16616590.

Deocampo JA, Smith GNL, Kronenberger WG, Pisoni DB, Conway CM. The Role of Statistical Learning in Understanding and Treating Spoken Language Outcomes in Deaf Children With Cochlear Implants. *Lang Speech Hear Serv Sch.* 2018 Aug 14;49(3S):723-739. doi: 10.1044/2018_LSHSS-STLT1-17-0138. PMID: 30120449; PMCID: PMC6198910.

Romberg AR, Saffran JR. Statistical learning and language acquisition. *Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.* 2010 Nov;1(6):906-914. doi: 10.1002/wcs.78. PMID: 21666883; PMCID: PMC3112001.

McMullen E, Saffran J. (2004). Music and Language: A Developmental Comparison. *Music Perception - MUSIC PERCEPT.* 21. 289-311. 10.1525/mp.2004.21.3.289.

Soley, G., & Hannon, E. E. (2010). Infants prefer the musical meter of their own culture: A cross-cultural comparison. *Developmental Psychology*, 46(1), 286–292. <https://doi.org/10.1037/a0017555>

Gordon RL, Fehd HM, McCandliss BD. Does Music Training Enhance Literacy Skills? A Meta-Analysis. *Front Psychol.* 2015 Dec 1;6:1777. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01777. PMID: 26648880; PMCID: PMC4664655.

Ettlinger, M., & Zapf, J. (2011). The role of phonology in children's acquisition of the plural. *Language Acquisition: A Journal of Developmental Linguistics*, 18(4), 294–313. <https://doi.org/10.1080/10489223.2011.605044>

Brown S, Martinez MJ, Parsons LM. Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*. 2004 Sep 15;15(13):2033-7. doi: 10.1097/00001756-200409150-00008. PMID: 15486477.

Koelsch S, Gunter TC, v Cramon DY, Zysset S, Lohmann G, Friederici AD. Bach speaks: a cortical "language-network" serves the processing of music. *Neuroimage*. 2002 Oct;17(2):956-66. PMID: 12377169.

Tillmann B, Janata P, Bharucha JJ. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Brain Res Cogn Brain Res*. 2003 Apr;16(2):145-61. doi: 10.1016/s0926-6410(02)00245-8. PMID: 12668222.

Schön D, Gordon R, Campagne A, Magne C, Astésano C, Anton JL, Besson M. Similar cerebral networks in language, music and song perception. *Neuroimage*. 2010 May 15;51(1):450-61. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.02.023. Epub 2010 Feb 13. PMID: 20156575.

Slevc, L & Rosenberg, Jason & Aniruddh, & Patel, D. (2008). Language, Music, and Modularity: Evidence for Shared Processing of Linguistic and Musical Syntax.

Patel A. D. (2014). Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing research*, 308, 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.08.011>

Patel A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature neuroscience*, 6(7), 674–681. <https://doi.org/10.1038/nn1082>

Graven S. N., Browne J. V. (2008). Auditory Development in the Fetus and Infant, *Newborn and Infant Nursing Reviews*,8(4), 187-193. ISSN 1527-3369. <https://doi.org/10.1053/j.nainr.2008.10.010>.

Fernald, A., Taeschner, T., Dunn, J., Papousek, M., de Boysson-Bardies, B., & Fukui, I. (1989). A cross-language study of prosodic modifications in mothers' and fathers' speech to preverbal infants. *Journal of child language*, 16(3), 477–501. <https://doi.org/10.1017/s0305000900010679>

Kuhl, P. K., Andruski, J. E., Chistovich, I. A., Chistovich, L. A., Kozhevnikova, E. V., Ryskina, V. L., Stolyarova, E. I., Sundberg, U., & Lacerda, F. (1997). Cross-language analysis of phonetic units in language addressed to infants. *Science (New York, N.Y.)*, 277(5326), 684–686. <https://doi.org/10.1126/science.277.5326.684>

Eimas, P. D., Siqueland, E. R., Jusczyk, P., & Vigorito, J. (1971). Speech perception in infants. *Science*, 171(3968), 303–306. <https://doi.org/10.1126/science.171.3968.303>

Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403(6767), 309–312. <https://doi.org/10.1038/35002078>

Blasi, A., Mercure, E., Lloyd-Fox, S., Thomson, A., Brammer, M., Sauter, D., Deeley, Q., Barker, G. J., Renvall, V., Deoni, S., Gasston, D., Williams, S. C., Johnson, M. H., Simmons, A., & Murphy, D. G. (2011). Early specialization for voice and emotion processing in the infant brain. *Current biology : CB*, 21(14), 1220–1224. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.06.009>

Nazzi, T., Bertoncini, J., & Mehler, J. (1998). Language discrimination by newborns: toward an understanding of the role of rhythm. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, 24(3), 756–766. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.24.3.756>

Friederici A. D. (2006). The neural basis of language development and its impairment. *Neuron*, 52(6), 941–952. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.12.002>

Jusczyk, P. W., Houston, D. M., & Newsome, M. (1999). The beginnings of word segmentation in english-learning infants. *Cognitive psychology*, 39(3-4), 159–207. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0716>

Bigand, E., & Poulin-Charronnat, B. (2006). Are we "experienced listeners"? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. *Cognition*, 100(1), 100–130. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.007>

Brandt, A., Gebrian, M., & Slevc, L. R. (2012). Music and early language acquisition. *Frontiers in psychology*, 3, 327. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00327>

Johnson M. H. (2011). Interactive Specialization: A domain-general framework for human functional brain development? *Developmental Cognitive Neuroscience*. 1(1), 7-21. ISSN 1878-9293, <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2010.07.003>.

Cramer, S. C., Sur, M., Dobkin, B. H., O'Brien, C., Sanger, T. D., Trojanowski, J. Q., Rumsey, J. M., Hicks, R., Cameron, J., Chen, D., Chen, W. G., Cohen, L. G., deCharms, C., Duffy, C. J., Eden, G. F., Fetz, E. E., Filart, R., Freund, M., Grant, S. J., Haber, S., ... Vinogradov, S. (2011). Harnessing neuroplasticity for clinical applications. *Brain : a journal of neurology*, 134(Pt 6), 1591–1609. <https://doi.org/10.1093/brain/awr039>

Ripollés, P., Rojo, N., Grau-Sánchez, J., Amengual, J. L., Càmarà, E., Marco-Pallarés, J., Juncadella, M., Vaquero, L., Rubio, F., Duarte, E., Garrido, C., Altenmüller, E., Münte, T. F., & Rodríguez-Fornells, A. (2016). Music supported therapy promotes motor plasticity in individuals with chronic stroke. *Brain imaging and behavior*, 10(4), 1289–1307. <https://doi.org/10.1007/s11682-015-9498-x>

Bavelier, D., & Neville, H. J. (2002). Cross-modal plasticity: where and how?. *Nature reviews. Neuroscience*, 3(6), 443–452. <https://doi.org/10.1038/nrn848>

Neville, H., & Bavelier, D. (2002). Human brain plasticity: evidence from sensory deprivation and altered language experience. *Progress in brain research*, 138, 177–188. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(02\)38078-6](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(02)38078-6)

Allman, B. L., Keniston, L. P., & Meredith, M. A. (2009). Not just for bimodal neurons anymore: the contribution of unimodal neurons to cortical multisensory processing. *Brain topography*, 21(3-4), 157–167. <https://doi.org/10.1007/s10548-009-0088-3>

Merabet, L. B., & Pascual-Leone, A. (2010). Neural reorganization following sensory loss: the opportunity of change. *Nature reviews. Neuroscience*, 11(1), 44–52. <https://doi.org/10.1038/nrn2758>

Bola, Ł., Zimmermann, M., Mostowski, P., Jednoróg, K., Marchewka, A., Rutkowski, P., & Szwed, M. (2017). Task-specific reorganization of the auditory cortex in deaf humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(4), E600–E609. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609000114>

Trumpp, N. M., & Kiefer, M. (2018). Functional reorganization of the conceptual brain system after deafness in early childhood. *PloS one*, 13(7), e0198894. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198894>

Capek CM, MacSweeney M, Woll B, Waters D, McGuire PK, David AS, Brammer MJ, Campbell R. Cortical circuits for silent speechreading in deaf and hearing people. *Neuropsychologia*. 2008;46(5):1233–1241. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2007.11.026.

Ding H, Qin W, Liang M, Ming D, Wan B, Li Q, Yu C. Cross-modal activation of auditory regions during visuo-spatial working memory in early deafness. *Brain: A Journal of Neurology*. 2015;138(Pt 9):2750–2765. doi: 10.1093/brain/awv165.

Leporé N, Vachon P, Lepore F, Chou Y-Y, Voss P, Brun CC, Lee AD, Toga AW, Thompson PM. 3D mapping of brain differences in native signing congenitally and prelingually deaf subjects. *Human Brain Mapping*. 2010;31(7):970–978. doi: 10.1002/hbm.20910.

Allen JS, Emmorey K, Bruss J, Damasio H. Morphology of the insula in relation to hearing status and sign language experience. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*. 2008;28(46):11900–11905. doi: 10.1523/JNEUROSCI.3141-08.2008.

Pénicaud S, Klein D, Zatorre RJ, Chen J-K, Witcher P, Hyde K, Mayberry RI. Structural brain changes linked to delayed first language acquisition in congenitally deaf individuals. *NeuroImage*. 2013;66:42–49. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.09.076.

Bavelier D, Brozinsky C, Tomann A, Mitchell T, Neville H, Liu G. Impact of early deafness and early exposure to sign language on the cerebral organization for motion processing. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*. 2001;21(22):8931–8942. doi: 10.1523/JNEUROSCI.21-22-08931.2001.

Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and aging*, 23(4), 692–701. <https://doi.org/10.1037/a0014345>

Knudsen E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(8), 1412–1425. <https://doi.org/10.1162/0898929042304796>

Putzar, L., Goerendt, I., Lange, K., Rösler, F., & Röder, B. (2007). Early visual deprivation impairs multisensory interactions in humans. *Nature neuroscience*, 10(10), 1243–1245. <https://doi.org/10.1038/nn1978>

Sharma, Anu; Dorman, Michael F.; Spahr, Anthony J.. A Sensitive Period for the Development of the Central Auditory System in Children with Cochlear Implants: Implications for Age of Implantation. *Ear and Hearing* 23(6):p 532-539, December 2002

Kuhl P. K. (2011). Early Language Learning and Literacy: Neuroscience Implications for Education. *Mind, brain and education : the official journal of the International Mind, Brain, and Education Society*, 5(3), 128–142. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2011.01121.x>

Mayberry, R. I., Lock, E., & Kazmi, H. (2002). Linguistic ability and early language exposure. *Nature*, 417(6884), 38. <https://doi.org/10.1038/417038a>

Mayberry R. I., Kluender R.. Rethinking the critical period for language: New insights into an old question from American Sign Language. *Bilingualism: Language and Cognition*. 2018;21(5):886-905. doi:10.1017/S1366728917000724

Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science (New York, N.Y.)*, 270(5234), 305–307. <https://doi.org/10.1126/science.270.5234.305>

Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature neuroscience*, 8(9), 1148–1150. <https://doi.org/10.1038/nn1516>

Han, Y., Yang, H., Lv, Y. T., Zhu, C. Z., He, Y., Tang, H. H., Gong, Q. Y., Luo, Y. J., Zang, Y. F., & Dong, Q. (2009). Gray matter density and white matter integrity in pianists' brain: a combined structural and diffusion tensor MRI study. *Neuroscience letters*, 459(1), 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.056>

Schlaug G. (2001). The brain of musicians. A model for functional and structural adaptation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 281–299.

Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature reviews. Neuroscience*, 11(8), 599–605. <https://doi.org/10.1038/nrn2882>

Reybrouck, M., Vuust, P., & Brattico, E. (2018). Brain Connectivity Networks and the Aesthetic Experience of Music. *Brain sciences*, 8(6), 107. <https://doi.org/10.3390/brainsci8060107>

Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PloS one*, 5(10), e13225. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013225>

Herdener, M., Esposito, F., di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., Scheffler, K., Wetzel, S., Seifritz, E., & Cattapan-Ludewig, K. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 30(4), 1377–1384. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4513-09.2010>

Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Elliott Sachs, M., & Damasio, H. (2018). Music training and child development: a review of recent findings from a longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 10.1111/nyas.13606. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/nyas.13606>

Martins, M., Pinheiro, A. P., & Lima, C. F. (2021). Does Music Training Improve Emotion Recognition Abilities? A Critical Review. *Emotion Review*, 13(3), 199–210. <https://doi.org/10.1177/17540739211022035>

Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. J. (2014). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in neuroscience*, 7, 279. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>

Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in cognitive sciences*, 17(4), 179–193. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.02.007>

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 of the United States of America*, 98(20), 11818–11823. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>

Berridge, K. C., & Kringelbach, M. L. (2008). Affective neuroscience of pleasure: reward in humans and animals. *Psychopharmacology*, 199(3), 457–480. <https://doi.org/10.1007/s00213-008-1099-6>

McDermott, J., & Hauser, M. (2004). Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. *Cognition*, 94(2), B11–B21. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2004.04.004>

Brétéché, S. (2021). The Deaf Musical Experience. In: Kronland-Martinet, R., Ystad, S., Aramaki, M. (eds) Perception, Representations, Image, Sound, Music. CMMR 2019. Lecture Notes in Computer Science(), vol 12631. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-70210-6_28

Gfeller, K., Olszewski, C., Rychener, M., Sena, K., Knutson, J. F., Witt, S., & Macpherson, B. (2005). Recognition of "real-world" musical excerpts by cochlear implant recipients and normal-hearing adults. *Ear and hearing*, 26(3), 237–250. <https://doi.org/10.1097/00003446-200506000-00001>

Bonna, K., Finc, K., Zimmermann, M. et al. Early deafness leads to re-shaping of functional connectivity beyond the auditory cortex. *Brain Imaging and Behavior* 15, 1469–1482 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11682-020-00346-y>

Prsa, M., Morandell, K., Cuenu, G. et al. Feature-selective encoding of substrate vibrations in the forelimb somatosensory cortex. *Nature* 567, 384–388 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1015-8>

Prsa, M., Kilicel, D., Nourizonoz, A. et al. A common computational principle for vibrotactile pitch perception in mouse and human. *Nat Commun* 12, 5336 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25476-9>

Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 19(3), 712–723. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn120>

Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological science*, 22(11), 1425–1433. <https://doi.org/10.1177/0956797611416999>

Moreno, S., & Besson, M. (2006). Musical training and language-related brain electrical activity in children. *Psychophysiology*, 43(3), 287–291. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00401.x>

Brown S. (2017). A Joint Prosodic Origin of Language and Music. *Frontiers in psychology*, 8, 1894. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01894>

Fuller, C. D., Galvin, J. J., 3rd, Maat, B., Free, R. H., & Başkent, D. (2014). The musician effect: does it persist under degraded pitch conditions of cochlear implant simulations?. *Frontiers in neuroscience*, 8, 179. <https://doi.org/10.3389/fnins.2014.00179>

Başkent, D., Clarke, J., Pals, C., Benard, M. R., Bhargava, P., Saija, J., Sarampalis, A., Wagner, A., & Gaudrain, E. (2016). Cognitive Compensation of Speech Perception With Hearing Impairment, Cochlear Implants, and Aging: How and to What Degree Can It Be Achieved?. *Trends in Hearing*, 20, 2331216516670279. <https://doi.org/10.1177/2331216516670279>

Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003). Communication of emotions in vocal expression and music performance: different channels, same code?. *Psychological bulletin*, 129(5), 770–814. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.129.5.770>

Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual review of neuroscience*, 35, 73–89. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150525>

Frick, R. W. (1985). Communicating emotion: The role of prosodic features. *Psychological Bulletin*, 97(3), 412–429. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.97.3.412>

Jamieson, R. K., Thompson, W. F., Cuddy, L. L., & Mewhort, D. J. K. (2003). Do conjunction errors in auditory recognition imply feature migration? *Canadian Journal of Experimental Psychology / Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 57(2), 125–130. <https://doi.org/10.1037/h0087418>

Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2004). Decoding speech prosody: Do music lessons help? *Emotion*, 4(1), 46–64. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.4.1.46>

Yoshinaga-Itano C. (2003). Early intervention after universal neonatal hearing screening: impact on outcomes. *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 9(4), 252–266. <https://doi.org/10.1002/mrdd.10088>

Näätänen, R. (1992). *Attention and Brain Function* (1st ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429487354>

Torppa, R., Faulkner, A., Kujala, T., Huotilainen, M., & Lipsanen, J. (2018). Developmental links between speech perception in noise, singing, and cortical processing of music in children with cochlear implants. *Music Perception*, 36(2), 156–174. <https://doi.org/10.1525/mp.2018.36.2.156>

Torppa, Ritva & Faulkner, Andrew & Järvikivi, Juhani & Vainio, Martti. (2010). Acquisition of focus by normal hearing and cochlear implanted children: the role of musical experience. paper 977. 10.21437/SpeechProsody.2010-84.

Rochette, F., Moussard, A., & Bigand, E. (2014). Music lessons improve auditory perceptual and cognitive performance in deaf children. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 488. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00488>

Fu, Q. J., Galvin, J. J., 3rd, Wang, X., & Wu, J. L. (2015). Benefits of music training in mandarin-speaking pediatric cochlear implant users. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 58(1), 163–169. https://doi.org/10.1044/2014_JSLHR-H-14-0127

Rocca C. (2015). Developing the musical brain to boost early pre-verbal, communication and listening skills: The implications for musicality development pre- and post-cochlear implantation. It is not just about Nursery Rhymes!. *Cochlear implants international*, 16 Suppl 3, S32–S38. <https://doi.org/10.1179/1467010015Z.000000000277>

Innes-Brown, H., Marozeau, J. P., Storey, C. M., & Blamey, P. J. (2013). Tone, rhythm, and timbre perception in school-age children using cochlear implants and hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology*, 24(9), 789–806. <https://doi.org/10.3766/jaaa.24.9.4>

Koşaner, J., Kilinc, A., & Deniz, M. (2012). Developing a music programme for preschool children with cochlear implants. *Cochlear implants international*, 13(4), 237–247. <https://doi.org/10.1179/1754762811Y.00000000023>

León Méndez, M. D. C., Fernández García, L., & Daza González, M. T. (2023). Effectiveness of rhythmic training on linguistics skill development in deaf children and adolescents with cochlear implants: A systematic review. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 169, 111561. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2023.111561>

Hidalgo C, Falk S, Schön D. Speak on time! Effects of a musical rhythmic training on children with hearing loss. *Hear Res.* 2017 Aug;351:11-18. doi: 10.1016/j.heares.2017.05.006. Epub 2017 May 10. PMID: 28552493.

Hidalgo C, Pesnot-Lerousseau J, Marquis P, Roman S, Schön D. Rhythmic Training Improves Temporal Anticipation and Adaptation Abilities in Children With Hearing Loss During Verbal Interaction. *J Speech Lang Hear Res.* 2019 Sep 20;62(9):3234-3247. doi: 10.1044/2019_JSLHR-S-18-0349. Epub 2019 Aug 21. PMID: 31433722

Roman S, Rochette F, Triglia JM, Schön D, Bigand E. Auditory training improves auditory performance in cochlear implanted children. *Hear Res.* 2016 Jul;337:89-95. doi: 10.1016/j.heares.2016.05.003. Epub 2016 May 27. PMID: 27240480.

Bedoin N, Besombes AM, Escande E, Dumont A, Lalitte P, Tillmann B. Boosting syntax training with temporally regular musical primes in children with cochlear implants. *Ann Phys Rehabil Med.* 2018 Nov;61(6):365-371. doi: 10.1016/j.rehab.2017.03.004. Epub 2017 May 11. PMID: 28506442.

Good A, Gordon KA, Papsin BC, Nespoli G, Hopyan T, Peretz I, Russo FA. Benefits of Music Training for Perception of Emotional Speech Prosody in Deaf Children With Cochlear Implants. *Ear Hear.* 2017 Jul/Aug;38(4):455-464. doi: 10.1097/AUD.0000000000000402. PMID: 28085739; PMCID: PMC5483983.

Torppa R, Faulkner A, Laasonen M, Lipsanen J, Sammler D. Links of Prosodic Stress Perception and Musical Activities to Language Skills of Children With Cochlear Implants and Normal Hearing. *Ear Hear.* 2020 Mar/Apr;41(2):395-410. doi: 10.1097/AUD.0000000000000763. PMID: 31397704.

Cheng X, Liu Y, Shu Y, et al. Music Training Can Improve Music and Speech Perception in Pediatric Mandarin-Speaking Cochlear Implant Users. *Trends in Hearing*. 2018;22. doi:10.1177/2331216518759214

Yucel, E., Sennaroglu, G., & Belgin, E. (2009). The family oriented musical training for children with cochlear implants: speech and musical perception results of two year follow-up. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 73(7), 1043–1052. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.04.009>

Carvalho, A.deJ., Lemos, S. M., & Goulart, L. M. (2016). Language development and its relation to social behavior and family and school environments: a systematic review. *Desenvolvimento da linguagem e sua relação com comportamento social, ambientes familiar e escolar: revisão sistemática*. *CoDAS*, 28(4), 470–479. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20162015193>

Davis, J. M., Shepard, N. T., Stelmachowicz, P. G., & Gorga, M. P. (1981). Characteristics of hearing-impaired children in the public schools: II. Psychoeducational data. *Journal of Speech & Hearing Disorders*, 46(2), 130–137. <https://doi.org/10.1044/jshd.4602.130>

Schoon, I., Parsons, S., Rush, R., & Law, J. (2010). Children's language ability and psychosocial development: a 29-year follow-up study. *Pediatrics*, 126(1), e73–e80. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-3282>

Moog, J. S., & Geers, A. E. (2010). Early educational placement and later language outcomes for children with cochlear implants. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology*, 31(8), 1315–1319. <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181eb3226>

Cicerone, K. D., Goldin, Y., Ganci, K., Rosenbaum, A., Wethe, J. V., Langenbahn, D. M., Malec, J. F., Bergquist, T. F., Kingsley, K., Nagele, D., Trexler, L., Fraas, M., Bogdanova, Y., & Harley, J. P. (2019). Evidence-Based Cognitive Rehabilitation: Systematic Review of the Literature From 2009 Through 2014. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 100(8), 1515–1533. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.02.011>

Glanemann, R., Reichmuth, K., & am Zehnhoff-Dinnesen, A. (2016). Münsteraner Elternprogramm--Elternfeedback: Wie beurteilen Eltern die Frühintervention zur Kommunikationsförderung von Säuglingen und Kleinkindern mit Hörschädigung? [Muenster Parental Programme--Feedback from Parents: How do parents evaluate an early intervention programme for improving the communication with their baby or toddler with hearing impairment?]. *HNO*, 64(2), 101–110. <https://doi.org/10.1007/s00106-015-0096-4>

Darrow A. A. (2006). The role of music in deaf culture: deaf students' perception of emotion in music. *Journal of music therapy*, 43(1), 2–15. <https://doi.org/10.1093/jmt/43.1.2>

Hyde, M., Punch, R., Power, D., Hartley, J., Neale, J., & Brennan, L. (2009). The experiences of deaf and hard of hearing students at a Queensland University: 1985–2005. *Higher Education Research & Development*, 28(1), 85–98. <https://doi.org/10.1080/07294360802444388>

Dittinger, E., Chobert, J., Ziegler, J. C., & Besson, M. (2017). Fast Brain Plasticity during Word Learning in Musically-Trained Children. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 233. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00233>

Strait, D. L., O'Connell, S., Parbery-Clark, A., & Kraus, N. (2014). Musicians' enhanced neural differentiation of speech sounds arises early in life: developmental evidence from ages 3 to 30. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 24(9), 2512–2521. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht103>

Gfeller K. (2016). Music-based training for pediatric CI recipients: A systematic analysis of published studies. *European annals of otorhinolaryngology, head and neck diseases*, 133 Suppl 1(Suppl 1), S50–S56. <https://doi.org/10.1016/j.anorl.2016.01.010>

SITOGRAFIA

EpiCentro, Istituto Superiore di Sanità. (2024). [<https://www.epicentro.iss.it/udito/>]

World health organization. (2024). [<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/deafness-and-hearing-loss>]