



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS

Corso di Laurea Tecniche Audiometriche

Presidente Prof.ssa Rosamaria Santarelli

# **PERCEZIONE MUSICALE IN PAZIENTI PORTATORI DI IMPIANTO COCLEARE: STUDIO TRASVERSALE DI COORTE**

Relatore: Prof.ssa Montino Silvia

Correlatore: Dr. Brotto Davide

Dr.ssa Galoforo Nicole

Laureando/a: Celeste Fortini

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

## **Abstract**

**Introduzione:** Lo studio ha esaminato la percezione musicale nei pazienti con impianto cocleare e ha messo in evidenza le principali sfide e i punti di forza relativi alla loro capacità di riconoscere vari parametri musicali. Sono stati analizzati parametri spettrali (pitch, melodia e armonia), temporali (ritmo, tempo e metro) e spettrotemporali (timbro).

**Materiali e metodi:** sono stati coinvolti 28 pazienti portatori di IC di età compresa tra gli 11 e i 72 anni e un campione di controllo composto da 20 partecipanti normoudenti di età compresa tra i 20 e i 58 anni. Sono stati somministrati test musicali riguardanti il ritmo, l'intensità, le sequenze musicali, e il timbro, oltre a esercizi di riconoscimento della voce cantata.

**Risultati:** risultati positivi sono stati osservati nella percezione del ritmo e del timbro, i pazienti hanno mostrato buone prestazioni nei compiti più semplici. Tuttavia, con l'aumento della complessità musicale, come nel caso della percezione di sequenze sonore o scale musicali, le difficoltà sono aumentate significativamente. Ciò è dovuto principalmente alle limitazioni degli impianti cocleari nella trasmissione delle informazioni spettrali e dinamiche, fondamentali per la percezione di melodie e variazioni d'intensità. La percezione della voce cantata e della prosodia ha dimostrato un margine di miglioramento, specialmente nel riconoscimento di variazioni d'intonazione complesse. Rispetto ai normoudenti, i pazienti con impianto cocleare hanno evidenziato prestazioni inferiori, soprattutto quando si trattava di riconoscere le caratteristiche più sfumate del suono.

**Conclusioni:** un vantaggio chiave di questo studio è stato l'approccio multidimensionale che ha permesso di esplorare la percezione di vari aspetti musicali nei pazienti con impianto cocleare, fornendo una visione completa delle loro capacità percettive. Questo ha consentito di identificare chiaramente le aree di forza e debolezza, offrendo indicazioni per futuri interventi terapeutici. L'inclusione di un campione di controllo normoudente ha inoltre permesso di mettere in evidenza le differenze tra i due gruppi, rendendo i risultati più robusti e utilizzabili per ulteriori sviluppi. Tra i limiti, si segnala la dimensione ridotta del campione, che potrebbe non riflettere completamente la varietà di risultati ottenibili da una popolazione più ampia. Lo studio non ha inoltre tenuto conto di variabili come il tempo di utilizzo dell'impianto o la durata della riabilitazione, che potrebbero influire sulle prestazioni percettive. Le future ricerche dovrebbero concentrarsi sul miglioramento delle tecnologie degli impianti cocleari, con particolare attenzione alla risoluzione spettrale e temporale per garantire una migliore percezione musicale. Inoltre, lo sviluppo di applicazioni di training musicale, finalizzate a migliorare le capacità percettive dei pazienti, rappresenta una promettente direzione per la riabilitazione.

## **Indice**

<b>Abstract.....</b>	<b>1</b>
<b>Indice .....</b>	<b>2</b>
<b>Introduzione .....</b>	<b>3</b>
<b>Materiali e metodi .....</b>	<b>11</b>
<b>Raccolta dati .....</b>	<b>12</b>
<b>Risultati .....</b>	<b>14</b>
<b>Discussione .....</b>	<b>19</b>
<b>Conclusioni .....</b>	<b>25</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>26</b>

## Introduzione

La percezione della musica nei portatori di impianto cocleare (IC) rappresenta una sfida complessa, che coinvolge aspetti tecnologici e percettivi. Gli impianti cocleari, nati principalmente per ripristinare la capacità di comprensione del linguaggio, mostrano limitazioni significative nella trasmissione delle caratteristiche acustiche della musica, la quale richiede una rappresentazione più raffinata e complessa rispetto al parlato (Limb & Roy, 2014). Mentre i progressi tecnologici hanno permesso a molti portatori di IC di comprendere il linguaggio in condizioni ottimali, la musica rimane un campo in cui le prestazioni sono ancora significativamente inferiori rispetto a quelle dei normoudenti (Gfeller et al., 2007).

Può essere utile dividere le caratteristiche della musica in spettrali, temporali e spettro-temporali.

### Caratteristiche spettrali

Le caratteristiche spettrali della musica si riferiscono alla distribuzione delle frequenze che compongono un suono musicale e alla loro interazione nel determinare il timbro. Ogni suono musicale, oltre alla frequenza fondamentale, include una serie di armoniche o parziali, che arricchiscono il suono e creano le distinzioni tra diversi strumenti musicali o voci. Questi attributi, come le variazioni nella struttura armonica, influenzano la percezione della qualità del suono, permettendoci di distinguere strumenti musicali anche se suonano la stessa nota (Cariani, 2009).

Tra gli elementi spettrali troviamo il pitch, la melodia e l'armonia.

Il **pitch**, o frequenza fondamentale, è determinato dalla frequenza più bassa di una nota, conosciuta come frequenza fondamentale ( $F_0$ ) che permette di classificare un suono musicale come relativamente alto o basso. Sebbene il pitch possa essere quantificato come una frequenza (in Hertz), esso non è una proprietà puramente oggettiva, ma una qualità psicoacustica soggettiva, il che significa che è interpretato dal cervello e quindi soggetto a variabilità individuale. La percezione del pitch può variare tra le persone, a seconda di fattori come l'età, lo stato di salute dell'udito e l'esperienza musicale. Inoltre, il pitch può essere influenzato dalle aspettative cognitive

e dall'allenamento musicale: una persona con un addestramento musicale potrebbe percepire variazioni di pitch più sottili rispetto alla media (Prevoteau et al., 2018).

La **melodia** è una sequenza di suoni o note musicali disposte in successione temporale, che viene percepita come un'unità coesa. È spesso considerata l'elemento principale o "voce" di una composizione musicale poiché porta avanti il tema o l'idea musicale attraverso variazioni di pitch e durata (Swanson et al., 2019).

L'**armonia** si basa sulle relazioni tra i suoni con altezze diverse che vengono eseguite contemporaneamente, creando un senso di coesione e struttura. Questo insieme di suoni può produrre sensazioni di consonanza (piacevolezza) o dissonanza (tensione), e il modo in cui gli accordi si muovono da uno all'altro (progressioni armoniche) risulta cruciale per lo sviluppo musicale (Limb & Roy, 2014).

#### Caratteristiche temporali

Gli aspetti temporali della musica si riferiscono a come il suono si sviluppa nel tempo, comprendendo elementi come il ritmo, il metro, la durata delle note, e il tempo generale della composizione. Questi sono essenziali perché creano una struttura che permette agli ascoltatori di orientarsi nel brano musicale. Attraverso il ritmo e il metro, la musica crea un flusso di eventi che possiamo percepire, seguire e con cui interagire. Senza una chiara struttura temporale, il suono non sarebbe percepito come musica, ma come una serie disordinata di rumori. La temporalità della musica non è solo una dimensione tecnica, ma anche emotiva: la velocità (tempo), il ritmo e le pause influenzano fortemente le emozioni suscitate da un brano musicale. La capacità della musica di "trasportarci" nel tempo, facendoci perdere la percezione del tempo ordinario, è uno dei motivi per cui essa ha un impatto così potente sul nostro stato d'animo (Richter, 2009).

Gli elementi temporali includono il ritmo, il tempo e il metro.

Il **ritmo** è uno degli elementi fondamentali della musica e si riferisce alla disposizione temporale dei suoni e dei silenzi in una composizione musicale. In termini semplici, il ritmo è ciò che organizza e regola il flusso del tempo nella musica attraverso pattern di durata, accenti e ripetizioni (Cooper & Meyer, 1963).

Il **tempo** è l'elemento della musica che determina la velocità con cui una composizione musicale viene eseguita, è indicato in battiti per minuto (BPM) e specifica il numero di battiti o pulsazioni che si devono contare in un minuto. Inoltre, esso fornisce una struttura fondamentale alla musica, stabilendo il ritmo complessivo e influenzando l'atmosfera e l'espressività di un brano (Randel, 2003).

Il **metro**, invece, rappresenta la pulsazione generale del pezzo musicale, con una struttura ricorrente di accenti che divide le battute in battiti accentati e non accentati. Il metro dà forma e coerenza alla musica, influenzando sia il ritmo che la sensazione generale di movimento.

#### Caratteristiche spettrotemporali

Il **timbro** è una caratteristica complessa del suono che consente di distinguere strumenti diversi anche quando suonano la stessa nota alla stessa intensità ed è determinato da parametri come l'involuppo (struttura complessiva dell'ampiezza) e lo spettro (gamma di frequenze) di un suono. In ragione di ciò, il timbro si distingue come uno degli elementi musicali più complessi che coinvolge la percezione sia del contenuto spettrale sia temporale del suono (Swanson et al., 2019).

#### Criticità in pazienti con IC

La componente più complessa da identificare per i pazienti portatori di impianto cocleare è il pitch. Per i normoudenti (NH, Normal Hearing) la percezione del pitch per i toni puri è associata a due meccanismi principali, quali localizzazione spaziale del picco e pattern temporale. Il picco dell'onda viaggiante sulla membrana basilare si ha quando un suono, dopo aver raggiunto la coclea, crea un'onda che si propaga lungo la membrana basilare: il punto in cui l'onda raggiunge il suo picco massimo di spostamento è correlato alla frequenza del tono, in particolare le frequenze più alte causano picchi nelle parti più vicine alla base della coclea, mentre le frequenze più basse causano picchi verso l'apice. Oltre alla localizzazione spaziale del picco, precedentemente descritta, la percezione del pitch, come accennato, è anche legata al pattern temporale con cui le cellule ciliate inviano segnali al cervello. Questo "firing"

neurale segue una sincronia temporale con le oscillazioni del suono, aiutando ulteriormente a identificare la frequenza del tono percepito, permettendo una percezione precisa delle note e delle loro relazioni all'interno di una melodia (Looi et al., 2012).

I dispositivi moderni con impianto cocleare multi-canale (IC) trasmettono informazioni sul pitch attraverso mappe di elettrodi organizzate tonotopicamente. Questi dispositivi utilizzano un processo di filtraggio passa-banda per suddividere l'input acustico in più componenti di frequenza, ciascuna coprendo un determinato intervallo di frequenze. Il segnale acustico composito viene separato in canali distinti che rappresentano diverse gamme di frequenza. Le frequenze più basse vengono inviate agli elettrodi apicali, mentre quelle più alte agli elettrodi basali. Questo sistema è progettato per imitare la naturale organizzazione tonotopica della coclea, dove le diverse parti della membrana basilare rispondono in modo selettivo alle diverse frequenze sonore. Pertanto, l'impianto cocleare tenta di distribuire l'input elettrico in modo che corrisponda alla suddetta mappa tonotopica intrinseca, facilitando la percezione del pitch e rendendo più efficace la comprensione del suono (Swanson et al., 2019). Tuttavia, gli impianti cocleari hanno dei limiti tecnologici ancora evidenti, il segnale acustico in entrata infatti viene filtrato attraverso un sistema passa-banda, che enfatizza le frequenze rilevanti per la comprensione del parlato, solitamente comprese tra 200 Hz e 8500 Hz, escludendo altre frequenze importanti per la musica. Questa limitazione nella gamma di frequenze influisce negativamente sulla qualità del suono musicale per molti utilizzatori di IC, poiché la musica contiene energia spettrale significativa al di fuori di questo intervallo (Limb & Roy, 2014). La conseguente perdita di dettagli spettrali e di risoluzione del pitch distorce la percezione delle relazioni tra le note musicali già nella fase di conversione acustico-elettrica del suono, prima che il segnale raggiunga l'interfaccia elettrodo-nervo uditivo (Nimmons et al., 2008). Pertanto, le limitazioni tecnologiche degli impianti cocleari riducono significativamente la capacità degli utenti di percepire la musica come fanno i normoudenti, influenzando negativamente l'esperienza musicale complessiva, soprattutto nella discriminazione del pitch e del timbro (Gfeller et al., 2007).

Studi recenti dimostrano tuttavia che la percezione del pitch nei portatori di impianto cocleare varia significativamente tra coloro che sono impiantati monolaterali (unilateralmente) e bilaterali. Le differenze si basano principalmente sulla capacità di percepire suoni a diverse frequenze in entrambe le orecchie, un fattore che influisce sull'apprezzamento musicale complessivo. Nei pazienti con impianto monolaterale la percezione del pitch è limitata, poiché ricevono input solo da un orecchio. La mancanza di un input bilaterale riduce l'efficacia nella distinzione del pitch, soprattutto nei brani musicali complessi che richiedono una precisa percezione delle differenze tonali. I portatori di impianti bilaterali, al contrario, tendono a ottenere risultati migliori nella percezione del pitch grazie all'input proveniente da entrambe le orecchie. Questo approccio imita in qualche modo l'udito naturale, fornendo una migliore capacità di discriminare le variazioni di pitch e di localizzare i suoni nello spazio. Gli studi hanno mostrato che i pazienti bilaterali hanno un maggiore apprezzamento musicale rispetto ai pazienti monolaterali (Yang et al., 2024).

Un ulteriore elemento di criticità per i portatori di IC è rappresentato dalla percezione della melodia. La melodia è fortemente dipendente dalla capacità di percepire con precisione l'altezza dei suoni, ovvero la frequenza fondamentale (pitch). Gli impianti trasmettono solo informazioni spettrali grossolane attraverso un numero limitato di elettrodi che devono sostituire le oltre 3.500 cellule ciliate presenti in un orecchio umano normale (Limb & Roy, 2014). La scarsa percezione del pitch e della melodia ha un impatto diretto sull'apprezzamento della musica per i portatori di IC. Molti riferiscono che la musica sembra "metallica" o "distorta", e spesso hanno difficoltà a distinguere tra strumenti musicali diversi o a riconoscere melodie familiari (Nimmons et al., 2008). Studi dimostrano che, mentre i pazienti normoudenti possono riconoscere melodie con pochissimi indizi, gli utenti di IC hanno bisogno di un forte supporto ritmico o testuale per identificare correttamente una melodia (Looi et al., 2012).

Gli impianti cocleari di diverse marche, come Cochlear, Advanced Bionics, e MED-EL, si differenziano principalmente per il numero di elettrodi utilizzati per la stimolazione uditiva all'interno della coclea, che ha un impatto diretto sulla qualità della percezione uditiva, soprattutto in situazioni come la discriminazione del parlato e della musica. Cochlear Ltd. è l'azienda che produce impianti con il maggior numero

di elettrodi, fino a 22. Questi elettrodi permettono una stimolazione più dettagliata della coclea, migliorando potenzialmente la risoluzione delle frequenze, il che è cruciale per la percezione del pitch, la comprensione del parlato e l'apprezzamento musicale. Advanced Bionics, d'altra parte, offre impianti con 16 elettrodi che, pur essendo in numero inferiore rispetto a Cochlear, si avvalgono di tecnologie avanzate come la stimolazione simultanea multi-canale (fidelity 120), che genera "canali virtuali" per aumentare la percezione delle frequenze. MED-EL produce impianti con 12 elettrodi fisici, ma utilizza una strategia che consente di creare canali virtuali per migliorare la risoluzione spettrale. Sebbene utilizzi meno elettrodi, l'approccio di MED-EL cerca di ottimizzare la trasmissione delle informazioni spettrali e temporali attraverso l'uso di un sistema di stimolazione flessibile. Il numero di elettrodi non rappresenta sempre l'unico indicatore della qualità del suono percepito; piuttosto, è una combinazione di numero di elettrodi, strategia di stimolazione e capacità del software a determinare la qualità dell'esperienza uditiva (Cochlear Implant Comparison Chart, 2021). Ad ogni modo questo causa una riduzione della risoluzione spettrale, rendendo difficile la distinzione precisa delle diverse frequenze tonali, cruciale per la percezione melodica. Inoltre, gli impianti cocleari rimuovono gran parte della struttura temporale fine del segnale acustico, essenziale per la percezione accurata del pitch e delle armoniche (Swanson et al., 2019).

La percezione del ritmo nei portatori di impianto cocleare è generalmente preservata e simile a quella dei normoudenti. Il ritmo è un aspetto temporale della musica, che si riferisce alla cadenza e alla disposizione temporale di suoni e pause. Poiché i dispositivi cocleari sono efficaci nella codifica delle informazioni temporali sono in grado di trasmettere i segnali ritmici grazie alla capacità di catturare e trasmettere variazioni di tempo e durata delle onde sonore, riuscendo così a permettere ai pazienti impiantati di percepire correttamente le variazioni nel ritmo musicale (Limb & Rubinstein, 2012). Anche nei test percettivi più complessi, come il riconoscimento di melodie con un forte supporto ritmico, i pazienti con IC mostrano prestazioni simili a quelle dei normoudenti nei compiti di percezione del ritmo (PrevotEAU et al., 2018). Questo indica che la componente temporale della musica è meglio trasmessa dagli impianti rispetto alle frequenze tonali, permettendo ai portatori di IC di seguire il ritmo in modo accurato e di godere di alcuni aspetti della musica nonostante le limitazioni

legate alla percezione melodica (Cartocci et al., 2023). La capacità dei portatori di IC di percepire il ritmo contribuisce in modo significativo all'apprezzamento della musica, ma non è sufficiente a compensare i deficit nella percezione del pitch e del timbro, che rimangono le maggiori difficoltà per questi pazienti. Molti utenti di IC, infatti, riescono a seguire il ritmo di una canzone, ma riferiscono che le melodie suonano poco chiare, rendendo la musica meno piacevole da ascoltare (Ottaviani et al., 2016).

Nei normoudenti, il timbro è percepito grazie alla capacità dell'orecchio di rilevare le variazioni nella struttura spettrale fine di un suono, comprese le sue armoniche. Questa risoluzione spettrale è compromessa negli impianti cocleari che utilizzano un numero limitato di canali per trasmettere l'intero spettro sonoro. I normoudenti, quindi, hanno un vantaggio significativo rispetto ai portatori di IC nella capacità di apprezzare le sfumature timbriche, cruciale per l'apprezzamento della musica e la distinzione tra strumenti musicali (Jiam et al., 2017). La percezione del timbro è legata alle armoniche superiori di un suono, che vengono trasmesse in modo inefficace dai dispositivi IC, con conseguente percezione distorta o poco definita (Vickers & Moore, 2024). Le armoniche, che contribuiscono alla differenziazione timbrica tra strumenti musicali o voci, non vengono rappresentate in modo preciso, portando così a una percezione ridotta o inesatta. I pazienti riferiscono spesso che la musica suona "metallica" o "monotona", e che hanno difficoltà a distinguere tra strumenti musicali come fiati o archi (Yang et al., 2024). Ciò è particolarmente evidente in contesti musicali complessi, dove più strumenti o voci sono presenti contemporaneamente (Won et al., 2010). Yüksel et al. nel 2023 nello studio "Emotions and Psychological Mechanisms of Listening to Music in Cochlear Implant Recipients" hanno riscontrato che anche gli utenti di IC con alte prestazioni nel parlato hanno notevoli difficoltà a discriminare il timbro musicale. La percezione inadeguata del timbro ha un impatto diretto sull'esperienza musicale dei portatori di IC in quanto non riescono a distinguere chiaramente i vari strumenti musicali o a percepire le sfumature delle voci; pertanto, la qualità della musica risulta complessivamente compromessa. Questo è uno dei motivi principali per cui molti utenti di IC trovano la musica meno piacevole rispetto ai normoudenti (Calvino et al., 2024).

La voce cantata rappresenta una sfida ancora più complessa per i portatori di IC. La musica, e in particolare il canto, richiede una codifica precisa di frequenze e armonie, oltre che di variazioni tonali e timbri che spesso superano le capacità di elaborazione degli impianti cocleari. Uno degli aspetti più problematici è la mancanza di una chiara distinzione delle frequenze armoniche, che sono essenziali per la percezione del timbro vocale. Gli utenti di IC riportano spesso che la voce cantata suona "distorta" o "metallica" (Jiam et al., 2017). Nonostante gli IC forniscano una buona capacità di comprensione del parlato, restano significative difficoltà nella percezione delle emozioni vocali e nella capacità di apprezzare pienamente il canto (Caldwell et al., 2017).

La prosodia comprende quegli elementi del parlato che vanno oltre il semplice contenuto semantico e includono la musicalità, il ritmo e l'accentuazione delle frasi, fondamentali per trasmettere emozioni e significati sottili. Nei pazienti con impianto cocleare, la percezione della prosodia è inferiore rispetto ai normoudenti. Questo è particolarmente evidente quando si tratta di interpretare il pitch e l'intonazione, elementi fondamentali per distinguere domande da affermazioni o per cogliere lo stato emotivo del parlante (Jiam al., 2017). I normoudenti riescono a integrare senza difficoltà segnali semantici e prosodici per interpretare correttamente il contenuto emotivo di una frase. I portatori di IC, invece, tendono a compensare le carenze nella percezione prosodica dando maggiore peso al contenuto semantico, ignorando in parte gli indizi prosodici quando questi due aspetti non sono congruenti (Taitelbaum-Swead et al., 2022). Nonostante i limiti nella percezione della prosodia, gli utenti di IC possono migliorare le loro capacità attraverso programmi di riabilitazione mirati che rafforzino la percezione prosodica e l'integrazione tra le componenti semantiche e prosodiche del parlato. Questi interventi possono migliorare la qualità della comunicazione e ridurre l'impatto negativo sulla vita sociale dei portatori di IC (Everhardt et al., 2020).

## **Materiali e metodi**

Lo studio ha coinvolto 28 partecipanti di cui 12 femmine e 16 maschi, di età compresa tra gli 11 e i 72 anni, con una media di età di 40 anni. Sono stati inclusi pazienti che presentavano i seguenti requisiti: età uguale o superiore agli 11 anni, impianto cocleare monolaterale o bilaterale, stimolazione bimodale (impianto monolaterale e protesi acustica nell'orecchio controlaterale), intelligibilità del 100% a 60 dB HL con l'impianto cocleare, abilità cognitive non alterate, nessuna distinzione di sesso. I criteri di esclusione comprendevano: patologie o malformazioni associate che comportano un ritardo cognitivo, alterazioni psichiche o emotive, inaffidabilità nell'esecuzione dei test audiometrici.

Non sono stati presi in considerazione come parametri di inclusione o esclusione i dati riguardanti la causa e l'insorgenza dell'ipoacusia, il tempo trascorso dall'attivazione dell'impianto cocleare e la marca dell'impianto.

I pazienti arruolati sono stati stratificati secondo le seguenti caratteristiche:

- data di attivazione dell'IC
- dispositivo acustico in uso al momento del test (IC monolaterale, bilaterale simultaneo o sequenziale, bi-modale)
- marca IC (Cochlear, Med-El, Advanced Bionics)
- modello IC (retro-auricolare o singola unità)
- eziologia perdita uditiva
- epoca insorgenza ipoacusia (pre-, peri-, post-verbale)
- fruizione della musica (tempistica e motivo)

## **Raccolta dati**

I portatori di impianto cocleare sono stati sottoposti ai test soggettivi di audiometria tonale e vocale. L'audiometria tonale si è svolta all'interno di una cabina audiometrica silente dove ciascun paziente è stato fatto accomodare rivolto verso la cassa acustica alla distanza di 1 metro da essa. È stato successivamente inviato un tono warble (modulato), indagando le frequenze 250-500-1000-2000-4000-6000 Hz. Per l'audiometria vocale sono state utilizzate liste di 10 parole bisillabiche mandate rispettivamente alle intensità di 10-20-30-40-50-60 dB HL. In particolare, nei pazienti con impianto monolaterale e normoacusia o ipoacusia controlaterale di entità lieve-moderata è stato utilizzato un mascheramento inviato in cuffia utilizzando un rumore a banda stretta (NBN - Narrow Band Noise). Una volta stabilita la soglia dell'orecchio testato, viene inviato il rumore nell'orecchio controlaterale di 40 dB al di sopra della via ossea dell'orecchio testato. Questa procedura viene effettuata sia nell'audiometria tonale che in quella vocale (Prosser & Martini, 2020).

In seguito, è stato proposto loro un questionario creato basandosi su modelli come la piattaforma di training Meludia, Perfect Ear e EarMaster.

Meludia è una web app commerciale che permette di apprendere progressivamente i fondamenti della musica, seguendo un programma individuale. Il metodo che viene utilizzato è basato sull'ascolto e sulle sensazioni, mirato a stimolare progressivamente le orecchie dei musicisti di tutti i livelli. L'applicazione è composta da 4 moduli "M", partendo da M1 livello scoperta fino ad arrivare a M4 livello avanzato (Meludia.com).

Perfect Ear e EarMaster sono applicazioni che permettono l'accesso a delle biblioteche estese di esercizi, adatti a tutti i livelli di abilità, coprendo intervalli, scale, accordi, melodie, ritmi e canto. Permettono di apprendere in modo interattivo: grazie all'utilizzo del riconoscimento vocale e del battito delle mani si fornisce agli utenti la possibilità di cantare o battere le mani per rispondere. Le app danno un feedback immediato sull'accuratezza del tono e del tempo (EarMaster.com) (PerfectEar.com).

È stata utilizzata la piattaforma Google Moduli come pilot per il questionario, supportato da un computer, il quale è stato posto alla distanza di 1 metro dal paziente

con un volume impostato a 50, che alla distanza precedentemente descritta corrisponde a 70 dB nHL misurati mediante l'utilizzo di un fonometro. I brani proposti nel test riguardanti il riconoscimento delle componenti musicali sono stati attinti da YouTube. Per la creazione della voce cantata e dei brani prosodici sono state utilizzate piattaforme come Pictory.ai e Suno.ai: programmi di intelligenza artificiale generativa per la creazione musicale progettati per generare canzoni realistiche che combinano voci e strumentazione, o puramente strumentali, che creano brani musicali sulla base di un prompt testuale fornito dagli utenti (Pictory.ai) (Suno.com). Per l'aggiunta del rumore di fondo utilizzato in alcuni dei brani cantati proposti è stata impiegata l'applicazione progettata da Apple, iMovie. Il rapporto segnale/rumore è stato misurato in clinica sempre grazie all'utilizzo di un fonometro.

La somministrazione del questionario è avvenuta in clinica, dopo lo svolgimento dei controlli audiometrici di routine. Ad ogni paziente, prima di iniziare il test, è stato chiesto di leggere l'informativa relativa allo stesso e sono state spiegate le modalità ed i vari compiti che avrebbe dovuto eseguire durante lo svolgimento dell'intera prova. Successivamente, un operatore è rimasto nella stanza con il paziente in modo da fornire supporto o delucidazioni in caso di necessità per tutta la durata dell'esame.

La prima parte del questionario ha posto l'attenzione sulle componenti musicali, testando le abilità dei pazienti di percepire scale ascendenti o discendenti, intensità, sequenze, ordine, ritmo e timbro. Nella seconda parte invece ci si è concentrati sulla prosodia e la voce cantata.

Il test è stato suddiviso in moduli, all'inizio di ognuno di questi il paziente deve rispondere ad una "domanda 0" preliminare e semplificata che solo in caso di risposta corretta permette l'accesso alle domande successive del modulo. Nel caso di risposta errata, invece, il test passa automaticamente al modulo successivo. Le sezioni successive alla "domanda 0" permettono l'accesso a tre livelli progressivi di difficoltà. Alla fine di ogni sezione è stata inserita una scala di autovalutazione proposta a tutti i pazienti che hanno risposto correttamente alla "domanda 0". La scheda di valutazione permette di scegliere un numero da 1 a 10 dove "1" corrisponde a "molto male" e "10" a "molto bene".

## Risultati

Lo studio osservazionale ha incluso 28 partecipanti, di cui 16 di sesso maschile (57,1%). L'età mediana è di 30 anni, ma è presente una variabilità importante, in quanto sono stati coinvolti soggetti dagli 11 agli 72 anni. L'eziologia è sconosciuta per 10 pazienti (35,7%), per 18 (64,2%) è nota e comprende cause genetiche, infettive e vascolari. L'esordio dell'ipoacusia è pre-verbale per 13 pazienti (46,4%), peri-verbale per 2 (7,1%) e post-verbale per 13 (46,4%). Le strategie di riabilitazione sono impianto monolaterale (8 casi, 28,5%), bilaterale (13 casi, 46,4%) e riabilitazione bimodale (7 casi, 25%). L'89,2% (25 casi) utilizza un impianto retro-auricolare mentre il restante 10,7% (3 casi) utilizza un impianto a singola unità. La media di utilizzo dell'impianto è di 9,6 anni (SD  $\pm$  6,9 anni) e varia da un minimo di 1 ad un massimo di 27 anni. Cochlear (60,7%) e Advance Bionics (25%) sono le ditte produttrici più rappresentate. All'audiometria tonale, i partecipanti presentano una soglia uditiva media di 24,6 dB  $\pm$  5,9 dB, con range da 20 a 40 dB.

Dei pazienti che hanno completato il questionario il 50% (14 pazienti) hanno dichiarato di ascoltare la musica diverse ore a settimana, il 21,4% (6 pazienti) di ascoltare la musica diverse ore al giorno, mentre il 28,5% (8 pazienti) di ascoltarla solo raramente. Di questi in 20 (71,4%) hanno dichiarato di ascoltare la musica per piacere e/o passione mentre i restanti 8 (28,5%) fruiscono della musica solo occasionalmente e/o si trovano in una condizione tale per cui l'ascolto di questa non dipende dal paziente.

I pazienti in relazione al punteggio totale hanno ottenuto in media 61,2 punti su 100 (SD  $\pm$  17,6 punti) con un punteggio minimo di 21 e massimo di 95.

Sono stati analizzati i vari moduli singolarmente, tenendo in considerazione anche i tre livelli di difficoltà progressivi presenti all'interno di ognuno di essi. Sono state studiate prima le componenti musicali, da questo è emerso che i pazienti hanno ottenuto risultati migliori nella sezione riguardante il riconoscimento del ritmo con 213 risposte corrette su 336. Nel primo livello hanno ottenuto il 91% di risposte corrette (102 su 112), aumentando il livello di difficoltà hanno riportato il 66% di

risposte esatte (74 su 112), fino ad arrivare al livello 3 dove la percentuale è scesa fino al 33% (37 su 112).

La sezione seguente ha interessato il riconoscimento dell'ordine all'interno di un brano musicale, qui i pazienti hanno raggiunto 203 risposte corrette su 336. Realizzando nel primo livello un risultato del 91% di risposte corrette (102 su 112) come nella sezione precedente, ma nell'ultimo livello di difficoltà si è raggiunto uno score del 22% (25 su 112).

Per quanto riguarda la comprensione delle scale ascendenti e discendenti le risposte corrette sono 152 su 336. Nel livello 1 sono state indicate correttamente l'80% delle risposte (90 su 112), tuttavia la media è scesa al 45% (50 su 112) nel livello 2 di difficoltà fino ad arrivare a solo l'11% di correttezza (12 su 112) per il livello 3.

Nell'unità riguardante l'intensità i pazienti hanno totalizzato 57 risposte esatte su 336. Solo il 26% delle risposte (29 su 112) è stato dato senza errori nel primo livello di difficoltà. Percentuale che è scesa fino al 9% (10 su 112) nell'ultimo livello.

Lo score peggiore deriva dal riconoscimento delle sequenze dove la totalità di risposte giuste è di 55 su 336. È emerso un risultato del 37% di risposte giuste (41 su 112) nel primo livello, che è sceso fino al 6% (7 su 112) nei livelli 2 e 3.

La sezione dedicata allo studio del timbro ha esaminato la capacità dei pazienti di riconoscere strumenti musicali e voci. Nella parte riguardante gli strumenti musicali, ai pazienti sono state presentate brevi tracce audio. Successivamente, è stato chiesto loro di ascoltare ciascun brano e identificare lo strumento suonato, selezionandolo da una lista di quattro possibili opzioni. Gli strumenti presi in esame sono: il violino, il pianoforte, la chitarra elettrica, il flauto, il clarinetto, l'arpa e la tromba. Le risposte corrette ottenute sono 191 su 196. Il flauto, l'arpa e la tromba sono stati riconosciuti nel 100% dei casi (28 su 28 per strumento), il violino, la chitarra e il clarinetto sono stati identificati correttamente nel 96% dei casi (27 su 28 per strumento), infine il pianoforte ha ottenuto una percentuale di riconoscimento del 93% (26 casi su 28). A seguire è stata proposta la riproduzione di un brano testuale dove veniva richiesto di segnalare se la voce fosse femminile, maschile o infantile. In questa sezione i pazienti

hanno ottenuto un risultato di 80 risposte corrette su 84. La voce maschile è stata riconosciuta nel 100% dei casi (28 su 28), seguita dalla voce femminile con il 96% di identificazione corretta (27 su 28) e infine l'89% dei pazienti (25 su 28) ha individuato la voce infantile.

Successivamente, il questionario si è concentrato sul riconoscimento della prosodia e della voce cantata. Nella sezione dedicata alla prosodia, ai pazienti sono stati presentati brani contenenti brevi frasi, ciascuna pronunciata con tre diverse intonazioni: affermativa, esclamativa e interrogativa. Le risposte corrette sono di 157 su 252. Il tono affermativo è quello maggiormente riconosciuto con il 70% di risposte corrette (59 su 84), seguito dal tono interrogativo con un punteggio del 57% (53 su 84), quello che i pazienti hanno avuto più difficoltà a riconoscere è quello esclamativo con un risultato del 52% (45 su 84).

Il questionario è stato strutturato in due livelli di difficoltà crescente. In un primo momento, ai pazienti è stato chiesto di ascoltare un brano e di identificare se la voce fosse maschile o femminile. La voce femminile è stata riconosciuta correttamente in 50 casi su 56, mentre quella maschile è stata identificata correttamente in 45 casi su 56. Successivamente, sono stati presentati quattro brani differenti, i pazienti hanno identificato correttamente 85 testi su un totale di 112. Nel secondo livello di difficoltà, il riconoscimento corretto delle voci maschili e femminili è stato di 56 su 84. Infine, è stato chiesto ai pazienti di segnalare quali testi dei brani riprodotti fossero corretti, raggiungendo così 52 risposte corrette su 84.

Lo stesso questionario è stato presentato in clinica a un gruppo di controllo composto da 20 partecipanti normoudenti (PTA soglia tonale < 20 dB) di età compresa tra i 20 e i 58 anni, con un'età media di 27 anni (SD ± 8,1). Di questi il 50% (10 partecipanti) hanno dichiarato di ascoltare la musica diverse ore a settimana, mentre il restante 50% (10 partecipanti) ascolta la musica diverse ore al giorno. L'80% (16 partecipanti) ha affermato di ascoltare la musica per piacere e/o passione, seguiti da un 10% (2 partecipanti) che fruisce della musica solo occasionalmente e infine un 10% (2 partecipanti) che ascolta la musica per motivi legati al proprio lavoro.

I pazienti in relazione al punteggio totale hanno ottenuto in media 92,9 punti (SD  $\pm$  5,5 punti) con un punteggio minimo di 79 e massimo di 99.

I dati ottenuti da questo campione sono stati analizzati seguendo la stessa metodologia usata per i pazienti portatori di impianto cocleare. La sezione in cui i partecipanti hanno ottenuto un punteggio migliore è quella riguardante la percezione del ritmo dove le risposte corrette sono state 229 su 240 totali. Nel primo e nel terzo livello di difficoltà è stato raggiunto il 100% di risposte esatte (80 su 80 per livello), mentre nel secondo livello le prestazioni sono risultate leggermente più basse con 69 risposte corrette su 80 (86%). A seguire nel modulo riguardante la percezione dell'ordine i partecipanti hanno risposto in maniera corretta a 227 domande su 240. Nel primo livello sono state date il 100% delle risposte esatte (80 su 80), nei livelli successivi i partecipanti hanno ottenuto rispettivamente il 99% e l'85% di risposte giuste (79 su 80 e 68 su 80). La sezione che ha analizzato il riconoscimento delle sequenze ha ottenuto 223 risposte corrette su 240. Nel primo e nel secondo livello di difficoltà i pazienti hanno risposto senza commettere errori a 76 domande su 80 (95%). Nel terzo livello invece la percentuale di risposte esatte è scesa all'89% (71 su 80). Nella sezione riguardante l'intensità le risposte corrette sono state 210 su 240. Nel primo livello sono state date 71 risposte corrette su 80 (89%), nel secondo livello la percentuale di risposte esatte è salita al 90% (72 su 80), infine nel terzo livello di difficoltà i partecipanti hanno risposto in maniera esatta a 67 domande su 80 (84%). Infine, il punteggio minore è stato eseguito nel modulo riguardante il riconoscimento delle scale ascendenti e discendenti dove i partecipanti hanno ottenuto uno score di 207 risposte giuste su 240. Nel primo livello i pazienti hanno raggiunto il 98% di correttezza delle domande (78 su 80), nel secondo livello è stata data la risposta corretta a 70 domande su 80 (88%), nel livello maggiore di difficoltà c'è stato un lieve calo della performance, infatti, le risposte esatte sono state 59 su 80 (74%).

Nella sezione riguardante il riconoscimento del timbro sono stati presentati i suoni dei diversi strumenti musicali (violino, pianoforte, chitarra elettrica, flauto, clarinetto, arpa, tromba) qui il campione di controllo ha riconosciuto tutti gli strumenti ottenendo un punteggio di 140 risposte esatte su 140. A seguire è stato richiesto di ascoltare delle tracce audio e di segnalare se la voce appartenesse a una donna, a un uomo o a un

bambino. Anche in questo caso non sono stati commessi errori e i partecipanti hanno risposto correttamente a 60 domande su 60 totali.

A seguire è stata proposta la sezione del questionario inerente al riconoscimento della prosodia e della voce cantata. Nel modulo riguardante la prosodia è stata richiesta di indicare se le tracce audio proposte contenessero delle frasi pronunciate in modo affermativo, interrogativo o esclamativo. Dall'analisi dei dati è emerso che i brani contenenti frasi affermative sono state riconosciute nel 95% dei casi (57 risposte corrette su 60). Le frasi interrogative sono state individuate correttamente nel 91% dei casi con 55 risposte esatte su 60, infine c'è stato un leggero calo di riconoscimento delle frasi esclamative dove sono risultate esatte 53 risposte su 60 (88%).

Il questionario nella parte finale è stato strutturato in due livelli di difficoltà crescente. Sia nel primo che nel secondo livello è stato richiesto di riconoscere se la voce cantata appartenesse ad un uomo o a una donna, dopodiché sono stati proposti dei brani e i partecipanti dovevano indicare quale testo corrispondeva alla rispettiva traccia audio. In entrambi i livelli di difficoltà i partecipanti hanno ottenuto un punteggio del 100% rispondendo in maniera esatta a 280 quesiti su 280.

## Discussione

Lo studio osservazionale ha coinvolto 28 pazienti portatori di impianto cocleare e un campione di controllo composto di 20 partecipanti normoudenti, con l'obiettivo di valutare la loro capacità di percepire e riconoscere differenti elementi musicali e vocali, tra i quali ritmo, ordine, intensità, timbro, prosodia e voce cantata. I risultati ottenuti evidenziano sia i punti di forza che le limitazioni nella percezione uditiva di questa popolazione, offrendo spunti significativi per la comprensione dell'efficacia dell'impianto cocleare nelle attività musicali e comunicative.

### Percezione del ritmo e dell'ordine musicale

I pazienti hanno mostrato una buona capacità di riconoscimento del **ritmo**, con **213 risposte corrette** su 336 nel totale dei tre livelli di difficoltà. Questo risultato indica che, sebbene le prestazioni diminuiscano con l'aumento della complessità (dal 91% di risposte corrette al livello 1 al 33% al livello 3), i pazienti riescono a mantenere una percezione sufficientemente accurata dei ritmi musicali, soprattutto nei compiti più semplici. Tuttavia, il campione di controllo ha ottenuto risultati significativamente superiori, con una media di **229 risposte corrette su 240**, dimostrando che i normoudenti sono in grado di percepire il ritmo in modo più accurato e costante rispetto ai portatori di impianto cocleare. Questi risultati sono coerenti con precedenti studi che evidenziano come i portatori di IC riescano a gestire meglio le informazioni temporali, cruciali per la percezione del ritmo poiché esso si basa principalmente su informazioni temporali, trasmesse efficacemente dagli impianti cocleari (McDermott, 2004) (D'Alessandro et al., 2018).

La **percezione dell'ordine** musicale, invece, risulta più complessa, con **203 risposte corrette** su 336. Mentre le prestazioni nel primo livello di difficoltà sono analoghe a quelle del ritmo (91% di risposte corrette), vi è un declino più pronunciato nel livello più avanzato, dove la percentuale di risposte corrette scende al 25%. Questo dato evidenzia le difficoltà incontrate dai pazienti nel percepire e processare la sequenzialità di elementi sonori più complessi, che richiedono una risoluzione spettrale più elevata, di difficile compensazione per gli impianti cocleari che, a riguardo, presentano delle limitazioni. Al contrario, il campione di controllo ha ottenuto una media di **227**

**risposte corrette su 240**, evidenziando una percezione dell'ordine musicale molto più precisa (McDermott, 2004).

### **Percezione delle scale musicali**

La capacità di percepire **scale ascendenti e discendenti** è moderatamente compromessa nei pazienti, con **152 risposte corrette** su 336. Sebbene le prestazioni al livello 1 siano state piuttosto elevate (80% di risposte corrette), i punteggi sono drasticamente calati al livello 3, dove i pazienti hanno risposto correttamente solo all'11% delle domande. Al contrario, il gruppo di controllo ha mostrato una capacità superiore, ottenendo una media di risposte **207 corrette su 240**. Sugerendo una difficoltà da parte dei pazienti nel riconoscimento di variazioni complesse nelle frequenze musicali, un problema noto nei portatori di impianto cocleare che faticano a discriminare le variazioni di tono a causa della risoluzione limitata dei dispositivi (Looi et al., 2012).

### **Percezione dell'intensità**

La percezione dell'intensità è stata uno degli aspetti più critici per i pazienti con impianto cocleare. Le **57 risposte corrette su 336** indicano che i pazienti faticano particolarmente a riconoscere le variazioni di intensità sonora. Il gruppo di controllo, invece, ha ottenuto risultati decisamente migliori, con una media di **210 risposte corrette su 240**. Questo divario di prestazioni è particolarmente evidente nei compiti più complessi: i portatori di impianto hanno mostrato una riduzione drastica delle performance passando dal **26% di risposte corrette** al livello 1 al solo **9%** al livello 3.

La limitata capacità di percezione dell'intensità può essere spiegata dalla risoluzione spettrale degli impianti cocleari, che risulta insufficiente per trasmettere accuratamente le variazioni dinamiche necessarie alla percezione dell'intensità musicale. Mentre gli impianti cocleari riescono a trasmettere informazioni temporali utili per la percezione del ritmo, le variazioni di intensità richiedono una risoluzione fine che questi dispositivi non sempre riescono a garantire (Jiam et al., 2019).

### **Riconoscimento delle sequenze**

Il **riconoscimento delle sequenze** è stato l'aspetto più problematico, con **55 risposte corrette** su 336. Anche nel primo livello di difficoltà, i pazienti hanno ottenuto solo il 37% di risposte corrette, percentuale che è scesa ulteriormente al 6% nei livelli più complessi. Il campione di controllo ha mostrato una capacità significativamente migliore di percepire le sequenze, con una media di **223 risposte corrette su 240**. Questi risultati riflettono le limitazioni degli impianti cocleari nella trasmissione delle informazioni spettrali complesse, rendendo difficile la percezione accurata di sequenze musicali (Gfeller et al., 2005). Le sequenze musicali, infatti, richiedono una finezza nella percezione temporale e frequenziale che i portatori di impianto cocleare spesso non riescono ad elaborare correttamente (Lima et al., 2018).

### **Timbro e riconoscimento strumentale**

Il **riconoscimento del timbro**, valutato attraverso l'identificazione degli strumenti musicali, ha dato risultati molto positivi, con **157 risposte corrette** su 196. Gli strumenti come flauto, arpa e tromba sono stati identificati correttamente nel 100% dei casi, mentre violino, chitarra e clarinetto hanno ottenuto un riconoscimento del 96%. Il **pianoforte** si è rivelato più difficile da riconoscere, con il 93% di risposte corrette. Questi risultati indicano che, nonostante le limitazioni nella risoluzione spettrale degli impianti, i pazienti sono in grado di discriminare bene i timbri strumentali, specialmente quando gli stimoli presentati provengono da una sola fonte. Tuttavia, il gruppo di controllo ha riportato risultati nettamente migliori, con **140 risposte corrette su 140**, dimostrando che i normoudenti percepiscono i timbri musicali in modo significativamente più accurato rispetto ai pazienti con impianto cocleare (Jiam et al., 2019).

### **Riconoscimento della voce**

Per quanto riguarda il **riconoscimento vocale**, i pazienti hanno ottenuto risultati eccellenti, con **80 risposte corrette** su 84. La voce maschile è stata riconosciuta correttamente nel 100% dei casi, seguita dalla voce femminile con il 96%, mentre la voce infantile ha ottenuto un riconoscimento corretto nell' 89% dei casi. Questi dati suggeriscono che i portatori di impianto cocleare riescono a discriminare efficacemente le caratteristiche vocali principali, probabilmente grazie al fatto che le

frequenze vocali fondamentali rientrano in una gamma che gli impianti cocleari riescono a trasmettere in modo adeguato. Tuttavia, anche in questo caso il caso di controllo ha riportato prestazioni maggiori rispondendo correttamente a **60 domande su 60** (Colby & Orena, 2022).

### **Prosodia e voce cantata**

La **percezione della prosodia**, valutata attraverso la capacità di riconoscere l'intonazione di frasi affermative, interrogative ed esclamative, ha mostrato un risultato complessivo di **157 risposte corrette** su 252. Il tono affermativo è stato quello più facilmente riconosciuto (70% di risposte corrette), seguito dal tono interrogativo (57%), mentre l'intonazione esclamativa è stata quella più difficile da percepire con solo il 52% di risposte corrette. Questo risultato è in linea con altri studi i quali suggeriscono che i portatori di impianto cocleare trovano più facile distinguere le intonazioni semplici come le affermazioni, mentre le esclamazioni, che richiedono una maggiore discriminazione della variazione di pitch e intensità, risultano più difficili (Van De Velde et al., 2019) (Jiam, Caldwell, Deroche, et al., 2017).

Il campione di controllo ha riportato una performance significativamente migliore, con una media di **165 risposte corrette su 180**, dimostrando che i normoudenti riescono a discriminare con maggiore precisione le diverse intonazioni, specialmente quelle più complesse come le esclamazioni

La **voce cantata** è stata valutata su due livelli di difficoltà, con **50 risposte corrette** su 56 per le voci femminili e **45 risposte corrette** su 56 per le voci maschili nel primo livello (per un totale dell'87,9%). Al secondo livello di difficoltà, le prestazioni sono diminuite, con un risultato di **56 risposte corrette** su 84 (66,6%). I pazienti hanno riconosciuto il 75,8% dei testi dei brani cantati ottenendo **85 risposte corrette** su 112 nel primo livello di difficoltà. Nel secondo livello di difficoltà i pazienti hanno dato **56 risposte esatte** su 84 (66,6%). Questo evidenzia che la discriminazione delle voci cantate e dei testi richiede una risoluzione più elevata, sia temporale che spettrale, rispetto a quella necessaria per il parlato normale, anche in questo caso, il campione di controllo ha ottenuto risultati nettamente superiori, con **280 risposte corrette su 280** considerati entrambi i livelli di difficoltà (Gfeller et al., 2005).

## **Punti di forza dello studio**

Tra gli aspetti positivi di questo studio troviamo il suo approccio **multidimensionale**, che ha consentito di esplorare una vasta gamma di capacità percettive legate alla musica e alla voce. In particolare, la valutazione di diversi livelli di difficoltà ha permesso di individuare il punto in cui le prestazioni dei pazienti con impianto cocleare iniziano a declinare con l'aumento della complessità dei vari items proposti, fornendo così informazioni utili per lo sviluppo di nuove strategie di riabilitazione. Tale incremento di difficoltà ha evidenziato da un lato una capacità di percezione musicale conservata nei contesti più semplici, dall'altro una perdita significativa all'aumentare della complessità proposta. Pertanto, ciò suggerisce la possibilità di sviluppare programmi di riabilitazione volti a stimolare le capacità residue e migliorare quelle più compromesse.

Un altro vantaggio è che lo studio fornisce una base solida per future applicazioni pratiche, come lo sviluppo di un'**app di training per la riabilitazione musicale**. Quest'ultima potrebbe essere utilizzata dai pazienti per, ad esempio, monitorare e migliorare progressivamente le abilità percettive, offrendo sessioni di training personalizzate centrate sul potenziamento della percezione del ritmo, del timbro e della voce. L'app, inoltre, potrebbe fornire un monitoraggio in tempo reale dei progressi, facilitando il feedback medico-paziente e l'adattamento delle strategie terapeutiche in base alle necessità individuali dei soggetti. Questo approccio innovativo potrebbe rappresentare un passo significativo nella gestione e nell'ottimizzazione delle capacità uditive nei portatori di impianto cocleare.

L'inclusione di un **gruppo di controllo** composto da normoudenti ha offerto un'importante base di confronto, permettendo di valutare il divario percettivo tra pazienti con impianto cocleare e individui con udito normale. Questo confronto ha contribuito a evidenziare in modo dettagliato le aree in cui i portatori di impianto cocleare presentano difficoltà significative, migliorando la comprensione delle limitazioni del dispositivo.

## **Limiti dello studio**

Nonostante i vantaggi, lo studio presenta alcuni **limiti** che devono essere considerati. In primo luogo, la **dimensione del campione** relativamente piccola, composta da 28 pazienti portatori di impianto e un gruppo di controllo composto da 20 partecipanti rappresenta un vincolo alla generalizzazione dei risultati. Studi con campioni più ampi sarebbero necessari per confermare le tendenze osservate e per esplorare eventuali variabili che possono influenzare le prestazioni, come l'età, il tempo di utilizzo dell'impianto, il tipo di riabilitazione ricevuta e l'eziologia della perdita uditiva.

### **Implicazioni future**

L'analisi dei dati suggerisce che i portatori di impianto cocleare potrebbero beneficiare di miglioramenti tecnologici volti a ottimizzare la percezione delle frequenze complesse e delle variazioni di intensità. Le limitazioni spettrali degli impianti attuali rappresentano un ostacolo significativo per la percezione musicale avanzata, come la distinzione di sequenze e tonalità complesse. Pertanto, risulta fondamentale che gli sviluppatori di impianti cocleari investano in nuove tecnologie in grado di offrire una maggiore risoluzione spettrale e temporale.

Infine, come già menzionato, lo sviluppo di un'**app di riabilitazione** potrebbe rappresentare un metodo innovativo e accessibile per monitorare e migliorare le capacità percettive dei pazienti. Questa piattaforma potrebbe includere esercizi musicali su misura e tracciare i progressi nel tempo, permettendo al medico e al paziente di collaborare più attivamente al fine di migliorare l'efficacia del trattamento.

## **Conclusioni**

Lo studio ha indagato la percezione della musica e della voce in pazienti portatori di impianto cocleare, esaminando parametri quali il ritmo, l'intensità, il timbro, la prosodia e la voce cantata. Il campione di 28 partecipanti ha permesso di delineare un quadro delle capacità percettive di questa popolazione, evidenziando sia i punti di forza che le limitazioni intrinseche alla tecnologia degli impianti cocleari. Lo studio ha messo in evidenza notevoli differenze nella percezione musicale tra i portatori di impianto cocleare e i normoudenti. Sebbene i pazienti con impianto abbiano dimostrato buone capacità nella percezione del ritmo e del timbro, incontrano notevoli difficoltà nel riconoscere intensità, sequenze musicali, scale e intonazioni più complesse. I risultati indicano che, sebbene gli impianti cocleari siano efficaci per trasmettere informazioni essenziali per la percezione del parlato e del ritmo, c'è ancora molto da fare per migliorare la trasmissione delle informazioni spettrali e dinamiche, che sono cruciali per una completa percezione musicale

In sintesi, lo studio ha fornito una valutazione completa delle capacità percettive musicali e vocali dei pazienti con impianto cocleare, evidenziando sia i limiti sia le opportunità per il futuro. Sebbene i pazienti dimostrino di mantenere buone capacità percettive nel riconoscimento del ritmo e del timbro, le loro difficoltà nel riconoscimento di sequenze, intensità e melodia richiedono un'attenzione particolare. Gli sviluppi tecnologici futuri, insieme a nuove strategie di riabilitazione, rappresentano la chiave per migliorare la qualità dell'esperienza uditiva dei portatori di impianto cocleare, rendendo possibile una percezione musicale più ricca e gratificante.

## BIBLIOGRAFIA

Caldwell, M. T., Jiam, N. T., & Limb, C. J. (2017). Assessment and improvement of sound quality in cochlear implant users. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology*, 2(3), 119–124. <https://doi.org/10.1002/lio2.71>

Calvino, M., Zuazua, A., Sanchez-Cuadrado, I., Gavilán, J., Mancheño, M., Arroyo, H., & Lassaletta, L. (2024). Meludia platform as a tool to evaluate music perception in pediatric and adult cochlear implant users. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 281(2), 629–638.

<https://doi.org/10.1007/s00405-023-08121-7>

Cariani, P. (2009). *Music Perception and Cognition*.

[https://ocw.mit.edu/courses/hst-725-music-perception-and-cognition-spring-2009/2635f0c55b5361b9c3d9f333436f1d75\\_MITHST\\_725S09\\_lec07\\_timbre.pdf](https://ocw.mit.edu/courses/hst-725-music-perception-and-cognition-spring-2009/2635f0c55b5361b9c3d9f333436f1d75_MITHST_725S09_lec07_timbre.pdf)

Cartocci, G., Inguscio, B. M. S., Giorgi, A., Vozzi, A., Leone, C. A., Grassia, R., Di Nardo, W., Di Cesare, T., Fetoni, A. R., Freni, F., Ciodaro, F., Galletti, F., Albera, R., Canale, A., Piccioni, L. O., & Babiloni, F. (2023). Music in noise recognition: An EEG study of listening effort in cochlear implant users and normal hearing controls. *PLOS ONE*, 18(8), e0288461.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288461>

*Cochlear Implant Comparison Chart*. (2021).

[https://cochlearimplanthelp.com/wp-content/uploads/2021/06/cochlearimplantcomparisonchart\\_v11.3b.pdf](https://cochlearimplanthelp.com/wp-content/uploads/2021/06/cochlearimplantcomparisonchart_v11.3b.pdf)

Colby, S., & Orena, A. J. (2022). Recognizing Voices Through a Cochlear Implant: A Systematic Review of Voice Perception, Talker Discrimination,

and Talker Identification. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 65(8), 3165–3194. [https://doi.org/10.1044/2022\\_JSLHR-21-00209](https://doi.org/10.1044/2022_JSLHR-21-00209)

Cooper, G., & Meyer, L. (1963). *The rhythmic structure of music*. University Chicago Press.

Dincer D'Alessandro, H., Ballantyne, D., Boyle, P. J., De Seta, E., DeVincentiis, M., & Mancini, P. (2018). Temporal Fine Structure Processing, Pitch, and Speech Perception in Adult Cochlear Implant Recipients. *Ear & Hearing*, 39(4), 679–686. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000525>

Everhardt, M. K., Sarampalis, A., Coler, M., Başkent, D., & Lowie, W. (2020). Meta-Analysis on the Identification of Linguistic and Emotional Prosody in Cochlear Implant Users and Vocoder Simulations. *Ear & Hearing*, 41(5), 1092–1102. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000863>

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>

Gfeller, K., Turner, C., Oleson, J., Zhang, X., Gantz, B., Froman, R., & Olszewski, C. (2007). Accuracy of Cochlear Implant Recipients on Pitch Perception, Melody Recognition, and Speech Reception in Noise. *Ear & Hearing*, 28(3), 412–423. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3180479318>

Jiam, N. T., Caldwell, M., Deroche, M. L., Chatterjee, M., & Limb, C. J. (2017). Voice emotion perception and production in cochlear implant users. *Hearing Research*, 352, 30–39. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.01.006>

- Jiam, N. T., Caldwell, M. T., & Limb, C. J. (2017). What Does Music Sound Like for a Cochlear Implant User? *Otology & Neurotology*, 38(8), e240–e247. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001448>
- Jiam, N. T., Deroche, M. L., Jiradejvong, P., & Limb, C. J. (2019). A Randomized Controlled Crossover Study of the Impact of Online Music Training on Pitch and Timbre Perception in Cochlear Implant Users. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*, 20(3), 247–262. <https://doi.org/10.1007/s10162-018-00704-0>
- Lima, J. P. D., Iervolino, S. M. S., & Schochat, E. (2018). Habilidades auditivas musicais e temporais em usuários de implante coclear após musicoterapia. *CoDAS*, 30(6). <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182018006>
- Limb, C. J., & Roy, A. T. (2014). Technological, biological, and acoustical constraints to music perception in cochlear implant users. *Hearing Research*, 308, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.04.009>
- Limb, C. J., & Rubinstein, J. T. (2012). Current Research on Music Perception in Cochlear Implant Users. *Otolaryngologic Clinics of North America*, 45(1), 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2011.08.021>
- Looi, V., Gfeller, K., & Driscoll, V. (2012). Music Appreciation and Training for Cochlear Implant Recipients: A Review. *Seminars in Hearing*, 33(04), 307–334. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1329222>
- McDermott, H. J. (2004). Music Perception with Cochlear Implants: A Review. *Trends in Amplification*, 8(2), 49–82. <https://doi.org/10.1177/108471380400800203>

Nimmons, G. L., Kang, R. S., Drennan, W. R., Longnion, J., Ruffin, C., Worman, T., Yueh, B., & Rubinstein, J. T. (2008). Clinical Assessment of Music Perception in Cochlear Implant Listeners. *Otology & Neurotology*, 29(2), 149–155. <https://doi.org/10.1097/mao.0b013e31812f7244>

Ottaviani, F., Iacona, E., Sykopetrites, V., Schindler, A., & Mozzanica, F. (2016). Cross-cultural adaptation and validation of the Nijmegen Cochlear Implant Questionnaire into Italian. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 273(8), 2001–2007. <https://doi.org/10.1007/s00405-015-3765-8>

Prevoteau, C., Chen, S. Y., & Lalwani, A. K. (2018). Music enjoyment with cochlear implantation. *Auris Nasus Larynx*, 45(5), 895–902. <https://doi.org/10.1016/j.anl.2017.11.008>

Prosser, S., & Martini, A. (2020). *Argomenti di Audiologia* (nuova edizione).

Randel, D. M. (2003). *The Harvard dictionary of music*. The press of Harvard University.

Richter, G. (2009). Music and Time. *University of Sydney*. <https://thinkmusic.sydney.edu.au/2009/08/music-time-and-temporality/>

Swanson, B. A., Marimuthu, V. M. R., & Mannell, R. H. (2019). Place and Temporal Cues in Cochlear Implant Pitch and Melody Perception. *Frontiers in Neuroscience*, 13, 1266. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01266>

Taitelbaum-Swead, R., Icht, M., & Ben-David, B. M. (2022). More Than Words: The Relative Roles of Prosody and Semantics in the Perception of Emotions in Spoken Language by Postlingual Cochlear Implant Users. *Ear & Hearing*, 43(4), 1378–1389. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001199>

- Van De Velde, D. J., Schiller, N. O., Levelt, C. C., Van Heuven, V. J., Beers, M., Briaire, J. J., & Frijns, J. H. M. (2019). Prosody perception and production by children with cochlear implants. *Journal of Child Language*, *46*(1), 111–141. <https://doi.org/10.1017/S0305000918000387>
- Vickers, D. A., & Moore, B. C. J. (2024). Editorial: Cochlear Implants and Music. *Trends in Hearing*, *28*, 23312165241231685. <https://doi.org/10.1177/23312165241231685>
- Won, J. H., Drennan, W. R., Kang, R. S., & Rubinstein, J. T. (2010). Psychoacoustic Abilities Associated With Music Perception in Cochlear Implant Users. *Ear & Hearing*, *31*(6), 796–805. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181e8b7bd>
- Yang, A. W., Pillion, E. M., Riley, C. A., & Tolisano, A. M. (2024). Differences in music appreciation between bilateral and single-sided cochlear implant recipients. *American Journal of Otolaryngology*, *45*(4), 104331. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2024.104331>
- Yüksel, M., Sarlik, E., & Çiprut, A. (2023). Emotions and Psychological Mechanisms of Listening to Music in Cochlear Implant Recipients. *Ear & Hearing*, *44*(6), 1451–1463. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000001388>

