

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Scienze Cardio-Toraco Vascolari e Sanità Pubblica

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
SCIENZE RIABILITATIVE DELLE PROFESSIONI SANITARIE

PRESIDENTE: *Ch.ma Prof.ssa Luciana Caenazzo*

TESI DI LAUREA

**AFFIDABILITÀ DELLA CONNETTIVITÀ PER LO STUDIO DELLA
PERCEZIONE UDITIVA DEL PORTATORE DI IMPIANTO COCLEARE**

Reliability of connectivity for the assessment of hearing perception in cochlear implants' recipients

RELATRICE: Prof.ssa Dolores Catelan

Correlatore: Dott. Davide Brotto

LAUREANDA: Dott.ssa Margherita Pegolo

Anno Accademico 2022/2023

INDICE

Riassunto	1
Abstract	2
Introduzione	3
1. L'IMPIANTO COCLEARE	5
1.1 La connettività.....	6
2. LA VALUTAZIONE DEI PAZIENTI PORTATORI DI IC	8
2.1 La valutazione audiometrica	8
2.1.1 L'audiometria tonale.....	8
2.1.2 L'audiometria vocale.....	10
2.2 La valutazione logopedica.....	11
2.3 L'utilizzo di logotomi.....	12
3. LA RIABILITAZIONE LOGOPEDICA	14
3.1 La riabilitazione in età pediatrica	14
3.2 La riabilitazione in età adulta	15
3.3 La connettività nella riabilitazione	15
4. SCOPO DELLA TESI	17
5. MATERIALI E METODI	18
5.1 Campionamento.....	18
5.2 Raccolta dei dati	18
5.3 Analisi dei dati.....	19
6. RISULTATI	20
6.1 Campione.....	20
6.2 Audiometrie tonali.....	20
6.3 Audiometrie vocali	23
7. DISCUSSIONE	27
8. CONCLUSIONI	30
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	31

ALLEGATI	34
Allegato 1 – Informazioni demografiche del campione	34

Riassunto

Introduzione: l'impianto cocleare (IC) è ad oggi considerato il trattamento gold standard in caso di ipoacusia neurosensoriale profonda. Attualmente l'IC, grazie ad un adeguato periodo di riabilitazione, consente una buona percezione verbale e lo sviluppo di capacità comunicative prossime a quelle del soggetto normoudente. Per la valutazione delle abilità percettive l'iter prevede la valutazione logopedica e audiometrica, identificando la soglia tonale e l'intelligibilità verbale. Tuttavia, l'utilizzo di materiale verbale costituito da parole e frasi, hanno fatto raggiungere sempre più un "ceiling effect" nei soggetti con IC. Risulta necessario quindi disporre di metodologie valutative e materiale verbale più accurato che riescano a indagare il reale guadagno dell'IC. Ciò potrebbe essere rappresentato da un lato dall'utilizzo della connettività, ossia dall'invio dello stimolo tonale o vocale direttamente all'IC, dall'altro dall'impiego di unità linguistiche prive di significato, i logotomi, che permettano una maggiore precisione e oggettività degli outcome percettivo-linguistici. L'obiettivo primario dello studio è stato quello di confrontare le due metodologie di valutazione del paziente con IC, ossia attraverso la classica cabina audiometrica e la connessione diretta; un obiettivo secondario è stato testare i risultati ottenuti attraverso l'audiometria vocale con logotomi per ottenere una maggiore sensibilità di misura e discriminare maggiormente le reali performance dei pazienti.

Materiali e metodi: il campione si riferisce a pazienti ipoacusici portatori di IC in carico presso l'U.O.C. di Otorinolaringoiatria dell'Azienda Ospedale-Università di Padova, dopo approvazione da parte del Comitato Etico dell'istituzione; i pazienti selezionati dovevano avere una buona intelligibilità verbale e assenza di ulteriori comorbidità o malformazioni. Ai partecipanti sono state valutate le abilità percettive tramite audiometria tonale e vocale in cabina audiometrica e tramite connettività; con quest'ultima metodologia si è inoltre potuto testare l'intelligibilità verbale di logotomi (non parole). L'analisi dei dati è avvenuta tramite misure statistiche di correlazione (attraverso l'indice di correlazione R per ranghi di Spearman) e concordanza (Bland-Altman plot).

Risultati: per quanto riguarda la soglia tonale le due metodologie sono risultate non correlate; l'intelligibilità verbale risulta invece correlata per alcune intensità ma non concorde. In generale i pazienti ottengono performance (sia tonali sia vocali) migliori quando valutati con la connettività; infine l'impiego di logotomi si è dimostrato utile nel discriminare i pazienti con già ottime capacità percettive.

Conclusioni: il presente studio dimostra l'utilità della connettività e dell'impiego di logotomi nel fornire informazioni aggiuntive rispetto alle abilità percettive dei pazienti portatori di IC; infine, si ribadisce l'importanza di una valutazione accurata per l'impostazione del successivo trattamento riabilitativo e il monitoraggio degli outcome.

Abstract

Background: cochlear implantation (CI) is considered the gold-standard treatment in case of profound sensorineural hearing loss. Nowadays, CIs allow good verbal perception, and the development of communication skills close to those of the normal hearing individual, after an appropriate period of rehabilitation. For the assessment of perceptual abilities, the process involves speech and audiometric evaluation, identifying the tonal threshold and verbal intelligibility. However, the use of words and sentences as verbal stimuli have increasingly caused a ceiling effect in individuals with CI. It is therefore necessary to have more accurate methodologies and verbal material that can investigate the real benefit of CIs. This could be represented on one hand by the use of connectivity, i.e., sending the tonal or vocal stimulus directly to the CI, and on the other hand by the use of nonsense syllables, logatomes, which allow for greater accuracy and objectivity of perceptual-linguistic outcomes.

The primary objective of the study was to compare the two methodologies of CI patient assessment, i.e., through the classic audiometry booth and connectivity; a secondary objective was to investigate the use of logatomes and their role to obtain more objective measurements and to discriminate more the actual performances of patients.

Methods: subjects were recruited from the Complex Operative Unit of Otolaryngology of the University Hospital of Padua, in accordance with the study design approved by the ethical board of the institution; inclusion criteria were unilateral or bilateral hearing loss, presence of CI (Cochlear™), good verbal intelligibility, and absence of additional comorbidities or malformations.

Perceptual abilities were assessed through tonal and vocal audiometry. These data were collected, after appropriate randomization, either in the audiometry booth or via connectivity; with the latter methodology, verbal intelligibility of logatomes (nonsense words) could also be tested.

Data were analysed by statistical measures of correlation (Spearman's correlation) and agreement (Bland-Altman plot).

Results: as regards tonal threshold, the two methodologies were found to be not correlated; on the other hand, verbal intelligibility was found to be correlated for some intensities but there was no agreement. In general, patients achieved better performance (both tonal and vocal) when assessed with connectivity; finally, the use of logatomes appeared to be useful in discriminating patients with already excellent perceptual abilities.

Conclusions: the present study demonstrated the usefulness of connectivity and the use of logatomes in providing additional information as regards hearing perception in cochlear implants' recipients; in addition, the study establishes the importance in finding the most accurate assessment for setting subsequent rehabilitation treatment and monitoring outcomes.

Introduzione

L'impianto cocleare (IC) è il primo organo di senso artificiale capace di evocare sensazioni acustiche stimolando elettricamente l'orecchio interno (1). Esso è un sofisticato sistema elettronico in grado di trasformare le forme d'onda acustica in treni di stimoli elettrici, al fine di trasferire quest'ultima direttamente al nervo acustico, per riabilitare le forme di deprivazione uditiva di cui soffrono i soggetti con sordità profonda (2). Ad oggi è considerato il dispositivo acustico maggiormente efficace nel trattamento e nel recupero dell'udito in caso di ipoacusie neurosensoriali di grado severo-profondo (3) consentendo, grazie ad un adeguato periodo di riabilitazione, una buona percezione verbale nella maggior parte dei casi e lo sviluppo di capacità comunicative prossime a quelle del soggetto normoudente.

Tuttavia, vi è una grande variabilità degli outcome, in particolare nella percezione del parlato (4) (5) che dipende da molteplici fattori: limiti dell'IC (design dell'elettrodo, difficoltà di risoluzione spettrale), caratteristiche individuali del singolo paziente (anatomia cocleovestibolare, eziologia dell'ipoacusia, disabilità associate), fattori ambientali e socioeconomici (6).

Al momento, l'intelligibilità del segnale verbale è il parametro più studiato in quanto è considerato il più rappresentativo dell'efficienza dell'IC ai fini comunicativi, nonostante sia una misura influenzata da numerosi fattori di variabilità (durata della deprivazione uditiva, numero di fibre neurali residue, memoria uditiva). Infatti, negli ultimi anni, i test standard che utilizzano parole e frasi come materiale vocale hanno raggiunto sempre più un "ceiling effect" nei soggetti con IC (7) a tal punto che molti pazienti raggiungono punteggi dal 90% al 100% nelle prove di ascolto in quiete (8), pur in presenza di un apprezzamento soggettivo molto variabile nella vita di tutti i giorni a quanto riportano i pazienti stessi.

Alla luce di ciò, risulta essenziale valutare, comprendere e predire gli outcomes dei soggetti portatori di impianto cocleare mediante l'utilizzo di misure psicoacustiche sempre più precise e oggettive, anche come punto di partenza per un programma riabilitativo più specifico e personalizzato.

Ciò potrebbe essere effettuato da un lato dall'utilizzo della connettività, ossia dall'invio dello stimolo tonale o vocale direttamente all'IC, dall'altro dall'impiego di unità linguistiche prive di significato, i logotomi, che permettono una maggiore precisione e oggettività degli outcome percettivo-linguistici nei soggetti portatori di IC (9).

Il presente elaborato di tesi, svolto presso l'Unità Operativa Complessa (UOC) Otorinolaringoiatria dell'Azienda Ospedale – Università Padova, si propone quindi come scopo quello di valutare dal punto di vista audiologico l'outcome percettivo-linguistico negli *star patients* portatori di impianto cocleare monolaterale o bilaterale mediante test audiometrici soggettivi, volti all'analisi del reale guadagno dell'IC. Le performance sono state testate attraverso due modalità: la prima è l'audiometria

classica in cabina audiometrica con proposizione degli stimoli (tonali e vocali) in campo libero tramite cassa acustica; la seconda prevede l'invio degli stimoli (tonali e vocali con l'utilizzo di logotomi) tramite streaming diretto attraverso Bluetooth dall'audiometro al processore esterno dell'IC. Le analisi effettuate hanno avuto lo scopo di valutare l'affidabilità di quest'ultima audiometria e la correlazione con i risultati ottenuti con l'audiometria classica in cabina.

1. L'IMPIANTO COCLEARE

L'impianto cocleare (IC) (Fig 1) è un sofisticato sistema elettronico in grado di trasformare le forme d'onda acustiche in forme di energia elettrica al fine di trasferire quest'ultima direttamente al nervo acustico, bypassando quindi la parte danneggiata dell'orecchio interno. A differenza delle protesi acustiche, che amplificano il suono, l'impianto cocleare converte il suono in impulsi elettrici stimolando direttamente le fibre neurali bypassando i problemi legati alla disfunzione delle cellule cigliate. L'impianto consta di alcune componenti esterne e alcune interne: il processore è un dispositivo retroauricolare che grazie ai microfoni rileva i suoni e li converte in informazioni digitali; attraverso una antenna o bobina questi segnali vengono trasmessi all'impianto situato sotto pelle; l'impianto converte il segnale codificato in impulsi elettrici e li invia, mediante l'array di elettrodi posizionato all'interno della coclea; gli elettrodi dell'impianto stimolano infine le fibre del nervo acustico della coclea la quale a sua volta invia i segnali al cervello (10).

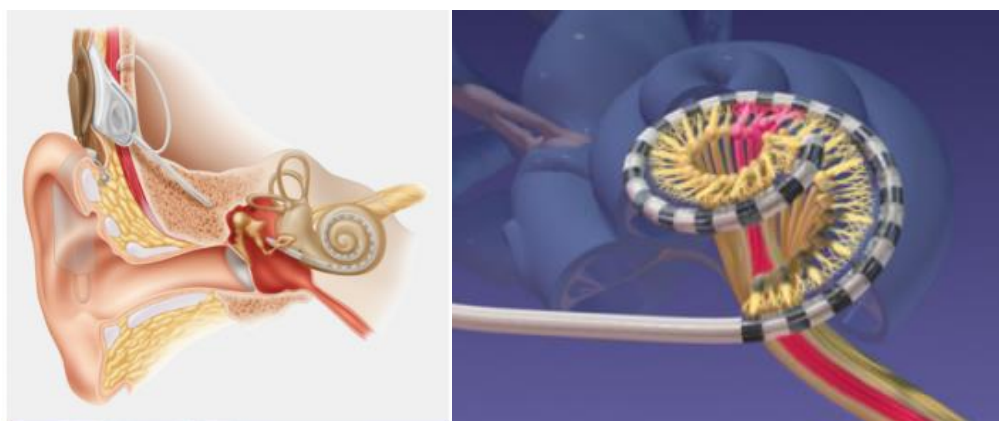


Figura 1: l'impianto cocleare (3)

Gli impianti cocleari sono considerati il gold standard tra la gamma di trattamenti audiologici disponibili in caso di ipoacusia neurosensoriale da grave a profonda (3).

L'indicazione per l'impianto cocleare viene generalmente data quando non viene tratto sufficiente beneficio dall'uso degli apparecchi acustici con un mancato raggiungimento delle abilità di percezione, comprensione e produzione appropriate per età, stadio di sviluppo e abilità cognitive.

Vi sono poi alcuni criteri anatomici di base per il successo dell'applicazione degli IC: il nervo acustico e le vie uditive centrali devono essere intatti, la coclea deve essere sviluppata anatomicamente e deve essere garantita la connessione tra quest'ultima e il nervo acustico. Inoltre, la possibilità di successiva riabilitazione logopedica deve essere confermata.

In generale, ad oggi si applicano le seguenti indicazioni per l'impianto cocleare:

- Ipoacusia bilaterale neurosensoriale di grado severo o profondo;
- Ipoacusia neurosensoriale unilaterale profonda;

- Ipoacusia per le alte frequenze con residuo uditivo nelle basse frequenze.

È bene sottolineare come nonostante l'outcome sia nella maggior parte dei casi più che soddisfacente, il rendimento dell'IC è ancora influenzato da numerose variabili fra loro interrelate e agenti in misura diversa in base all'età (11). Tali fattori si riferiscono all'impianto cocleare, tra cui il design dell'elettrodo e l'affaticabilità del dispositivo stesso, nonché alle caratteristiche individuali del paziente come l'anatomia cocleovestibolare, la presenza di disabilità associate o l'eziologia dell'ipoacusia; inoltre fattori sociali e educativi quali le aspettative dei familiari, la riabilitazione post-impianto e lo stato socioeconomico, sono ulteriori variabili che hanno dimostrato di influenzare le prestazioni postoperatorie (6).

1.1 La connettività

Attualmente gli impianti cocleari sono in grado di sfruttare la connettività wireless affinché la persona ipoacusica possa collegarsi con alcuni device quali smartphone, tablet, televisioni, stereo e simili. Per connettere tali dispositivi al processore dell'impianto cocleare viene oggi utilizzata la banda 2.4 GHz. Si tratta della banda sulla quale si fondano i funzionamenti di Bluetooth e Wi-Fi. Bluetooth è la tecnologia standard wireless globale che consente la connessione e il trasferimento dei dati tra due o più dispositivi utilizzando onde radio UHF nella banda di frequenza tra 2,4 e 2,485 GHz, che è una banda disponibile nella maggior parte dei paesi; Wi-Fi è un insieme di tecnologie per reti locali senza fili che consente la connessione tra più dispositivi che utilizzano principalmente le bande di frequenza 2,4 GHz e 5 GHz.

La connessione utilizzando Bluetooth o Wi-Fi tra il processore dell'impianto cocleare e altri dispositivi può essere raggiunta direttamente o attraverso accessori specializzati. Esistono infatti degli specifici accessori, come ad esempio dei "collari", ai quali vengono collegati via Bluetooth sia il processore sia il dispositivo che si desidera, come lo smartphone, permettendo una migliore efficienza nelle chiamate. Infine, sono in commercio anche dei microfoni mobili, utili in stanze ampie e rumorose: essi, infatti, sono posti vicino all'oratore e sono collegati direttamente al processore dell'impianto cocleare permettendo quindi un ascolto più chiaro per la persona ipoacusica, abbattendo il rapporto segnale/rumore (12).

Le principali marche di produzione di impianto cocleare in commercio e maggiormente utilizzate sono tre: Cochlear, Advanced Bionics e MED-EL.

La marca Cochlear offre dei "Mini Microphone", ossia dei dispositivi wireless che sfruttano la tecnologia Bluetooth e che sono specifici per le diverse situazioni quotidiane, quali l'utilizzo del cellulare e della televisione, l'ascolto della musica o per affrontare i contesti più rumorosi (aule

scolastiche, sale riunioni, ristoranti, ...); inoltre, l'azienda propone una app che permette di collegare il processore dell'impianto direttamente allo smartphone (13).

La marca Advanced Bionics offre una serie di accessori da collegare ai vari dispositivi (telefono cellulare, telefono fisso, televisione) in grado di offrire una connettività wireless; per gli ambienti più rumorosi, invece, propone una "pennetta", chiamata *Roger Pen*, che l'oratore indossa al collo e che è in grado di trasmettere il segnale vocale direttamente all'impianto cocleare, filtrando quindi il rumore presente (14).

Infine, l'azienda MED-EL propone l'accessorio "AudioLink" che, utilizzando la tecnologia Bluetooth, invia i suoni provenienti dai vari dispositivi (telefono, televisione, cellulare) direttamente al processore. Tale accessorio è applicabile anche negli ambienti rumorosi: se posto vicino alla persona che sta parlando, esso funge da microfono a distanza, inviando direttamente il segnale all'impianto cocleare (15).

2. LA VALUTAZIONE DEI PAZIENTI PORTATORI DI IC

I pazienti con impianto cocleare, dopo la chirurgia e l'attivazione del dispositivo devono effettuare controlli periodici presso gli ambulatori di Otorinolaringoiatria. Si tratta infatti di un device che, per garantire il massimo risultato in termini di prestazioni uditive, deve essere programmato con precisione in base alle esigenze del paziente. Ad ogni controllo, oltre la programmazione dell'impianto, deve essere valutato il risultato funzionale mediante esame audiometrico e valutazione percettiva, monitorati i livelli di telemetria, lo stato degli elettrodi della parte interna, i valori delle misure elettrofisiologiche, e deve essere verificato il corretto funzionamento delle differenti componenti.

2.1 La valutazione audiometrica

La valutazione audiometrica ha il duplice obiettivo di identificare da un lato la soglia uditiva del paziente e dall'altro di determinare il grado di intelligibilità verbale. Ciò viene effettuato rispettivamente tramite audiometria tonale e audiometria vocale.

2.1.1 L'audiometria tonale

L'audiometria tonale è il principale esame per lo studio della funzione uditiva. Essa permette di misurare la soglia di percezione uditiva per i toni puri nel campo di frequenze da 0.125 a 8 kHz, in intervalli di ottava e di fornire una descrizione del grado e del tipo di deficit uditivo.

Tale test rientra nelle tecniche audiometriche soggettive, ossia le tecniche finalizzate a descrivere qualitativamente e quantitativamente una perdita uditiva e che richiedono la collaborazione attiva del paziente.

Il professionista sanitario qualificato a svolgere tale esame è il tecnico audiometrista; l'apparecchiatura richiesta comprende:

- Una cabina audiometrica insonorizzata;
- Un audiometro, ossia il generatore di segnali acustici (toni puri) tarato in decibel "hearing level" (dB HL). Vi sono poi altri dispositivi comuni a tutti gli audiometri: un generatore di rumore per i test con mascheramento, ingressi supplementari per l'uso di stimoli particolari (materiale vocale), un circuito microfonico di andata e ritorno per comunicare con il paziente, altoparlante di monitoraggio delle risposte e degli stimoli;
- Trasduttori: cuffie circumaurali o inserti auricolari per la determinazione della soglia per via aerea, vibratore a conduzione ossea per il rilievo della via ossea e altoparlante per l'audiometria in campo libero.

I risultati del test vengono riportati su un grafico chiamato audiogramma tonale (Fig. 2): sull'asse delle ascisse sono indicate le frequenze degli stimoli (kHz) mentre sull'asse delle ordinate sono graduate in dB le perdite uditive rispetto alla soglia di normoacusia posta a 0 dB, segnando per ogni frequenza l'intensità minima percepita (soglia) dall'esaminando.

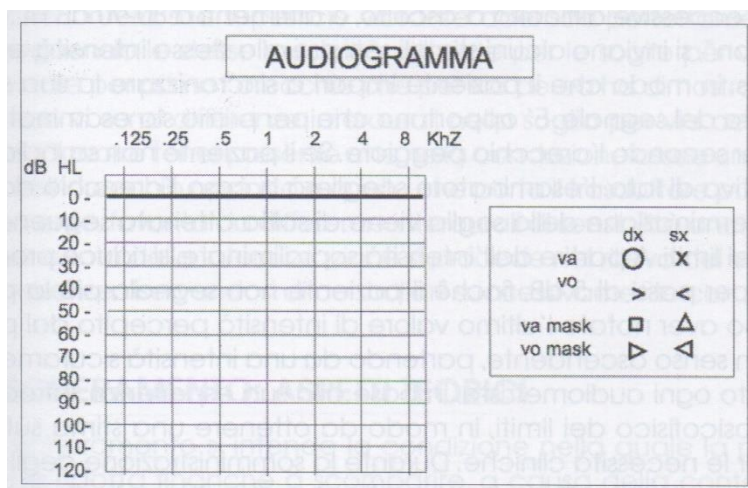


Figura 2: Audiogramma tonale (16)

Per la determinazione della soglia tonale in campo libero, viene chiesto al paziente, seduto all'interno di una cabina silente, di alzare la mano nel momento in cui sente un suono; il test inizia solitamente dalla frequenza centrale di 1 kHz a un'intensità di 40-50 dB HL. La determinazione della soglia viene quindi ottenuta seguendo il metodo psicofisico dei limiti: a partire dall'intensità sopraliminare si riduce progressivamente l'intensità per passi di 5 dB, finché il soggetto non segnala più la presenza dello stimolo. Il procedimento viene poi ripetuto per ogni frequenza, esaminando per prime le frequenze 2-4-6 kHz e in seguito quelle più gravi.

Lo stesso procedimento può essere effettuato anche con l'utilizzo di protesi acustica o impianto cocleare; in questi casi l'audiometria, chiamata audiometria protesica, ha il principale obiettivo di valutare l'entità del guadagno funzionale protesico ottenuto grazie all'amplificazione acustica in campo libero.

In alcuni casi è necessario utilizzare la tecnica audiometrica del mascheramento che consiste nell'inviare stimoli sonori all'orecchio non testato per far sì che le risposte riferite del paziente siano effettivamente in relazione alla stimolazione dell'orecchio esaminato. Se non viene eseguito il mascheramento, può essere rilevata una cosiddetta "curva fantasma" o "curva ombra", i cui valori di soglia sono migliori di quelli reali (16).

2.1.2 L'audiometria vocale

Per audiometria vocale si intende l'invio di stimoli verbali quali liste di parole o frasi a varie intensità, in cuffia o in campo libero a seconda delle diverse applicazioni cliniche. I materiali verbali utilizzati sono stati selezionati e bilanciati da un punto di vista linguistico in modo da rappresentare un "campione" della lingua italiana. Durante il test, viene chiesto al paziente di ripetere le parole o frasi ascoltate che vengono poi giudicate dall'esaminatore e espresse in % di risposte corrette. I dati permettono di definire una funzione di intelligibilità (o curva di intelligibilità) data dalla percentuale di risposte corrette rispetto all'intensità dello stimolo; tale funzione è riportata in un grafico denominato audiogramma vocale (Fig. 3).

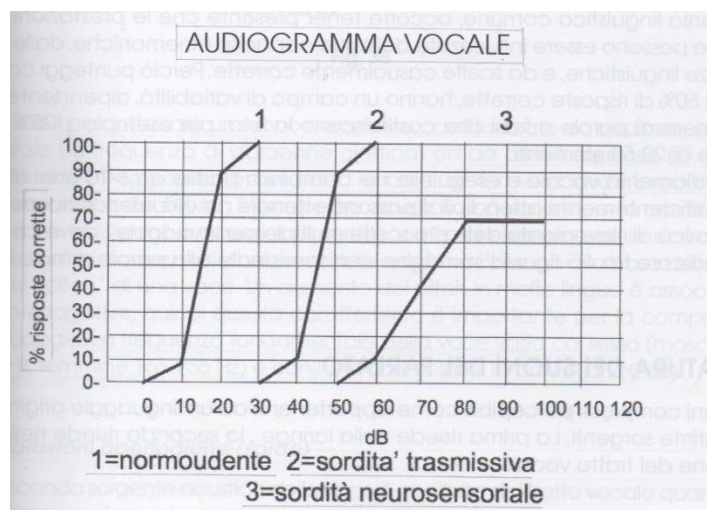


Figura 3: Audiogramma vocale (16)

Il principale obiettivo dell'audiometria vocale è quello di valutare l'efficienza del sistema uditivo nei confronti di stimoli verbali; in quanto strumento di valutazione delle capacità di percezione del parlato, trova largo utilizzo in campo riabilitativo (audiometria protesica) e nelle situazioni in cui sono maggiormente compromesse le abilità di percezione verbale (sordità infantile, presbiacusia).

Ad oggi la modalità di invio degli stimoli maggiormente utilizzata è in campo libero, ossia attraverso altoparlanti collegati all'audiometro, al fine di simulare condizioni di ascolto naturali e quindi ottenere stime funzionali dell'intelligibilità.

Come per l'audiometria tonale, anche in questo caso è possibile utilizzare il mascheramento dell'orecchio controlaterale a quello testato, inviando rumore rosa a un'intensità di 40 dB al di sotto dell'intensità del materiale vocale utilizzato nell'orecchio da testare (16).

2.2 La valutazione logopedica

La figura professionale del logopedista è parte integrante dell'equipe multidisciplinare specialistica che segue il soggetto affetto da sordità sin dai primi mesi di vita: può dunque apportare il proprio contributo nel definire la diagnosi, la prognosi e le diverse soluzioni riabilitative per quanto riguarda il trattamento. In particolare, si sottolinea l'importanza dell'interazione fra audiometrista e logopedista durante tutta la presa in carico del paziente: dalla raccolta anamnestica, al determinare la soglia uditiva e le capacità percettive fino a promuovere l'accettazione e l'utilizzo dell'ausilio da parte del soggetto e della famiglia (17).

La valutazione delle capacità comunicative verbali e uditive nel paziente impiantato rappresenta un importante strumento di verifica nella pianificazione appropriata dell'intervento riabilitativo: un'accurata indagine individuale delle competenze uditivo-percettive, infatti, rappresenta la *baseline* per un appropriato intervento di training.

Le prove percettive variano a seconda dell'età e delle caratteristiche del paziente, ma la modalità di somministrazione generalmente non cambia. La distanza dalla fonte sonora deve essere di 50/60 cm e, in caso di stimoli verbali, vanno presentati a un'intensità di conversazione senza l'aiuto visivo del labiale, quindi mascherando la bocca dell'esaminatore.

I principali test utilizzati esplorano differenti livelli della percezione uditiva secondo lo schema proposto da Erber (18):

- Detezione: capacità di rilevare la presenza/assenza del suono; si manifesta con l'allerta spontanea al suono, l'attenzione selettiva o la risposta condizionata
- Discriminazione: capacità di distinguere i suoni (uguale/diverso) sia per aspetti segmentali sia soprasedimentali
- Identificazione: capacità di identificare items diversi in lista chiusa
- Riconoscimento: capacità di riconoscere items diversi in lista aperta.

Un ulteriore metodo per analizzare lo sviluppo percettivo è quello descritto da Moog e Geers, (19) i quali identificano le seguenti categorie percettive:

0. Nessuna detezione della parola: la soglia di detezione è superiore a 65 dB
1. Nessuna percezione di pattern verbali: è presente la detezione del segnale verbale, ma non la discriminazione in base alla durata o all'accentazione
2. Discriminazione di pattern verbali
3. Identificazione di parole ad elevata differenziazione spettrale: è la capacità di identificare gli stimoli verbali in set chiuso mediante tratti soprasedimentali e segmentali. In questo caso la

capacità di differenziare le parole avviene in base a grossolane caratteristiche acustiche e spettrali.

4. Identificazione di parole a moderata differenziazione spettrale: la capacità di differenziare le parole avviene attraverso il riconoscimento della componente vocalica
5. Identificazione di parole a minima differenziazione spettrale: la capacità di differenziare le parole avviene attraverso il riconoscimento della componente consonantica
6. Riconoscimento di parole in open set: l'individuazione di parole avviene in condizione di scelta illimitata, in set aperto.

Nella clinica esistono diversi strumenti per valutare le abilità percettivo-verbali, in base all'età del soggetto con perdita uditiva bilaterale.

Fino all'anno, si vanno a valutare la detezione e l'identificazione attraverso questionari (Questionario dei rumori ambientali, IT-MAIS) o prove cliniche (Six Sound Test, Lip Profile) e la discriminazione di durata (mediante P.Ca.P. semplificato).

Tra i 12 e i 24 mesi, oltre a queste valutazioni, si può procedere all'analisi dell'identificazione di parole e di vocali (rispettivamente con P.Ca.P. standard e con le matrici di confusione fonemica).

In seguito, le prove aumentano ulteriormente per andare a valutare l'identificazione di parole a minima differenziazione spettrale (T.I.P.I 1 e 2), di consonanti (matrici di confusione fonemica) fino ad arrivare alle prove di riconoscimento in open set di parole e frasi.

2.3 L'utilizzo di logotomi

Un ulteriore input verbale che viene utilizzato nella valutazione delle abilità percettive è rappresentato dai logotomi, ossia unità linguistiche prive di significato, ma fonotatticamente ammissibili nella lingua dell'ascoltatore. In particolare, la ripetizione di non parole è un compito complesso di elaborazione fonologica in cui si chiede al soggetto di ascoltare e poi riprodurre parole senza significato.

Il vantaggio principale dell'utilizzo di sillabe senza senso invece di parole reali per valutare le abilità percettive è che il soggetto, non avendo tali stimoli nel proprio bagaglio lessicale, deve fare affidamento solo sul proprio udito. Di conseguenza, i test che sfruttano i logotomi tendono ad essere più difficili dei test che utilizzano parole reali, poiché gli stimoli non corrispondono a nessuna rappresentazione esistente nel lessico mentale del soggetto.

Dopo l'esposizione a tale stimolo la persona deve mettere in atto alcune competenze, quali scomposizione e analisi del segnale verbale in unità fonologiche, reclutamento della memoria di lavoro fonologica, riassetto delle unità fonologiche in un programma articolatorio e infine la produzione verbale della non parola (20). Per questo motivo, le parole senza significato utilizzate negli studi sulla percezione del parlato contengono solitamente solo una o due sillabe per evitare l'influenza di una possibile scarsa durata della memoria di lavoro fonologica sulle prestazioni; se invece l'obiettivo è quello di valutare la durata della memoria di lavoro e le capacità cognitive del soggetto, le non parole possono essere di durata maggiore.

Un ulteriore aspetto positivo dei logotomi è che i possibili effetti di apprendimento, derivanti dall'utilizzo degli stessi stimoli in più valutazioni, sono molto piccoli rispetto ai test che impiegano parole reali; pertanto, è possibile usare lo stesso test con non parole per l'esame ripetuto della percezione uditiva nello stesso soggetto per verificarne l'andamento e i progressi.

Infine, gli studi che sfruttano le non parole come stimoli uditivi possono essere confrontati tra diverse lingue purché i fonemi inclusi nei test siano comuni alle due lingue (9).

3. LA RIABILITAZIONE LOGOPEDICA

Dopo l'attivazione dell'impianto cocleare, ha inizio la terapia logopedica con l'obiettivo di potenziare la percezione uditiva rendendola efficace per favorire lo sviluppo o il miglioramento delle abilità comunicativo-linguistiche.

Un'équipe interprofessionale che include audiologi, otorinolaringoiatri, audiometristi e logopedisti, integrando prospettive e background professionali diversi, mira a fornire un'assistenza completa di alta qualità. I team interprofessionali lavorano in sinergia nel processo decisionale in merito al trattamento, al monitoraggio dei progressi e ai risultati della terapia, coinvolgendo il soggetto ipoacusico e la famiglia.

3.1 La riabilitazione in età pediatrica

Ad oggi lo scenario che si apre sul trattamento riabilitativo logopedico del bambino ipoacusico è estremamente eterogeneo: esistono infatti svariati metodi e approcci che vanno dall'oralismo al gestualismo.

La terapia logopedica in fase iniziale di un bambino ipoacusico, appena protesizzato, ha l'obiettivo di potenziare la percezione uditiva rendendola efficace per due motivi fondamentali, ossia rendere affidabile l'esame audiometrico e favorire lo sviluppo delle abilità comunicativo-linguistiche.

Complessivamente nel corso del trattamento vengono potenziati quattro domini:

1. *Il counselling e il supporto genitoriale*: l'accoglienza e la guida ai genitori riguardano in primo luogo la gestione pratica del device, oltre che le tecniche e i suggerimenti utili a far indossare con costanza l'IC (tali indicazioni eventualmente sono date al genitore per agevolare la compliance del figlio). In secondo luogo, ci si deve focalizzare sull'attenzione uditiva, quindi coinvolgere i caregiver nel processo di "imparare ad ascoltare".
2. *La comunicazione*: i primi obiettivi della terapia devono riguardare i cosiddetti prerequisiti alla comunicazione, quali contatto oculare, la consapevolezza, l'attenzione, l'imitazione e la presa di turno; per migliorare lo scambio comunicativo bambino-genitore, vengono generalmente proposte attività ludiche quotidiane in ambiente domestico.
3. *L'allenamento percettivo*: tenendo presente la gerarchia delle categorie percettive formulata da Erber (18) e conoscendo le tappe dei comportamenti percettivi del bambino con sviluppo tipico, si strutturano diverse attività mirate alla stimolazione e al potenziamento delle abilità percettivo-uditive.
4. *Gli aspetti prassico-linguistici*. La produzione verbale appare correlata agli aspetti prassici, a loro volta legati alle abilità oro-alimentari. Il logopedista ha dunque il compito di monitorare le funzioni orali e nel frattempo avviare una stimolazione che permetta al bambino

di riconoscere la relazione presente fra i movimenti del distretto orale e il segnale acustico prodotto. Man mano che il bambino sviluppa nuove competenze va inoltre monitorata e potenziata l'acquisizione del linguaggio dal punto di vista formale e funzionale (21).

3.2 La riabilitazione in età adulta

Al termine della valutazione audiometrica e logopedica, l'équipe multidisciplinare andrà a formulare un piano di trattamento in cui le priorità e gli obiettivi specifici vengono concordati congiuntamente, ponendo al centro del processo decisionale il soggetto ipoacusico.

Il logopedista è il professionista sanitario responsabile della riabilitazione percettiva.

Montano (22) definisce la riabilitazione percettiva (*Aural rehabilitation, AR*) come un “approccio centrato sulla persona dalla valutazione e alla gestione dell'ipoacusia che incoraggia la creazione di un ambiente terapeutico favorevole a un processo decisionale condiviso, necessario per esplorare e ridurre l'impatto dell'ipoacusia sulla comunicazione, le attività e le partecipazioni sociali”. Ross (23) include nella sua definizione di AR “qualsiasi dispositivo, procedura, informazione, interazione o terapia che riduca le conseguenze comunicative e psicosociali di una perdita uditiva”.

Un programma di riabilitazione percettiva comprende innanzitutto un counselling indirizzato alla persona ipoacusica e ai familiari riguardo la natura della perdita uditiva, i suoi effetti sulla comunicazione e sulla qualità di vita nonché la corretta gestione e utilizzo dell'impianto cocleare.

In secondo luogo, il trattamento, attraverso training percettivi calibrati sulle competenze e esigenze della persona, avrà l'obiettivo generale di massimizzare le capacità comunicative del soggetto.

È bene comunque tenere in considerazione anche altri fattori nel processo di presa in carico del paziente ipoacusico adulto, quali ad esempio le aspettative, il grado di motivazione, il coinvolgimento dei familiari e la rete sociale in cui è inserito.

3.3 La connettività nella riabilitazione

L'impiego della connettività e dello streaming diretto all'impianto cocleare è stato solo recentemente utilizzato nella riabilitazione del soggetto ipoacusico.

Alcuni studi (24) (25) hanno dimostrato l'importanza della connessione diretta sia durante le attività riabilitative strutturate, sia durante le attività quotidiane, quali l'ascolto di canzoni o la visione di film. Tali studi si sono principalmente concentrati su soggetti con ipoacusia monolaterale, ossia la condizione che causa una perdita uditiva profonda in un solo orecchio mentre il controlaterale presenta una normale soglia uditiva (soglia media [*pure tone average, PTA*] inferiore a 20 dB HL).

In un contesto riabilitativo, la valutazione e il training dell'orecchio impiantato non sono così semplici nei portatori di IC con ipoacusia monolaterale, poiché l'orecchio controlaterale conserva la propria

sensibilità uditiva (rendendo la valutazione e l'addestramento più difficili rispetto a quelli degli utilizzatori di IC bilaterali). Infatti, il paziente sente gli stimoli presentati sia attraverso l'IC che attraverso l'orecchio normoacusico, compromettendo quindi la capacità di ottenere una valutazione accurata delle prestazioni della percezione uditiva con il solo IC.

Le soluzioni comuni a questa sfida includono l'uso di suoni di mascheramento o di tappi auricolari e cuffie per un'ulteriore attenuazione (*plug-and-muff*) nell'orecchio normoacusico. Tuttavia, non sempre i bambini si adeguano all'uso di tali mascheramenti (26) e gli studi hanno riportato scarse prove a sostegno dei benefici del loro utilizzo (27).

Molti studi, infatti, (28) (29) hanno evidenziato che i bambini sono più suscettibili al mascheramento rispetto agli adulti perché tendono a preferire l'udito binaurale e a percepire il mascheramento come una distrazione. Di conseguenza, il riconoscimento del parlato con il solo IC può essere sottostimato nei bambini con ipoacusia monolaterale quando viene testato con questo metodo (30).

Inoltre, Galvin et al. (27) hanno riferito che il metodo *plug-and-muff* non fornisce una riduzione coerente e adeguata del contributo dell'orecchio normale.

Park et al. (30) hanno anche raccomandato di usare il metodo *plug-and-muff* con cautela, perché il livello di attenuazione potrebbe non essere costante e potrebbe risultare scomodo per alcuni bambini. Gli autori hanno infine suggerito che la connettività diretta può essere un metodo valido per isolare l'orecchio dell'IC per i test di riconoscimento delle parole nei soggetti con ipoacusia monolaterale. La connettività è infatti particolarmente rilevante perché permette una stimolazione selettiva del solo orecchio impiantato.

La connettività inoltre può essere sfruttata anche dai soggetti con protesizzazione bimodale portatori di IC abbinato a protesi acustica tradizionale o a coloro i quali hanno un impianto sequenziale, posizionato cioè in un secondo momento rispetto al primo. In entrambe le situazioni si andrebbero a stimolare le abilità percettive dell'orecchio interessato in maniera selettiva e mirata.

4. SCOPO DELLA TESI

La valutazione del paziente ipoacusico è uno step fondamentale nella presa in carico di questi pazienti, per indagare le performance uditive-percettive nonché per permettere una pianificazione appropriata e individualizzata del percorso riabilitativo.

L'obiettivo principale di questo studio è quindi quello di valutare l'affidabilità della connettività nella valutazione della percezione uditiva nel soggetto portatore di impianto cocleare.

Per raggiungere tale scopo sono state valutate le abilità percettive di pazienti con impianto cocleare tramite audiometria tonale e vocale. L'audiometria è stata effettuata in duplice modalità, ossia in cabina audiometrica e tramite streaming diretto dell'input acustico al processore esterno dell'impianto cocleare. In questo modo è stato inoltre possibile confrontare le due metodologie, valutando la correlazione e la concordanza fra di esse.

Un obiettivo secondario è infine quello di valutare l'impiego di logotomi, ossia unità linguistiche prive di significato, nella valutazione delle abilità percettive dello *star patient* con impianto cocleare per capire se questo strumento può essere più efficace nella valutazione del paziente.

5. MATERIALI E METODI

Il presente progetto di tesi, approvato dal Comitato Etico dell'Azienda Ospedale-Università di Padova con n° protocollo 34357 I.17, si è realizzato attraverso la successione di tre fasi distinte: campionamento, raccolta dei dati e analisi dei dati.

5.1 Campionamento

Il campione di questo studio si riferisce a pazienti in carico presso l'Unità Operativa Complessa (UOC) di Otorinolaringoiatria dell'Azienda Ospedale-Università di Padova, che hanno effettuato un controllo per il mappaggio periodico dell'IC tra gennaio e agosto 2023.

I criteri di inclusione presi in considerazione sono stati:

- Ipoacusia neurosensoriale profonda monolaterale o bilaterale
- Presenza di un impianto cocleare marca Cochlear™ con possibilità di connessione Bluetooth
- Intelligibilità verbale al 100% a 50 dB
- Età ≥ 9 anni

I criteri di esclusione, invece, sono stati:

- Presenza di patologie o malformazioni associate
- Impossibilità di utilizzo dei dispositivi di connessione Bluetooth®
- Inaffidabilità nell'esecuzione dei test audiometrici

Non sono stati definiti criteri di inclusione specifici per quanto riguarda l'eziologia, la durata della sordità e il tempo trascorso dall'attivazione dell'impianto. Questo approccio ha fornito l'accesso a un'ampia gamma di prestazioni in termini audiologici e percettivi.

5.2 Raccolta dei dati

Sono state valutate le abilità percettive e uditive tramite audiometria tonale e vocale dei soggetti partecipanti allo studio. I test sono avvenuti, dopo opportuna randomizzazione, in duplice modalità: tramite l'audiometria classica in cabina insonorizzata e attraverso lo streaming diretto dello stimolo sonoro al processore esterno dell'impianto cocleare. Quest'ultima modalità è stata eseguita tramite l'utilizzo di un audio-impedenzometro portatile (modello r15c), fabbricato dall'azienda M.R.S. Divisione Diagnostica MEDICALE, società che dal 1989 opera nel settore audiologico. Tale audiometro è stato collegato al Mini Microphone® della marca Cochlear™ che a sua volta è stato collegato all'app (Cochlear Nucleus Smart app) nel telefono del soggetto; dal cellulare infine gli stimoli, tonali o vocali, sono stati trasmessi all'IC.

L'audiometria tonale in cabina audiometrica ha permesso di determinare la soglia tonale in campo libero per le frequenze di 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz; la soglia tonale tramite connettività è stata calcolata per le frequenze 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz e 8000 Hz.

L'audiometria vocale è avvenuta tramite l'invio e la ripetizione da parte del paziente di parole bisillabiche in cabina audiometrica e tramite streaming diretto. È stata presa in considerazione la percentuale di risposte corrette su 10 parole proposte per le seguenti intensità: 10 dB, 20 dB, 30 dB, 40 dB, 50 dB, 60 dB. Tramite l'audiometro portatile e la connettività è stato inoltre possibile effettuare l'audiometria vocale con logotomi bisillabici.

In caso di pazienti con ipoacusia monolaterale, portatori di un solo IC, l'audiometria in cabina è avvenuta con mascheramento in cuffia dell'orecchio normoacusico tramite rumore a banda stretta (NBN - *Narrow Band Noise*); attraverso la connettività non è stato necessario alcun mascheramento in quanto lo stimolo uditivo raggiungeva direttamente l'IC senza coinvolgere l'orecchio controlaterale.

5.3 Analisi dei dati

Per il confronto tra audiometrie tonali si è proceduto eseguendo analisi di correlazione attraverso l'indice di correlazione R per ranghi di Spearman e test di confronto tra distribuzioni con test di Wilcoxon, per le frequenze testate, da 250 Hz a 4000Hz.

Per quanto riguarda le audiometrie vocali con parole bisillabiche le analisi statistiche hanno avuto l'obiettivo di valutare la correlazione (indice di Spearman) e la concordanza (Bland-Altman plot) tra i risultati ottenuti tramite cabina audiometrica e quelli tramite connettività.

Infine, per quanto concerne i risultati ottenuti dall'audiometria vocale con logotomi, sono state effettuate analisi di correlazione con indice di Spearman e modello di regressione lineare.

6. RISULTATI

6.1 Campione

Il campione finale ottenuto consta di 32 pazienti consecutivi, le cui informazioni sono contenute nell'allegato 1, e 35 misurazioni ottenute: solo per 3 soggetti è stato infatti possibile valutare entrambe le orecchie, sia per motivi riguardanti i criteri di inclusione sia per la collaborazione e compliance dei pazienti.

Il campione è composto da 13 soggetti di sesso maschile (40%) e 19 di sesso femminile (60%) con un'età media di 21,7 anni (9,9-63).

Da un punto di vista eziologico 7 soggetti (22%) riscontrano una mutazione del gene connessina 26 (Cx26), 4 soggetti (13%) cause infettive (citomegalovirus e rosolia), 3 soggetti (10%) presentano cause sindromiche (tra cui Sindrome di Waardenburg, Sindrome Branchio-Oto-Renale), 2 soggetti (6%) sono affetti da sindrome dell'acquedotto vestibolare largo (EVA), un paziente (3%) presenta otosclerosi bilaterale, un soggetto (3%) tumore del sacco endolinfatico mentre in un soggetto (3%) l'ipoacusia è dovuta alla prematurità; il restante 41% presenta una eziologia sconosciuta.

La maggior parte dei partecipanti presenta un'ipoacusia bilaterale (90,6%) mentre solo 3 soggetti presentano un'ipoacusia monolaterale. Dei soggetti con ipoacusia bilaterale, 7 (24%) hanno una protesizzazione bimodale, ossia IC abbinato a protesi acustica tradizionale.

I pazienti risultano omogenei rispetto alla marca di impianto cocleare (Cochlear™) di cui la maggior parte (66%) con un processore esterno di modello CP1000; gli altri modelli presenti nel campione sono CP910 (12%), Kanso 2 (9%) e CP1100 (13%).

Infine, la media di tempo trascorso dall'attivazione dell'impianto cocleare è di 11,9 anni.

6.2 Audiometrie tonali

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti dalle audiometrie tonali effettuate sia in cabina sia tramite la connettività.

Nel grafico 1 vengono riportate, attraverso un diagramma a scatola e baffi, le mediane, e la relativa dispersione, della soglia tonale misurata in cabina audiometrica.

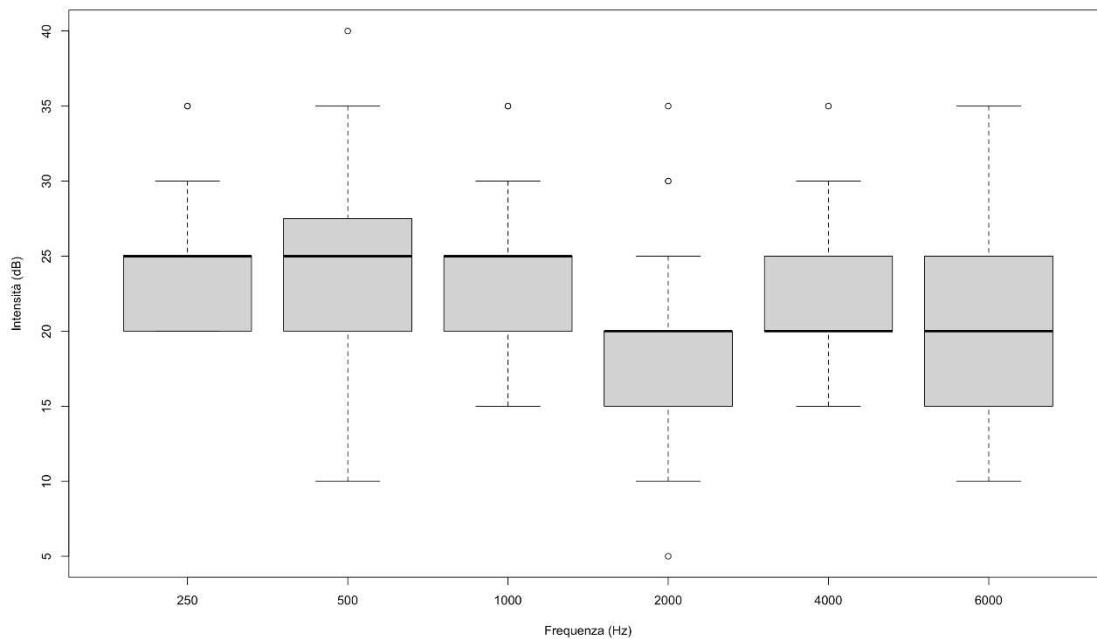


Grafico 1: risultati dell'audiometria tonale in cabina audiometrica

Il grafico 2, invece, mostra i risultati dell'audiometria tonale raccolti attraverso la connettività e l'invio con streaming diretto dell'input uditivo tonale.

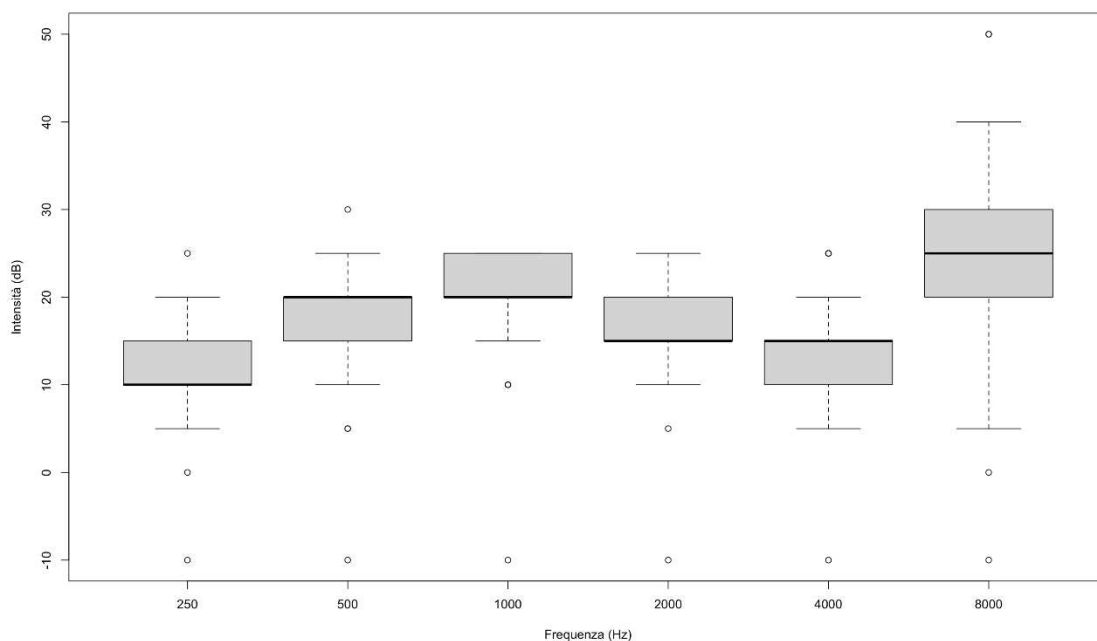


Grafico 2: risultati dell'audiometria tonale tramite connettività

Il grafico 3 mostra nel dettaglio il confronto tra cabina audiometrica e connettività per le varie frequenze (250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz).

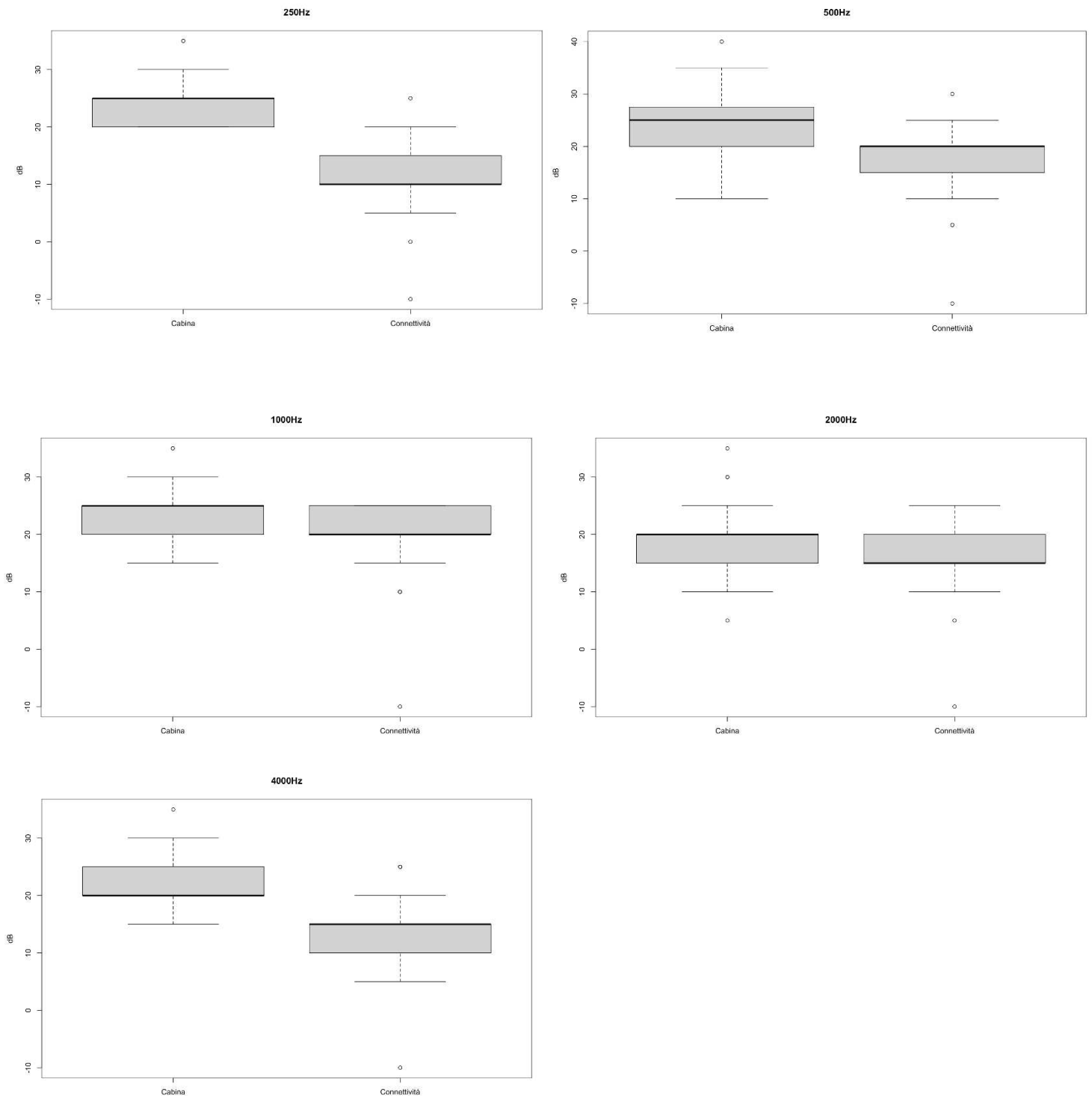


Grafico 3: confronto tra cabina e connettività per le varie frequenze

In relazione ai boxplot del grafico 3 è stata effettuata un'analisi di confronto tra distribuzioni tramite il test Wilcoxon, con ipotesi nulla H_0 : misure cabina - misure connettività = 0 e alpha pari a 0,05. I risultati, riassunti nella tabella 1, mostrano una differenza tra i due gruppi statisticamente significativa per quasi tutte le frequenze.

Frequenza	p-value
250 Hz	$5,01 \times 10^{-12}$ *
500 Hz	$7,48 \times 10^{-07}$ *
1000 Hz	0,014*
2000 Hz	0,051
4000 Hz	$4,14 \times 10^{-07}$ *

* differenza statisticamente significativa

Tabella 1: confronto tra mediane della soglia tonale tra cabina e connettività

Infine, l'analisi della correlazione tra cabina audiometrica e connettività è stata effettuata attraverso l'indice di correlazione R per ranghi di Spearman; i risultati, riportati nella tabella 2, mostrano in generale basse correlazioni.

Frequenza	rho	p-value
250 Hz	0,226	0,1907
500 Hz	0,277	0,1070
1000 Hz	- 0,019	0,9095
2000 Hz	0,217	0,2111
4000 Hz	0,163	0,3483
6000-8000 Hz	0,104	0,5503

Tabella 2: correlazione della soglia tonale tra cabina e connettività

6.3 Audiometrie vocali

I risultati ottenuti dalle audiometrie vocali in cabina e tramite connettività (graf. 4, graf. 5, graf. 7) sono espressi in proporzione di parole ripetute correttamente per ogni intensità (espressa in dB).

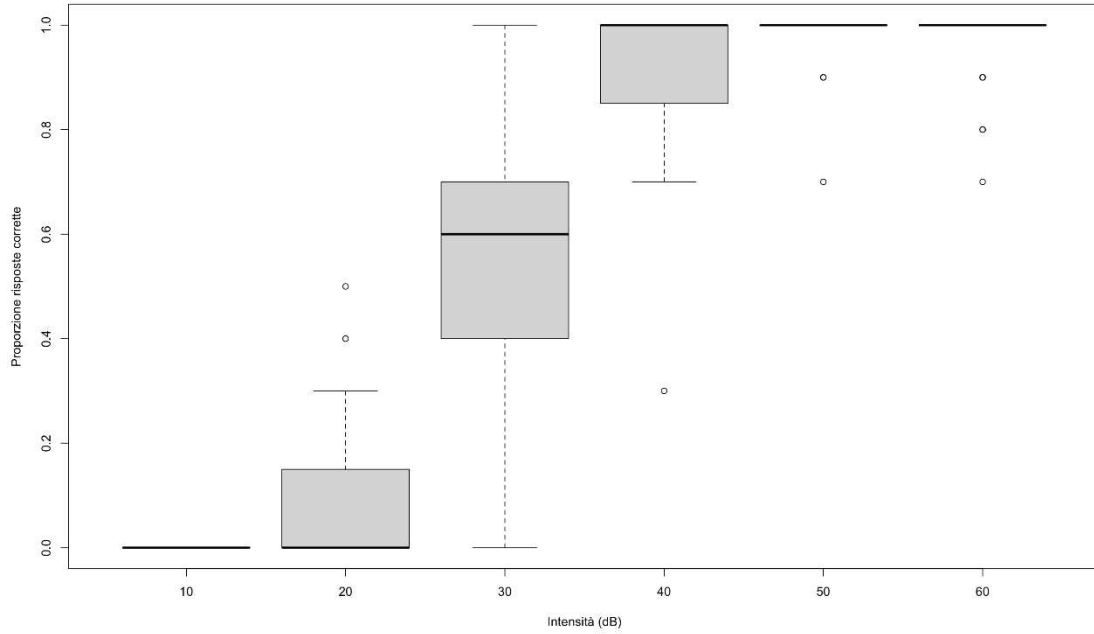


Grafico 4: risultati dell'audiometria vocale (parole bisillabiche) in cabina audiometrica

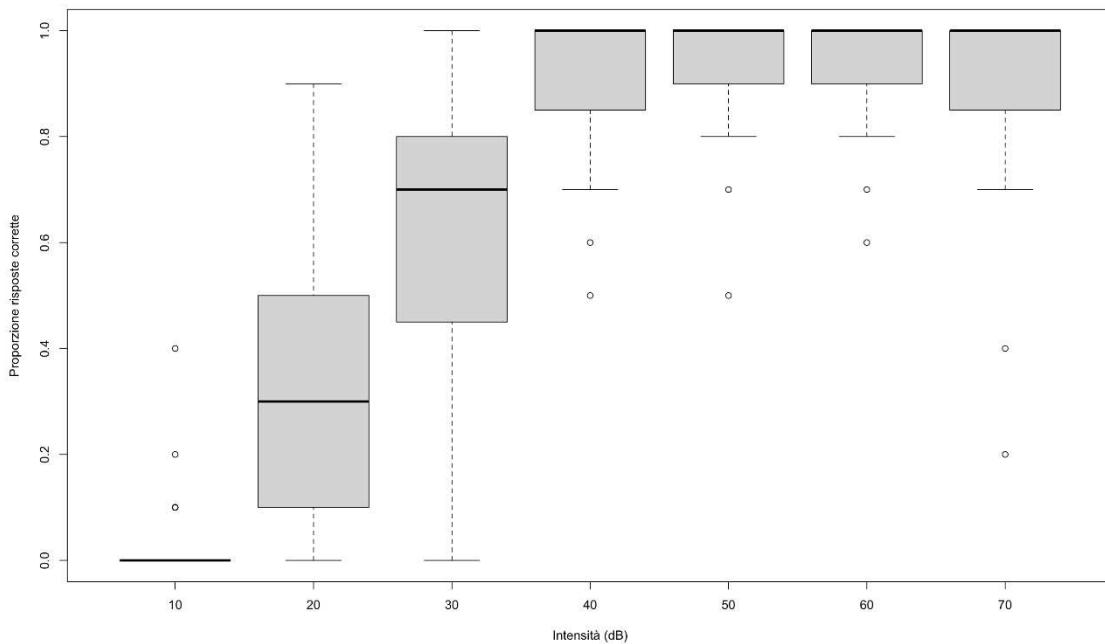


Grafico 5: risultati dell'audiometria vocale (parole bisillabiche) tramite connettività

Le analisi di correlazione, effettuate con test di Spearman, si sono limitate all'intensità di 30 dB ossia quella che presenta maggiore variabilità nei risultati; le altre intensità, infatti, sono troppo omogenee per consentire una analisi di correlazione. Per i 30 dB il coefficiente di correlazione (ρ) equivale a 0,8020 ($p\text{-value} = 6,99 \times 10^{-9}$), corrispondente a una correlazione forte tra connettività e cabina audiometrica.

Per lo stesso valore di intensità si è quindi proceduto all'analisi di concordanza, rappresentata di seguito attraverso il Bland-Altman plot (graf.6).

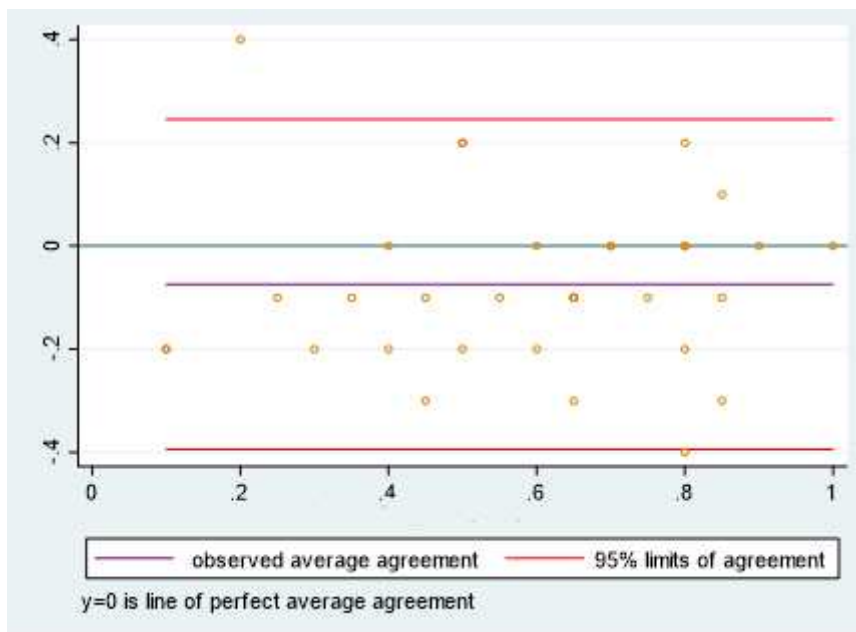


Grafico 6: risultati dell'analisi di concordanza tra cabina e connettività (parole bisillabiche) a 30 dB

Sull'asse delle ordinate vengono rappresentate le differenze tra le due misurazioni in cui ogni punto corrisponde a una singola osservazione; sull'asse delle ascisse vengono rappresentate le medie delle due misurazioni, espresse come proporzioni di parole ripetute correttamente. La linea viola orizzontale rappresenta la media delle differenze, prossima allo 0. Infine, le due linee rosse rappresentano l'intervallo di accordo, ossia la variabilità delle differenze tra le due misurazioni. In questo caso l'intervallo di accordo risulta compreso tra -0.40 a +0.25.

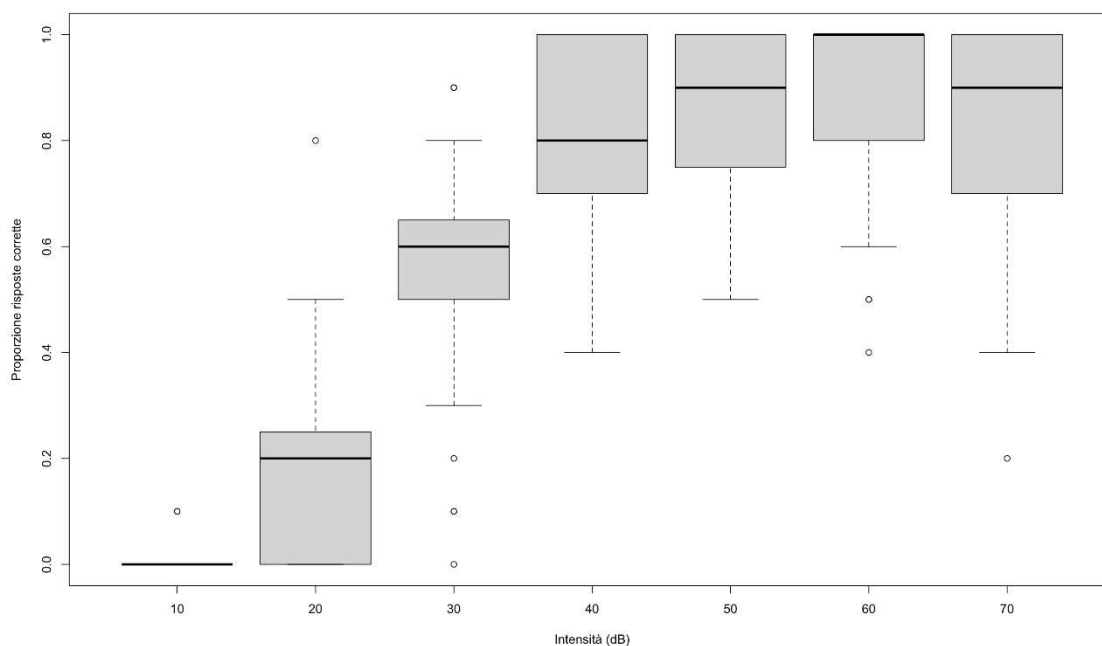


Grafico 7: risultati dell'audiometria vocale (logotomi) tramite connettività

Per quanto riguarda i logotomi, l'analisi statistica ha avuto l'obiettivo di valutare la correlazione dei risultati ottenuti con quelli dell'audiometria vocale classica, che sfrutta cioè parole bisillabiche sempre tramite connettività (tab. 3); ci si è limitati all'analisi della correlazione per le intensità in cui vi è maggiore variabilità nella classificazione dei pazienti, ossia 20 dB e 30 dB.

Intensità	rho	p-value
20 dB	0,8632	$2,534 \times 10^{-11}$
30 dB	0,7470	$2,536 \times 10^{-07}$

Tabella 3: correlazione della soglia di intelligibilità verbale tra logotomi e parole bisillabiche tramite connettività

Infine, dal modello di regressione lineare, in cui come covariata è stata inserita la variabile della durata dell'IC, non è stato riscontrato nessun effetto sulla proporzione di parole ripetute correttamente.

7. DISCUSSIONE

I risultati ottenuti hanno permesso di valutare la correlazione e in alcuni casi la concordanza tra audiometria in cabina, con presentazione dell'input tonale o vocale tramite altoparlante, e audiometria effettuata tramite connettività, con streaming diretto dello stimolo al processore esterno dell'impianto cocleare.

Tali analisi sono state effettuate sia per quanto riguarda la soglia tonale misurata con audiometria tonale (ossia la minima intensità percepita dal paziente per toni di una certa frequenza) sia per quanto concerne l'intelligibilità verbale dell'audiometria vocale (ossia il numero di parole ripetute correttamente a una certa intensità).

Rispetto all'audiometria tonale le analisi statistiche effettuate riportano una bassa correlazione tra i due metodi, confermata anche dal test di confronto tra distribuzioni che indica differenze statisticamente significative tra le distribuzioni delle soglie tonali per quasi la totalità delle frequenze testate. La bassa correlazione è verosimilmente dovuta alla bassa variabilità dei risultati ottenuti con l'audiometria tonale, come è possibile notare dai diagrammi a scatola e baffi (graf. 1 e graf. 2) in cui mediana e terzo quartile talvolta coincidono; ciò può dipendere inoltre dalla natura della variabile che sembra essere discreta e non continua.

Nonostante l'audiometria classica in cabina audiometrica sia considerata lo strumento di valutazione gold standard e sia effettuata in ambiente insonorizzato quindi favorevole, i risultati dimostrano soglie tonali più alte e maggiormente distribuite rispetto a quelle misurate tramite la connettività diretta. In generale, infatti, è possibile affermare come i pazienti abbiano una soglia tonale più bassa e più omogenea se misurata tramite connettività e ciò dimostra una maggiore capacità dello strumento nel cogliere le più piccole percezioni uditive a parità di frequenza.

Per quanto riguarda l'intelligibilità verbale con parole bisillabiche ci si è concentrati sulle intensità che ottengono risultati maggiormente distribuiti, ossia i 30 dB. Questa maggiore variabilità è verosimilmente dovuta al fatto che tali intensità siano più prossime alla media dei toni puri (*pure tone average* [PTA]) ossia la media della sensibilità uditiva a 500, 1000 e 2000 Hz e perciò distanti dall'intensità comoda al raggiungimento del 100% di parole ripetute correttamente; tra i criteri di inclusione vi era il raggiungimento di una intelligibilità verbale al 100% a 50 dB e, per questo motivo, i risultati alle intensità più elevate risultano più omogenei.

Per l'intensità testata dei 30 dB emerge una buona correlazione, mostrando come gli strumenti consentano una classifica analoga delle prestazioni dei pazienti. Rispetto alla concordanza, invece, le analisi (graf. 6) mostrano come clinicamente l'intervallo di accordo sia ampio indicando perciò una grande variabilità tra i due metodi. Infatti, se un soggetto ripete il 70% delle parole correttamente con

uno dei due metodi (es. in cabina audiometrica), se ritestato con l'altro strumento (es. streaming diretto) il risultato può variare tra -40% e +25% rispetto a quello effettuato in precedenza. Più verosimilmente, il paziente tenderà ad avere un risultato migliore se valutato con la connettività perché anche in questo caso si registrano performance migliori con lo streaming diretto, in termini di numero di parole ripetute correttamente a parità di intensità dello stimolo.

Infine, per quanto concerne i logotomi i dati mostrano una buona correlazione con l'intelligibilità verbale di parole bisillabiche tramite connettività, dimostrando il fatto che un paziente con buone abilità percettive per le parole tende ad ottenere buoni risultati anche per parole prive di significato. Non è stata invece riscontrata una variabilità dei risultati dovuta alla durata dell'impianto cocleare.

I due strumenti, quindi, non risultano del tutto sovrapponibili e concordi: la connettività diretta non rappresenta uno strumento in sostituzione alla cabina audiometrica bensì un metodo da considerare supplementare (in alternativo in alcuni casi), in grado di fornire informazioni più dettagliate rispetto al paziente ipoacusico portatore di impianto cocleare. Nello specifico dello *star patient*, sarebbe perciò interessante eseguire la valutazione in cabina come screening preliminare e successivamente implementare l'*assessment* con l'audiometria tonale e vocale con la connettività diretta. Dopo un adeguato periodo di training percettivo, inoltre, si dovrebbe ritestare il paziente con le stesse modalità al fine di monitorare i risultati ottenuti.

Viene perciò confermato il valore clinico della connettività e dello streaming diretto come strumento aggiuntivo in grado di descrivere in maniera più specifica le performance del paziente.

Sebbene inoltre il numero di pazienti monolaterali fosse esiguo, viene ribadita l'utilità dello streaming diretto in questa popolazione (30): la connettività, infatti, può rappresentare un metodo valido per isolare l'orecchio ipoacusico portatore di impianto cocleare perché permette una valutazione selettiva del solo orecchio impiantato, evitando quindi il coinvolgimento di quello normoacusico controlaterale; allo stesso modo essa può essere sfruttata durante la riabilitazione per permettere una stimolazione esclusiva dell'orecchio con IC.

Infine, un ulteriore vantaggio della connettività è il suo possibile impiego durante la valutazione logopedica con lo scopo di mascherare l'orecchio non testato, inviando quindi rumore bianco direttamente all'IC ed effettuare contemporaneamente le prove percettive all'orecchio da valutare.

In conclusione, i risultati hanno consentito di confermare l'importanza di una valutazione accurata al fine di programmare il successivo iter riabilitativo per i pazienti e come baseline per il monitoraggio futuro, in quanto la misurazione utilizzata incide sulla valutazione dell'outcome e sulla verifica dei risultati (31).

Tale studio ha permesso inoltre di portare l'attenzione sull'utilizzo di logotomi nella valutazione e eventualmente anche nel trattamento dei soggetti ipoacusici. In letteratura, gli studi che indagano la percezione o l'errata percezione di consonanti e vocali attraverso unità linguistiche prive di significato sono stati condotti in diverse lingue, come l'inglese (32), francese (33), tedesco (34) (35) e norvegese (9).

Dalle ricerche effettuate in letteratura però, non emergono studi che abbiano considerato la ripetizione di non parole in lingua italiana e attraverso la connettività.

Questo primo studio preliminare vuole quindi dimostrare l'importanza dell'utilizzo dei logotomi nel discriminare le abilità percettive dei pazienti con capacità già ottimali (*star patient*). A questo proposito, sarebbe utile implementare le analisi dei test effettuati con logotomi per ottenere informazioni precise sulla percezione e sulla confusione di consonanti e vocali; tali dati possono essere infatti estremamente preziosi per i logopedisti nel momento in cui si devono pianificare esercizi di discriminazione. (36)

Infine, questo studio ha comprovato l'importanza della sinergia tra logopedista e audiometrista in tutte le fasi della presa in carico del paziente ipoacusico, nella raccolta anamnestica, nell'identificazione della soglia uditiva e delle capacità percettive, fino a promuovere l'accettazione e l'utilizzo dell'ausilio da parte del soggetto e della famiglia (17).

8. CONCLUSIONI

Il presente elaborato di tesi ha permesso di approfondire il ruolo della connettività nella valutazione del paziente ipoacusico portatore di impianto cocleare.

Le analisi statistiche effettuate sulle misurazioni ottenute hanno fatto emergere una bassa correlazione tra i due metodi per quanto riguarda l'audiometria tonale; in relazione all'audiometria vocale, invece, le analisi riportano un'alta correlazione ma una bassa concordanza fra i due strumenti. È quindi possibile affermare che la connettività sia da considerarsi uno strumento di valutazione aggiuntivo in grado di fornire maggiori informazioni sulle abilità percettive del paziente ipoacusico.

Sicuramente, l'utilizzo di materiale verbale privo di significato rappresenta un valore aggiuntivo in grado di distinguere e discriminare i vari pazienti, come dimostrato dalle analisi effettuate. Rispetto a ciò, le prospettive future includono un'analisi fonologica più specifica dei logotomi ripetuti dai pazienti.

Inoltre i soggetti, quando valutati con la connettività, ottenevano generalmente performance migliori sia in termini di soglia tonale sia di intelligibilità verbale. A questo proposito sarebbe interessante ottenere misure qualitative da parte dei pazienti per indagare il loro parere riguardo la percezione degli input uditivi tramite connettività in modo da implementare al meglio tale strumento nella pratica clinica logopedica sia in valutazione sia durante il trattamento.

Sarebbe infine interessante approfondire il contributo che la connettività porta nella valutazione del paziente ipoacusico portatore di impianto cocleare e valutarne la sua fattibilità nei contesti clinico-ospedalieri, andando quindi a estendere e ampliare i criteri di inclusione del campione, con particolare attenzione a quelle situazioni di udito asimmetrico in cui problemi o errori di mascheramento potrebbero sovrastimare le performance percettive dell'impianto cocleare. È sempre più comune, infatti, l'utilizzo di impianto cocleare monolaterale in caso di ipoacusia unilaterale congenita (37), nei casi di neurinoma del nervo acustico (38) o di ipoacusia acquisita post traumatica con fattori di rischio per una possibile progressione uditiva.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

1. Bovo R, Martini A. L'impianto cocleare. Dalla teoria alla pratica clinica. Padova: CLEUP; 2019.
2. Prosser S, Martini A. Argomenti di Audiologia. Nuova Edizione. Torino: Omega Edizioni; 2013.
3. Lenarz T. Cochlear implant - state of the art. *GMS Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg.* 2018;16:Doc04.
4. Dowell RC, Dettman SJ, Blamey PJ, Barker EJ, Clark GM. Speech perception in children using cochlear implants: prediction of long-term outcomes. *Cochlear Implants Int.* 2002;3(1):1-18.
5. Rotteveel LJ, Snik AF, Cooper H, Mawman DJ, van Olphen AF, Mylanus EA. Speech perception after cochlear implantation in 53 patients with otosclerosis: multicentre results. *Audiol Neurootol.* 2010;15(2):128-136.
6. Cosetti MK, Waltzman SB. Outcomes in cochlear implantation: variables affecting performance in adults and children. *Otolaryngol Clin North Am.* 2012;45(1):155-171.
7. Blamey P, Artieres F, Başkent D, et al. Factors affecting auditory performance of postlinguistically deaf adults using cochlear implants: an update with 2251 patients. *Audiol Neurootol.* 2013;18(1):36-47.
8. Gifford RH, Shallop JK, Peterson AM. Speech recognition materials and ceiling effects: considerations for cochlear implant programs. *Audiol Neurootol.* 2008;13(3):193-205.
9. Rødvik AK, von Koss Torkildsen J, Wie OB, Storaker MA, Silvola JT. Consonant and Vowel Identification in Cochlear Implant Users Measured by Nonsense Words: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Speech Lang Hear Res.* 2018;61(4):1023-1050
10. American Speech-Language-Hearing Association (ASHA). Cochlear Implants. Disponibile online all'indirizzo: <https://www.asha.org/public/hearing/cochlear-implant>. (22/06/2023)
11. Martini A., Bovo R., Trevisi P., Forli F. & Berrettini S. (2013). L'impianto cocleare nel bambino: razionale, indicazioni, costo/efficacia. *Minerva Pediatrica*, 65 (1)
12. Politis, D., Chriskos, P., Chriskos, N., Tsaligopoulos, M., Kyriafinis, G. Cochlear implants and wireless connectivity Inner-core Connectivity cradling into the 2.4 GHz Arena. *International Conference on Interactive Mobile Communication Technologies and Learning (IMCL)* (2015): 396-400
13. Cochlear, Dispositivi True Wireless. Disponibile online all'indirizzo: <https://www.cochlear.com/it/it/home/products-and-accessories/our-accessories/true-wireless-devices> (05/07/2023)
14. Advanced Bionics, Connettività. Disponibile online all'indirizzo: <https://advancedbionics.com/it/it/home/products/accessories/wireless-media-connectivity.html> (05/07/2023)
15. MED-EL, Connettività. Disponibile online all'indirizzo: <https://www.medel.com/hearing-solutions/accessories/connectivity> (05/07/2023)
16. Prosser S. Argomenti di Audiologia. Torino: Omega; 2013
17. Resca A., Luchenti S. La valutazione complessiva audiologica e logopedica del bambino sordo nel primo anno e mezzo di vita. In: *La sordità infantile. Nuove prospettive di intervento.* Trento: Edizioni Centro Studi Erickson, 2018.
18. Erber, N. P. (1982). Auditory training. A. G. Bell Association for the Deaf.
19. Geers AE, Moog J. Spoken language results: Vocabulary, syntax, and communication. *The Volta Review.* 1994;96:131-148

20. Dillon CM, Pisoni DB. Non word Repetition and Reading Skills in Children Who Are Deaf and Have Cochlear Implants. *Volta Rev.* 2006;106(2):121-145
21. Montino S, Ghiselli S, Trevisi P. La riabilitazione logopedica del bambino ipoacusico (0-24 mesi): dalle protesi acustiche all'impianto cocleare. Padova: CLEUP, ORLAF&L; 2017.
22. Montano J. J. Defining audiologic rehabilitation. In: Adult audiologic rehabilitation. San Diego, CA: Plural, 2014.
23. Ross, Mark. A retrospective look at the future of aural rehabilitation. *J Acad Rehabil Audiol* 30 (1997): 11-28.
24. Távora-Vieira D, Marino R. Re-training the deaf ear: Auditory training for adult cochlear implant users with singlesided deafness. *Cochlear Implants Int.* 2019;20(5):231-236. doi:10.1080/14670100.2019.1603652
25. Agostinelli A, Pegolo M, Montino S, et al. Improving Auditory Perception in Pediatric Single-Sided Deafness: Use of Cochlear Implants' Direct Connection for Remote Speech Perception Rehabilitation. *Am J Audiol.* 2023;32(1):52-58. doi:10.1044/2022_AJA-21-00271
26. Greaver L, Eskridge H, Teagle HFB. Considerations for Pediatric Cochlear Implant Recipients With Unilateral or Asymmetric Hearing Loss: Assessment, Device Fitting, and Habilitation. *Am J Audiol.* 2017;26(2):91-98. doi:10.1044/2016_AJA-16-0051
27. Galvin JJ 3rd, Fu QJ, Wilkinson EP, et al. Benefits of Cochlear Implantation for Single-Sided Deafness: Data From the House Clinic-University of Southern California-University of California, Los Angeles Clinical Trial. *Ear Hear.* 2019;40(4):766-781. doi:10.1097/AUD.0000000000000671
28. Corbin NE, Bonino AY, Buss E, Leibold LJ. Development of Open-Set Word Recognition in Children: Speech-Shaped Noise and Two-Talker Speech Maskers. *Ear Hear.* 2016;37(1):55-63. doi:10.1097/AUD.0000000000000201
29. Leibold LJ, Buss E. Masked Speech Recognition in School-Age Children. *Front Psychol.* 2019;10:1981. Published 2019 Sep 3. doi:10.3389/fpsyg.2019.01981
30. Park LR, Preston E, Noxon AS, Dillon MT. Comparison of test methods to assess the implanted ear alone for pediatric cochlear implant recipients with single-sided deafness. *Cochlear Implants Int.* 2021;22(5):283-290. doi:10.1080/14670100.2021.1903715.
31. American Speech-Language-Hearing Association (ASHA). Hearing Loss in Children. Disponibile online all'indirizzo https://www.asha.org/practice-portal/clinical-topics/hearing-loss-in-children/#collapse_5 (14/09/2023)
32. Bhattacharya A, Zeng FG. Companding to improve cochlear-implant speech recognition in speech-shaped noise. *J Acoust Soc Am.* 2007;122(2):1079-1089. doi:10.1121/1.2749710
33. Guevara N, Hoen M, Truy E, Gallego S. A Cochlear Implant Performance Prognostic Test Based on Electrical Field Interactions Evaluated by eABR (Electrical Auditory Brainstem Responses). *PLoS One.* 2016;11(5):e0155008. Published 2016 May 5. doi:10.1371/journal.pone.0155008
34. Wesker T, Meyer B T, Wagener K, Anemüller J, Mertins A, Kollmeier B. Oldenburg logatome speech corpus (OLLO) for speech recognition experiments with humans and machines. *Interspeech.* 2005; 1273-1276
35. Rahne T, Ziese M, Rostalski D, Mühler R. Logatome discrimination in cochlear implant users: subjective tests compared to the mismatch negativity. *ScientificWorldJournal.* 2010;10:329-339. Published 2010 Feb 19. doi:10.1100/tsw.2010.28
36. Rødvik AK, Torkildsen JVK, Wie OB, Tvette O, Skaug I, Silvola JT. Consonant and vowel confusions in well-performing adult cochlear implant users, measured with a nonsense syllable repetition test [published online ahead of print, 2023 Feb 28]. *Int J Audiol.* 2023;1-9. doi:10.1080/14992027.2023.2177893
37. Dewyer NA, Smith S, Herrmann B, Reinshagen KL, Lee DJ. Pediatric Single-Sided Deafness: A Review of Prevalence, Radiologic Findings, and Cochlear Implant Candidacy. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2022;131(3):233-238. doi:10.1177/00034894211019519

38. Sorrentino F, Tealdo G, Cazzador D, et al. Cochlear implant in vestibular schwannomas: long-term outcomes and critical analysis of indications. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2022;279(10):4709-4718. doi:10.1007/s00405-021-07243-0

ALLEGATI

Allegato 1 - Informazioni demografiche del campione

Soggetto	Genere	Età	Eziologia	Mono/bil	Modello IC	Anno di attivazione	Protesi controlaterale
1	M	28,5	Tumore del sacco endolinfatico	mono DX	Kanso 2	2022	No
2	F	17,3	CMV	bil	CP1000	2008	IC SIN (2010)
3	M	15,10	Sconosciuta	bil	CP1000	2009	Si
4	F	10	CMV	mono SIN	CP1000	2015	No
5	F	33,10	Connessina 26	bil	CP1000	2011	Si
6	M	12,7	Connessina 26	bil	CP1000	2011	IC DX (simultaneo)
7	F	49,6	Sconosciuta	bil	CP1000 SIN CP1110 DX	2020 2023	
8	M	18,4	Sconosciuta	bil	Kanso 2	2016	Si
9	F	20	Connessina 26	bil	CP1110	2004	IC DX (2014)
10	M	14,7	EVA	bil	CP1000	2016	Si
11	M	11	Sdr di Waardenburg tipo 2	bil	CP910	2017	IC SIN (2015)
12	F	49,11	Infezione congenita da Rosolia	bil	CP910	2014	IC DX (2008)
13	F	16	Prematurità	bil	CP910	2014	No
14	F	54,3	Sconosciuta	bil	CP1000	2018	IC SIN (2020)
15	F	13,6	Sconosciuta	bil	CP1000	2012	IC SIN (2010)
16	M	16,9	CMV	bil	CP1000 SIN CP1000 DX	2013 2022	
17	M	10,9	Connessina 26	bil	CP1100	2017	IC DX (2017)
18	M	27,5	Sconosciuta	bil	CP1110	2000	No
19	F	12,7	Sconosciuta	bil	CP910	2017	IC DX (2022)
20	F	14,8	Sconosciuta	bil	CP1000	2013	IC SIN (2022)
21	F	29	Sconosciuta	mono SIN	Kanso 2	2022	No
22	F	23,8	Sconosciuta	bil	CP1000	2001	No
23	M	9,9	Connessina 26	bil	CP1000	2014	IC SIN (simultaneo)
24	F	20,2	Sconosciuta	bil	CP1000	2005	IC SIN (2021)
25	M	24,4	Connessina 26	bil	CP1110	2001	No
26	F	21	EVA	bil	CP1000	2018	Si
27	F	11,1	Connessina 26	bil	CP1000	2014	IC SIN (2021)
28	F	9,10	Sconosciuta	bil	CP 1000	2015	IC DX (2017)

29	F	13,2	Sdr. Waardenburg	bil	CP1000	2011	IC DX (2011)
30	F	12	Sconosciuta	bil	CP1000 SIN CP1000 DX	2013 2016	
31	M	13,6	Sdr. BOR	bil	CP1000 SIN	2015	Sì
32	M	63	Otosclerosi bilaterale	bil	CP1110	2017	Sì

Note: M = maschio; F = femmina; CMV = citomegalovirus; EVA = Enlarged Vestibular Acqueduct (acquedotto vestibolare largo); Sdr = sindrome; BOR = Branchio-Oto-Renale; IC = impianto cocleare; SIN = sinistra; DX = destra