



SELINUS UNIVERSITY
OF SCIENCES AND LITERATURE

LA BINAURALITÀ
Caratteristiche, benefici nella protesizzazione
e confronto tra applicazioni
monolaterali e bilaterali.

By
Roberto Solinas

Supervised by
Prof. Salvatore Fava Ph.D

A DISSERTATION

Presented to the Department of Engineering & Technology
program at Selinus University

Faculty of Engineering & Technology
in fulfillment of the requirements
for the degree of Bachelor of Science in
Audioprotetic Sciences

2019

INDICE

Introduzione	4
1. Aspetti anatomici e funzionali dell'udito binaurale naturale	5
1.1. Propagazione del suono nella periferia uditiva	5
1.2. Vie uditive centrali: anatomia e implicazioni nella codifica binaurale	9
2. La binauralità	15
2.1. Localizzazione	15
2.2. Localizzazione sul piano orizzontale	16
2.3. Teoria Duplex	17
2.4. Localizzazione sul piano verticale	20
2.5. Localizzazione fronte-retro	21
2.6. Percezione della distanza	21
2.7. Diffrazione	22
2.8. Riduzione del mascheramento binaurale	24
2.9. Somma binaurale della loudness	26
2.10. Batimenti binaurali	26
3. Le conseguenze della perdita uditiva	28
3.1. Fitting monolaterale e fitting bilaterale	29
3.2. Deprivazione uditiva	31
4. Regolazioni prescritte: differenze nel fitting monolaterale e bilaterale	35
4.1. NAL-NL1	37
4.2. NAL-NL2	38
4.3. DSL adulti	39

5. Scopo e svolgimento dello studio	40
5.1. Test SSQ	40
5.2. Audiometria vocale	41
5.3. Svolgimento, materiale e applicazioni dell'audiometria vocale	42
5.4. Svolgimento dello studio	48
5.5. Soggetti	49
6. Risultati	51
6.1. Analisi dei risultati ottenuti tramite il test SSQ	51
6.2. Analisi dei risultati ottenuti tramite il guadagno funzionale vocale	59
7. Relazione tra Test SSQ e guadagno funzionale vocale	64
8. Conclusioni	66
Appendice	68
Bibliografia	75

INTRODUZIONE

L'udito è il senso della comunicazione e dell'interazione sociale, elementi fondamentali per una buona qualità di vita. Chi ha problemi di udito tende ad isolarsi per evitare le difficoltà che ogni giorno potrebbe incontrare durante la comunicazione, privandosi di molte occasioni e incontri. I progressi tecnologici offrono delle soluzioni sempre più innovative e performanti, sviluppate sul principio di riuscire a riprodurre i meccanismi naturali, che la parte danneggiata non riesce più a sostenere.

Con questo studio ho voluto analizzare le caratteristiche e i benefici dell'udito binaurale naturale e gli sviluppi e i vantaggi delle applicazioni bilaterali e dei nuovi apparecchi binaurali rispetto all'utilizzo di un solo apparecchio. Sono stati esaminati i casi di 21 pazienti, confrontando le diverse applicazioni e la resa protesica oggettiva e soggettiva. Per verificare i reali vantaggi nell'utilizzo delle applicazioni binaurali rispetto agli apparecchi bilaterali e monolaterali è stato utilizzato il questionario SSQ ed è stato ricercato il guadagno funzionale vocale.

I risultati così ottenuti sono stati confrontati, analizzando in modo più dettagliato le risposte maggiormente significative.

Questo studio mi ha permesso di avere maggiore consapevolezza nella scelta e applicazione degli apparecchi e mi permetterà di informare i pazienti delle differenze e dei vantaggi di un'applicazione binaurale, motivandoli all'utilizzo. Dove possibile, di due apparecchi.

1. ASPETTI ANATOMICI E FUNZIONALI DELL'UDITO BINAURALE NATURALE

1.1. PROPAGAZIONE DEL SUONO NELLA PERIFERIA UDITIVA

L'onda sonora raggiunge l'orecchio esterno, costituito dal padiglione auricolare, il quale convoglia il suono, e dal condotto uditivo esterno costituito da una parte cartilaginea e una parte ossea e chiuso medialmente dalla membrana timpanica, come illustrato in Figura 1. La forma dell'orecchio esterno ha importanti caratteristiche di risonanza che amplificano di circa 15 dB l'intensità soprattutto dei suoni acuti, con dei picchi a 2,5-3,5 KHz.

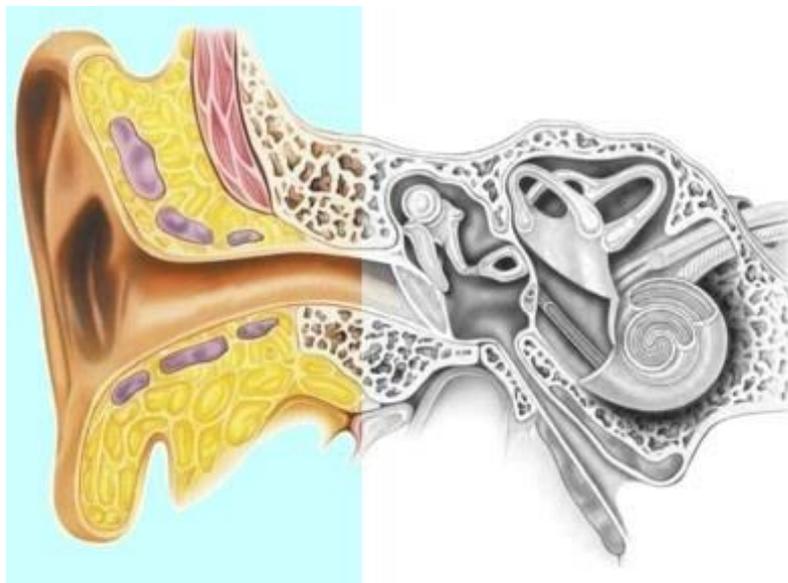


Figura 1. Orecchio esterno

L'onda sonora raggiunge successivamente la membrana timpanica mettendola in vibrazione. Ciò determina lo spostamento della catena ossiculare grazie al contatto tra il timpano e il manico del martello. L'orecchio medio, illustrato in Figura 2,

svolge l'importantissima funzione di accoppiatore di impedenza grazie a tre importanti caratteristiche: la particolare costituzione, curvatura ed elasticità della membrana timpanica, un fondamentale sistema di leve costituito dagli ossicini che compongono la catena ossiculare e la differenza di superficie tra la membrana timpanica e la platina della staffa. Ciò ci permette di non perdere circa 40 dB di intensità a causa dell'interfaccia tra il mezzo aereo che caratterizza l'orecchio medio ed esterno, e il mezzo liquido che caratterizza l'orecchio interno.

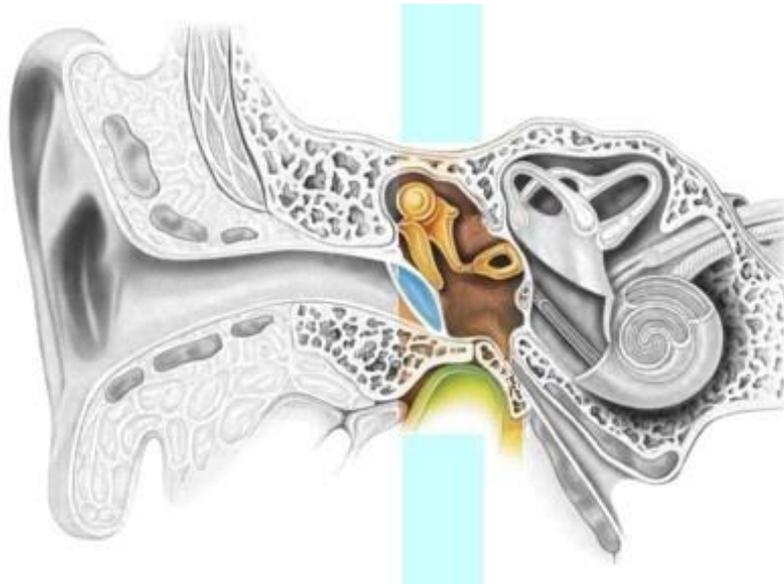


Figura 2. Orecchio medio

La platina della staffa viene quindi spostata mettendo in movimento i liquidi cocleari. Nell'orecchio interno, illustrato in Figura 3, si passa da una pressione meccanica ad una pressione idrodinamica. La finestra ovale, sulla quale si inserisce la platina, chiude la scala vestibolare contenente perilinfia, che comunica, attraverso l'elicotrema, con la scala timpanica. I liquidi, essendo incompressibili, si muovono

seguendo l'onda idrodinamica grazie alla presenza della finestra rotonda, che chiude la scala timpanica e si estroflette. Queste fluttuazioni mettono in movimento anche la membrana basilare, che divide la scala timpanica dal dotto cocleare, e l'endolinfa in esso contenuta. La membrana basilare è caratterizzata da una particolare struttura che diventa più larga ed elastica salendo verso l'elicotrema e che costituisce il presupposto per la tonotopicità. Infatti, l'onda idrodinamica mette in movimento la parte della membrana basilare specifica per la frequenza di stimolazione: la base risponde alle frequenze acute mentre l'apice alle frequenze gravi. Questa caratteristica è di fondamentale importanza per la discriminazione fine degli stimoli e viene mantenuta fino alle strutture corticali.

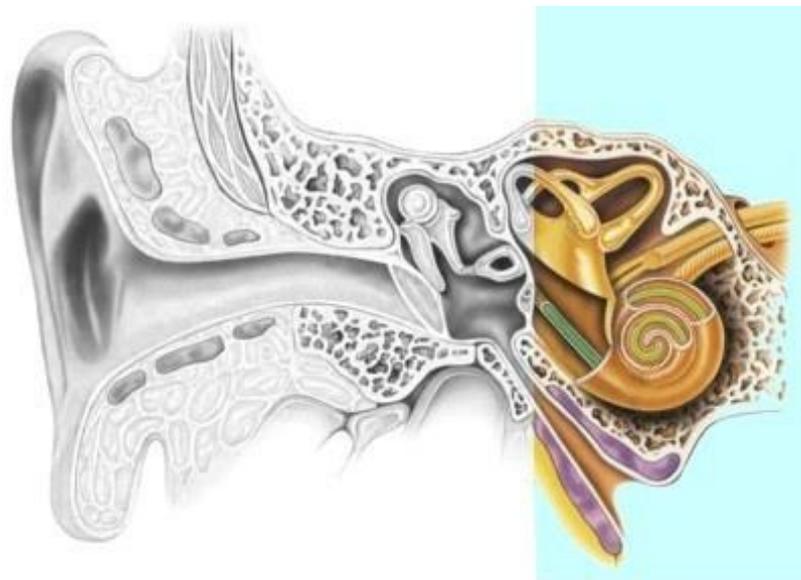


Figura 3. Orecchio interno

La membrana basilare sorregge l'organo del Corti, illustrato in Figura 4, costituito da epitelio sensoriale e cellule di supporto.

Esistono due tipologie di cellule sensoriali: le cellule cigliate esterne, che amplificano il movimento della membrana basilare attraverso cicli di accorciamento ed allungamento, e le cellule cigliate interne, veri e propri recettori uditivi. Queste due differenti funzioni sono possibili grazie ai movimenti delle ciglia, causati dalla fluttuazione della membrana tectoria per le cellule cigliate esterne e dell'endolinfa per le cellule cigliate interne. Questi movimenti provocano l'apertura di canali voltaggio-dipendenti e l'ingresso di ioni, che determinano le modificazioni strutturali per quanto riguarda le cellule cigliate esterne e il rilascio di neurotrasmettitore per quanto riguarda le cellule cigliate interne. Queste ultime prendono contatto con il 95% delle fibre afferenti del nervo acustico, che vengono attivate dal neurotrasmettitore, rilasciato proporzionalmente all'intensità dello stimolo.

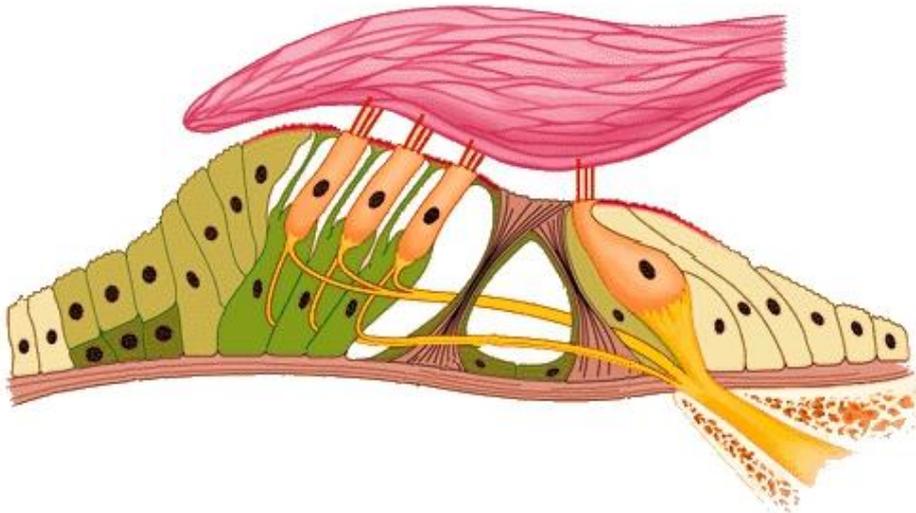


Figura 4. Organo del Corti

1.2.VIE UDITIVE CENTRALI: ANATOMIA E IMPLICAZIONI NELLA CODIFICA BINAURALE

La coclea trasduce quindi le onde idrodinamiche, dovute al movimento della staffa, in segnali neurali che verranno analizzati dal sistema nervoso centrale. Nel momento in cui la quantità di neurotrasmettitore raggiunge la soglia di attivazione delle fibre del nervo acustico, si scatena il potenziale d'azione che viene trasmesso lungo il nervo fino a raggiungere le diverse stazioni della via uditiva. La trasmissione è caratterizzata da una precisa e conservata tonotopicità, caratteristica che si conserva fino alla corteccia uditiva primaria, permettendo la perfetta trasduzione frequenziale del sistema uditivo.

Le fibre del nervo, infatti, hanno un andamento concentrico: le fibre centrali, in connessione con l'apice della membrana basilare, sono specifiche per le frequenze gravi, mentre le fibre più esterne, in contatto con la base della membrana basilare trasducono le frequenze più acute.

Esistono sette stazioni principali lungo la via uditiva, come illustrato in Figura 5, fondamentali per l'analisi dei pattern uditivi:

- I nuclei cocleari, situati nel bulbo sono costituiti da un nucleo ventrale anteriore, un nucleo ventrale posteriore e un nucleo dorsale. Le fibre provenienti dal giro basale della coclea sono localizzate dorsalmente, mentre le fibre provenienti dal giro apicale si dispongono ventralmente. Hanno un importante funzione inibitoria, svolta soprattutto dal nucleo cocleare dorsale e sono la prima struttura di elaborazione qualitativa dei segnali complessi, grazie alla capacità di differenziare toni da rumori e di riconoscere toni modulati in frequenza e in ampiezza.

Dai nuclei cocleari partono tre gruppi di fibre che prendono contatto con i complessi olivari superiori ipsi e controlaterali, con il collicolo inferiore controlaterale e con i nuclei del lemnisco laterale. La proiezione crociata è predominante e interessa il 75% delle fibre.

- Il complesso olivare superiore, situato nel ponte, è un insieme di nuclei e costituisce la prima importantissima stazione di integrazione binaurale.

Il nucleo del corpo trapezoide prende contatto con assoni dei nuclei cocleari contro laterali e invia fibre inibitorie al nucleo olivare superiore laterale ipsilaterale e ai nuclei circostanti tra i quali è posizionato anche quello del nervo facciale. Questo modula la tensione e la contrazione del muscolo stapedio e i riflessi di orientamento del padiglione ancora presenti negli animali.

Il nucleo olivare superiore laterale viene inibito da stimoli ipsilaterali e eccitato da stimoli controlaterali provenienti dai nuclei cocleari. Questo fenomeno è visibile soltanto nel momento in cui si sottopone il soggetto ad una stimolazione binaurale nella quale vengano introdotte piccole disparità interaurali di intensità e tempo. Ciò è di fondamentale importanza per la localizzazione spaziale di uno stimolo. Questo nucleo codifica le differenze interaurali di intensità ed è più sensibile alle alte frequenze.

Il nucleo olivare superiore mediale codifica le differenze interaurali di tempo e di fase, necessarie per la localizzazione di stimoli a bassa frequenza ed è più sensibile alle frequenze gravi.

- Il lemnisco laterale è costituito da un nucleo ventrale e da un nucleo dorsale. Prende contatto con fibre ipsi e controlaterali del complesso olivare superiore e del collicolo inferiore.

- Il collicolo inferiore, situato nel mesencefalo, è costituito da un'unità centrale, da una pericentrale e da un nucleo esterno, nel quale avviene l'integrazione delle vie uditive con quelle somatosensitive. Riceve afferenze da diverse stazioni inferiori, contro e ipsilaterali, ma mantiene un'organizzazione tonotopica in modo che le fibre provenienti da nuclei diversi, ma che trasducono la stessa frequenza occupino la stessa area. Risponde a differenze di fase e di intensità ed è implicato nella risposta di allarme a suoni di elevata intensità, nei riflessi spinali, nella localizzazione del suono e nella capacità attentiva. Invia fibre al collicolo superiore e al corpo genicolato mediale ipsilaterali.
- Il collicolo superiore riceve afferenze dal collicolo inferiore; entrambi hanno un importante ruolo nelle reazioni motorie a segnali uditivi e visivi. Infatti, in questa sede le informazioni della localizzazione sonora si integrano con l'informazione spaziale visiva.
- Il corpo genicolato mediale, situato nel talamo, è costituita da tre parti: una parte ventrale, una dorsale e una mediale.
La parte ventrale è la più importante ed è organizzata in lamine, le quali hanno una propria caratteristica frequenziale: la parte mediale è attivata dalle frequenze acute ed è sensibile alle differenze interaurali di intensità, mentre la parte laterale è sensibile alle basse frequenze e alle differenze interaurali di tempo. Integra informazioni somatosensitive, vestibolari e uditive e ricopre un grande ruolo nella localizzazione dello stimolo sonoro grazie alle informazioni che giungono binauralmente. Invia afferenze direttamente all'area corticale uditiva primaria.
- La corteccia uditiva, situata nel telencefalo, si differenzia in:

corteccia uditiva primaria nella quale il materiale uditivo viene confrontato con il materiale precedentemente memorizzato;

corteccia uditiva secondaria nella quale vengono confrontati i materiali provenienti dai diversi organi di senso;

corteccia uditiva terziaria nella quale avviene l'integrazione temporale e spaziale delle informazioni, già decodificate, provenienti dai diversi organi di senso. L'area uditiva corticale è localizzata nel giro di Hirschl. Le dimensioni di questa struttura sono più grandi nell'emisfero predominante a causa delle funzioni ricettive del linguaggio.

Anche la corteccia uditiva mantiene un'organizzazione tonotopica: le frequenze gravi sono situate anteriormente e lateralmente mentre le frequenze acute posteriormente e medialmente. La tonotopicità corticale è caratterizzata da una notevole plasticità; infatti se una parte della corteccia non viene stimolata a causa di una lesione per una specifica frequenza, dopo circa tre mesi inizierà a rispondere per le frequenze delle regioni contigue, mantenendo così attivo il tessuto corticale.

Le aree corticali dei due emisferi sono connesse attraverso il corpo calloso che, se danneggiato, determina una compromissione nella decodifica dei segnali binaurali come per esempio l'ascolto di un messaggio vocale monoaurale con competizione.

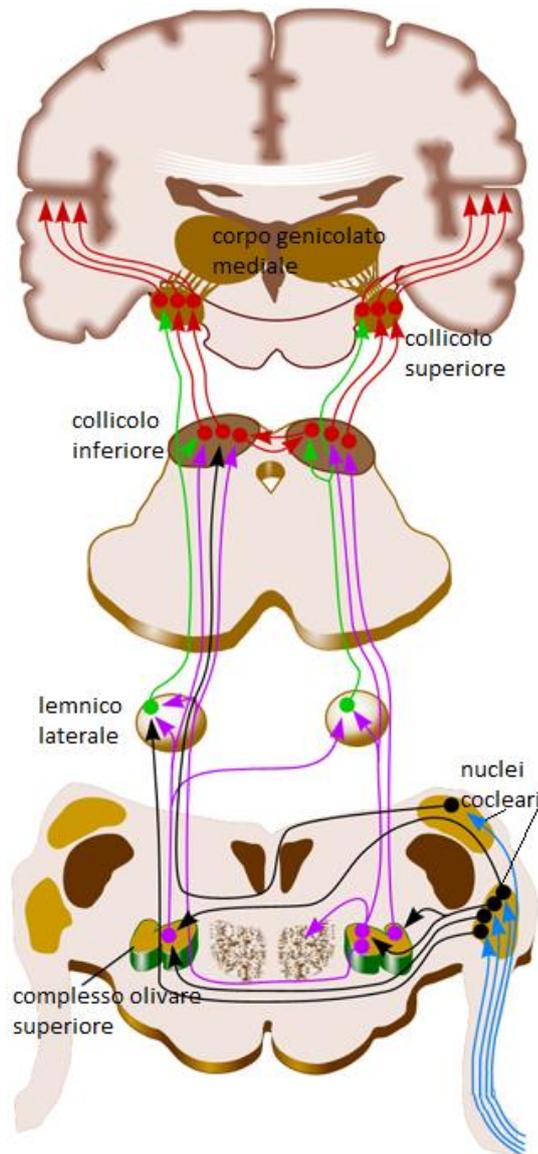


Figura 5. Le vie uditive centrali

É stato inoltre dimostrato da un gruppo di neuroradiologi di Basilea attraverso l'utilizzo della risonanza funzionale, che la stimolazione binaurale attiva un'area più ampia del 30% rispetto alla somma delle singole attivazioni monoaurali, come illustrato in Figura 6. Esiste quindi una sorta di amplificazione interna del messaggio lungo tutta la via uditiva.

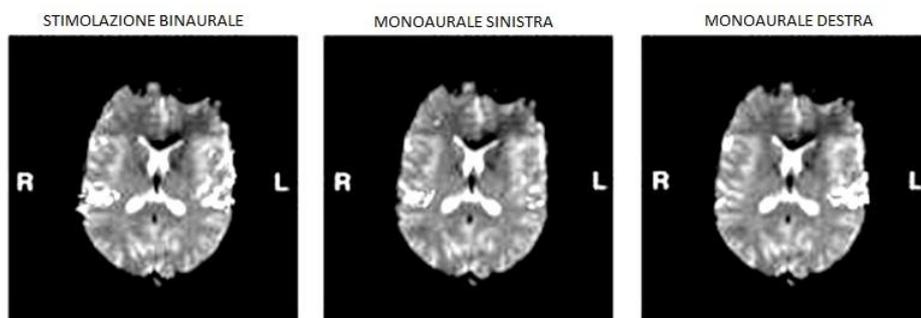


Figura 6. Risonanza magnetica funzionale: confronto tra stimolazione binaurale e monoaurale

La risonanza funzionale ha permesso di osservare più dettagliatamente la plasticità della corteccia cerebrale nella riorganizzazione neurale. La capacità di localizzazione si sviluppa infatti nei primi mesi di vita ed è molto probabile che ciò debba avvenire entro una determinata finestra temporale oltre la quale è difficile sviluppare e sfruttare pienamente i benefici di un ascolto binaurale. Questa conclusione non vale solo per i bambini, ma anche per gli adulti protesizzati unilateralmente per un lungo periodo di tempo, che andranno a perdere irrimediabilmente queste capacità, non permettendo un recupero completo dell'orecchio controlaterale se protesizzato successivamente.

2. LA BINAURALITÀ

Come precedentemente illustrato, l'integrazione binaurale avviene lungo tutta la via uditiva, caratterizzata da numerosi decussamenti. Questa comunicazione ci permette non solo di localizzare la sorgente sonora, la sua distanza e velocità, ma anche di analizzare la scena uditiva. Nell'uomo questa funzione è fondamentale, poiché permette di migliorare notevolmente il rapporto segnale-rumore, avendo quindi grandi vantaggi nella discriminazione vocale, soprattutto in situazioni con rumore di fondo. Inoltre l'ascolto binaurale aumenta la sensazione soggettiva dell'intensità dello stimolo, grazie alla sommazione della loudness e alla riduzione del mascheramento.

Il modello di Jeffres inoltre descrive la presenza di particolari cellule nervose, dette neuroni coincidenti, che vengono attivati da due assoni di diversa lunghezza durante l'ascolto dicotico, ovvero l'ascolto di uno stesso messaggio che raggiunge le due orecchie con intensità, fase o tempo differenti. Questi neuroni sono infatti sensibili agli indizi binaurali che inibiscono invece le vie dirette.

2.1. LOCALIZZAZIONE

La localizzazione è possibile grazie all'analisi degli indizi legati alle differenze di fase, di intensità e di tempo e alle modificazioni spettrali dovute alle strutture anatomiche dell'orecchio esterno e della testa. Ciò ci permette di localizzare gli stimoli sul piano orizzontale, sul piano verticale e sul piano fronte-retro. E' inoltre importante ricordare che i suoni uditi normalmente sono la somma dei suoni diretti e riflessi. La propagazione è diversa in base allo spazio in

cui l'ascoltatore si trova, poiché in uno spazio chiuso la componente diretta prevale entro i tre metri di raggio intorno alla sorgente, mentre oltre questa distanza critica prevale la componente combinata, ovvero la sommatoria del suono diretto e delle componenti precoci del suono riflesso. Negli spazi aperti, invece, l'intensità diminuisce proporzionalmente al quadrato della distanza dalla sorgente. È stato dimostrato che nel caso di onde riverberanti, la prima onda percepita stabilisce la provenienza del suono (effetto di precedenza). La sorgente è quindi localizzabile grazie alla complessa integrazione di molti indizi.

2.2. LOCALIZZAZIONE SUL PIANO ORIZZONTALE

Per semplicità di esposizione verranno considerate sorgenti sonore poste frontalmente, caratterizzate da un angolo di 0° , e sorgenti sonore posizionate alle spalle, caratterizzate da un angolo pari a 180° .

Sono stati effettuati degli studi per trovare la minima differenza di fase e di intensità necessaria, affinché avvenga la lateralizzazione della scena sonora. Sono stati inviati dei toni puri identici, detti diotici, in cuffia, appurando che lo stimolo veniva percepito perfettamente al centro della testa. Le fonti sonore in questo caso si sono completamente fuse, originando un'unica immagine sonora. Inviando dei toni dicotici, ovvero non identici, l'immagine sonora si è spostata verso il lato in cui lo stimolo è giunto prima, più intenso o con una fase anticipata.

La differenza di fase minima necessaria, affinché avvenga la lateralizzazione, è di $2-3^\circ$ a frequenze tra 250 e 900 Hz. Per frequenze superiori è necessaria una differenza più elevata. Risulta quindi chiaro che la differenza di fase

è fondamentale nella localizzazione di stimoli a bassa frequenza. Inoltre è necessaria una differenza di fase di 13-16° per rispostare verso il centro l'immagine uditiva nel momento in cui i due stimoli sono caratterizzati dalla differenza massima di fase di 180°. Questi dati possono variare in base alla grandezza della testa e alla velocità del segnale nel mezzo.

Ciò dimostra la notevole definizione, nell'ordine di pochi micro secondi, con la quale il nostro sistema uditivo analizza gli stimoli sonori.

Per quanto riguarda la differenza interaurale di intensità, è sufficiente una differenza di 0,5 dB per uno stimolo ad intensità moderata, indipendentemente dalla sua durata, affinché si avverta la lateralizzazione. La differenza interaurale di intensità è essenziale per la localizzazione degli stimoli con frequenza acuta: la testa si comporta da filtro passa basso, determinando una differenza di intensità tra le due orecchie superiore per queste frequenze, come esposto nel paragrafo successivo.

La banda di frequenze che si localizza con maggiore difficoltà sul piano orizzontale è quella a 1500 Hz, poiché né gli indizi di fase né quelli di livello sono sufficientemente accurati.

2.3.TEORIA DUPLEX

Questa teoria, redatta nel 1907 da Lord Rayleigh, afferma che la strategia di localizzazione dipende dalla frequenza di stimolazione. Ciò è dovuto principalmente alla presenza della testa e alla velocità del suono nel mezzo di propagazione. La testa si comporta infatti come un filtro passa basso. Assumiamo che la testa di un uomo adulto abbia un diametro medio di 19 cm, e che $\lambda = c/f$,

dove λ è la lunghezza d'onda di una determinata frequenza, c è la velocità del suono pari a 343 m/s e f è la frequenza in esame. Quindi, considerando una lunghezza d'onda pari al diametro della testa, la frequenza corrispondente è di 1805 Hz, poiché

$$f = c/\lambda = \frac{343\text{m/s}}{0.19\text{m}} = 1805\text{ Hz.}$$

La diffrazione interessa quindi le frequenze maggiori di 1800 Hz. Ciò significa che gli stimoli con frequenza superiore perdono parte dell'energia e quindi dell'intensità e sono localizzabili grazie a questo fenomeno fisico, come illustrato in Figura 7.

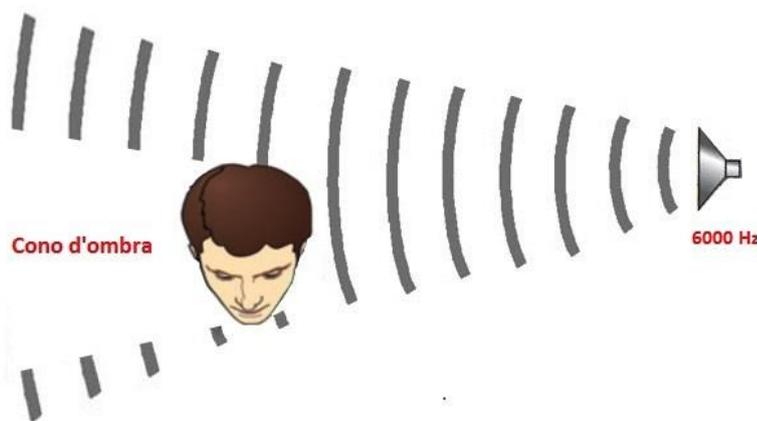


Figura 7. Le frequenze acute sono localizzabili grazie alle differenze interaurali di intensità, dovute al cono d'ombra causato dalla presenza della testa

I suoni con frequenze inferiori, invece, curvano intorno alla testa senza perdita di energia e vengono localizzati grazie al ritardo con cui arrivano all'orecchio controlaterale rispetto alla sorgente, come illustrato in Figura 8. E' infatti appurato che i suoni provenienti da una sorgente posta alla destra

dell'ascoltatore debbano fare un tragitto più lungo per giungere all'orecchio sinistro che non per giungere al destro.



Figura 8. Le frequenze gravi sono localizzabili grazie alle differenze interaurali di tempo

Questo fenomeno non è più univoco aumentando la frequenza del segnale per due principali motivi. Uno prettamente fisico, poiché il tempo di ritardo interaurale potrebbe corrispondere a distanze che sono maggiori di una lunghezza d'onda, causando problemi di sovrapposizione ed incertezza sulla localizzazione spaziale. Il secondo motivo è fisiologico, poiché le fibre nervose non riuscirebbero a mantenere l'informazione di fase per frequenze acute a causa dell'incapacità di polarizzarsi e depolarizzarsi in modo sufficientemente veloce. E' infatti risaputo che la trasmissione delle frequenze acute non avviene attraverso un codice di frequenza, ma grazie ad un codice di posizione e all'organizzazione tonotopica di tutta la via uditiva. Ciò è valido per i toni puri, mentre per il segnale vocale la localizzazione si basa sui ritardi di fase associati alle basse frequenze.

Questa teoria è valida soltanto per la localizzazione di suoni sul piano orizzontale. Se infatti la sorgente ha un differente angolo di elevazione, attraverso la teoria Duplex si otterrebbero infiniti punti di localizzazione posti lungo curve che ammettono la stessa differenza interaurale di fase e di intensità. Queste curve costituiscono il cono di confusione.

La teoria Duplex è quindi stata successivamente sviluppata, dimostrando che la localizzazione è possibile non soltanto attraverso le differenze interaurali di fase e di intensità, ma anche grazie alla conformazione dell'orecchio esterno, in particolar modo del padiglione uditivo, e alla rilevazione dei tempi di attacco dei suoni transitori.

2.4. LOCALIZZAZIONE SUL PIANO VERTICALE

Si tratta di una localizzazione principalmente monoaurale, elaborata soprattutto dal complesso olivare superiore. E' possibile principalmente grazie alla presenza e alla conformazione del padiglione. La sua architettura complessa infatti non convoglia soltanto il suono verso il condotto uditivo esterno, ma crea un insieme di fenomeni di diffrazione e risonanza delle onde sonore dovuti alla struttura e conformazione dei rilievi che lo caratterizzano. In particolare le frequenze oltre i 4500 Hz, compatibilmente con la lunghezza del padiglione, vengono incrementate. La precisione nella localizzazione è di circa 3°.

2.5. LOCALIZZAZIONE FRONTE-RETRO

É possibile grazie alla presenza del padiglione che esalta e amplifica le frequenze acute se provenienti da una sorgente posta frontalmente e le attenua se posta alle spalle dell'ascoltatore. La frequenza maggiormente interessata per questo tipo di localizzazione è quella a 2000 Hz.

2.6. PERCEZIONE DELLA DISTANZA

Per distanze inferiori a un metro, è stato dimostrato che l'avvicinamento della sorgente funge da filtro passa basso, modificando lo spettro del segnale. L'intensità delle basse frequenze, percepita dall'orecchio frontale alla sorgente, aumenta, mentre il livello delle frequenze acute, percepito dall'orecchio controlaterale diminuisce.

Per distanze maggiori invece, l'analisi non è ancora ben compresa, ma si ritiene sia possibile grazie alle differenze di intensità delle varie frequenze dello spettro, costituito da componenti dirette e riflesse. Si ipotizza che questa tipologia di analisi sia monoaurale.

2.7. DIFFRAZIONE

Le modalità di localizzazione esposte nei paragrafi precedenti si basano soprattutto sulla diffrazione. Si tratta di un fenomeno fisico, associato alla deviazione della traiettoria delle onde sonore quando queste incontrano un ostacolo. Nel nostro caso la testa dell'ascoltatore rappresenta l'ostacolo per l'onda sonora. Questo fenomeno altera il rapporto segnale-rumore quando la sorgente utile e quella del rumore si trovano sui due lati opposti.

Per esempio, se la sorgente di un tono a 3000 Hz, con un'intensità di 60 dB, è posta a 30° a destra e la sorgente di un rumore di intensità pari a 40 dB è posto a 60° a sinistra, come illustrato in Figura 9, la risonanza del canale e la diffrazione permettono un incremento di 19 dB del segnale utile e un incremento di soli 8 dB del rumore per quanto riguarda l'orecchio destro. Lo stimolo verrà quindi percepito con un'intensità di 79 dB, mentre il rumore con un'intensità di 48 dB. Si avrà quindi un rapporto segnale-rumore di 31 dB, con un miglioramento di 11 dB rispetto al rapporto segnale-rumore calcolato senza considerare i fenomeni di diffrazione e risonanza, equivalente a 20 dB.

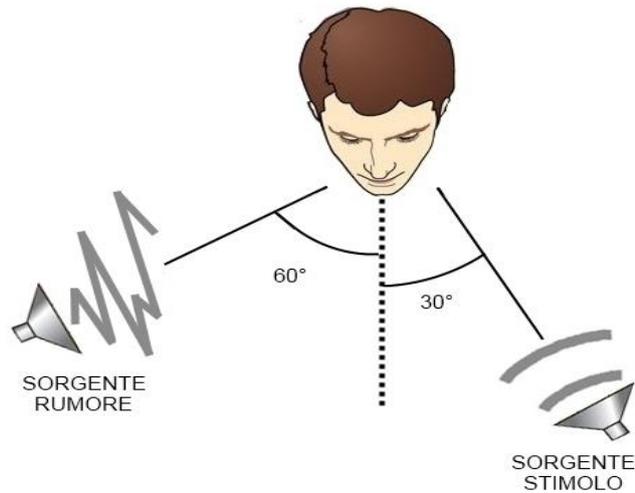


Figura 9. Disposizione delle sorgenti sonore dell'esempio preso in esame.

Il risultato opposto si avrà sull'orecchio controlaterale: il segnale utile verrà amplificato di 11 dB, raggiungendo i 71 dB, e il rumore verrà amplificato di 20 dB, raggiungendo quindi i 60 dB. Il rapporto segnale-rumore sarà quindi di 11 dB, con un peggioramento di 9 dB rispetto alla situazione calcolata senza diffrazione e risonanza. In conclusione l'orecchio destro avrà un rapporto segnale rumore di 20 dB migliore dell'orecchio sinistro.

Nella quotidianità questo effetto è generalmente ridotto, soprattutto in luoghi chiusi e quando l'ascoltatore è lontano dalle sorgenti. In questo caso, infatti, il suono diffuso è dominante rispetto al suono diretto e il riverbero porta il segnale di entrambe le sorgenti ad entrambe le orecchie, eliminando la distinzione tra le due e modificando il livello percepito. Nonostante ciò, la diffrazione è importante in molte situazioni di vita quotidiana e aiuta notevolmente la comprensione. I benefici dell'effetto di diffrazione sono minori per chi è affetto da ipoacusia neurosensoriale in caduta, poiché le alte frequenze non sono udibili. L'effetto di diffrazione della

testa è ovviamente svantaggioso per chi può usufruire di un ascolto monolaterale e ha la sorgente utile rivolta verso l'orecchio ipoacusico.

2.8. RIDUZIONE DEL MASCHERAMENTO BINAURALE

Il nostro sistema uditivo è in grado di migliorare il rapporto segnale-rumore rispetto a quello che viene direttamente percepito dalla coclea.

Si prenda in considerazione un rumore proveniente da una sorgente posta di fronte all'ascoltatore. Il rumore raggiunge le due orecchie con la stessa intensità. Un'altra sorgente, posta a 90° a destra, eroga un tono puro. Il segnale arriverà all'orecchio destro con un'intensità molto maggiore rispetto a quella percepita dall'orecchio sinistro, a causa della diffrazione. Se un elaboratore di segnale sottraesse gli stimoli percepiti dall'orecchio sinistro a quelli percepiti dall'orecchio controlaterale, il rumore verrebbe eliminato completamente mentre il segnale utile verrebbe attenuato solo in minima parte.

Il sistema uditivo non riesce a compiere un'eliminazione totale del mascheramento, ma un'attenuazione, detta *differenza di mascheramento binaurale* (*BMLD: binaural masking level difference*). Il fenomeno sorprendente è che non è necessario che il segnale utile sia un tono puro e inoltre non è necessario che i segnali arrivino in fase alle due orecchie.

Nel 1993 Zurek ha dimostrato che il valore del *BMLD* per un tono puro può essere utilizzato come valore predittivo per il valore di mascheramento binaurale nel caso di un segnale vocale, detto *BILD* (*binaural intelligibility level difference*). Questo fenomeno interessa maggiormente le basse frequenze poiché gli impulsi

neurali sono in fase con lo stimolo. Il valore di *BMLD*, infatti, è di 15 dB superiore alle basse frequenze rispetto che alle alte frequenze. Per quanto riguarda l'attenuazione del mascheramento in presenza di un segnale vocale, è stato stimato che il valore medio di attenuazione del rumore è di 2 dB.

Un'altra semplice dimostrazione che avvalorata questa tesi è quella di inviare in cuffia un tono puro ad un orecchio e ricercare successivamente la minima intensità di un rumore bianco, inviato ipsilateralmente, in grado di mascherarlo. Mandando contemporaneamente all'orecchio controlaterale un rumore bianco alla stessa intensità, il tono puro viene nuovamente percepito. Si ha quindi un miglioramento del rapporto segnale-rumore che nella vita quotidiana è pari a 2,5-3 dB.

Zurek ha quindi calcolato che questo fenomeno, unito al valore medio di miglioramento del rapporto segnale-rumore dovuto alla diffrazione, quantificato in 3 dB, conferisce un miglioramento complessivo medio di 5 dB.

E' stato inoltre dimostrato che il miglioramento aumenta notevolmente se si inverte la fase del segnale, raggiungendo i 15 dB

Questi effetti vengono persi da chi ha una perdita uditiva bilaterale severa e da chi è affetto da ipoacusia bilaterale fortemente asimmetrica.

2.9. SOMMA BINAURALE DELLA LOUDNESS

Questo fenomeno consiste nel raddoppio soggettivo dell'intensità, legato all'ascolto binaurale di uno stimolo rispetto all'ascolto monoaurale dello stesso stimolo, caratterizzato dalla stessa intensità oggettiva. La somma fisica di due segnali aventi la stessa pressione sonora dà luogo ad uno stimolo di 6 dB SPL maggiore. Ciò è dovuto alla natura logaritmica del dB:

$$40 \text{ dB SPL} + 40 \text{ dB SPL} = 46 \text{ dB SPL}$$

$$\text{essendo } \text{dB SPL} = 20 \log P_o/P_1.$$

A livelli prossimi alla soglia l'aumento soggettivo di intensità è pari a 3 dB. Dal livello di massimo conforto in poi il valore di sommazione binaurale va da 6 a 10 dB. In prossimità della soglia del fastidio si instaura è invece una sorta di *sottrazione binaurale* che va da 0 a 5 dB, che permette di sopportare dei suoni ad alta intensità senza dare fastidio.

2.10. BATIMENTI BINAURALI

Nonostante i suoni arrivino generalmente in modo diverso alle due orecchie, entro una determinata diversità viene percepita un'unica immagine coerente, nella quale tutte le sorgenti si fondono.

Attraverso alcuni esperimenti in cuffia, che ci permettono quindi di controllare in modo indipendente gli stimoli presentati alle due orecchie, è stato dimostrato che il sistema uditivo utilizza gli involucri a bassa frequenza dei segnali

complessi, quindi anche dei segnali vocali, per la fusione dell'immagine uditiva. Infatti, se si presentano alle due orecchie due toni diversi ad alta frequenza, essi vengono percepiti separatamente. Se però viene introdotto un suono a bassa frequenza, sovrapposto ai due stimoli differenti in modo da modularli, l'ascoltatore percepirà un'unica immagine fusa.

Se invece vengono presentati alle due orecchie due stimoli inferiori a 1500 Hz e con una differenza inferiore di 30 Hz tra di loro, verranno percepiti dei battimenti, ovvero delle variazioni della loudness, che cresce e diminuisce alternativamente.

Si ritiene che questi fenomeni siano determinati dall'elaborazione a livello dell'oliva superiore.

3. LE CONSEGUENZE DELLA PERDITA UDITIVA

La perdita di localizzazione è percepita come uno dei maggiori problemi per chi ha una perdita uditiva, dopo l'ascolto nel rumore. Le maggiori difficoltà si riscontrano nel dialogo in un gruppo di persone, soprattutto quando l'interlocutore cambia rapidamente. Non riuscendo ad identificare la sorgente sonora si perde anche la possibilità di selezionare e ignorare i suoni che non ci sono utili, creando una grande confusione di fondo. Diminuisce anche l'abilità di segregazione, ovvero di attribuire ad un'unica scena sonora diversi stimoli. Ciò può portare all'isolamento della persona, che non riesce più a seguire il discorso e a metterla in pericolo, non sentendo e localizzando i suoni ambientali.

Le differenze interaurali di intensità vengono alterate, soprattutto nel caso di ipoacusia asimmetrica. Le differenze interaurali di fase, che interessano le basse frequenze, rimangono pressoché inalterate fino a perdite di 50 dB. Considerando che generalmente il segnale ha intensità maggiori alle basse frequenze e che le ipoacusie colpiscono principalmente le alte frequenze, questi indizi rimangono il più delle volte conservati.

Per quanto riguarda invece la localizzazione verticale e la localizzazione fronte-retro, basata sulle alte frequenze, gli effetti della perdita uditiva sono generalmente molto più importati e anche attraverso l'utilizzo di apparecchi acustici spesso non è possibile recuperare queste facoltà.

Inoltre, la perdita di selettività in frequenza e le distorsioni temporali legate all'ipoacusia neurosensoriale, possono determinare una forte difficoltà nell'identificazione dei picchi e delle valli dello spettro, che permettono la localizzazione verticale, anche quando il livello è ancora udibile, e possono

impedire, per esempio, la percezione di differenze interaurali di tempo molto piccole. Queste distorsioni non possono in alcun modo essere corrette.

Nel caso di ipoacusia monolaterale, la localizzazione orizzontale viene persa, poiché si basa soprattutto sulle differenze di intensità del segnale, mentre rimane inalterata la localizzazione della provenienza frontale o dalle spalle, che si basa sulle modificazioni dello spettro.

Una persona affetta da ipoacusia monolaterale, non protesizzata per un lungo periodo inoltre, si abitua all'attenuazione dell'orecchio con la perdita uditiva, riuscendo comunque ad utilizzare gli altri indizi per localizzare la sorgente. Nei primi giorni di protesizzazione avrà quindi delle difficoltà nella localizzazione, dovute all'aumento, diversificato in base alla perdita, dell'intensità dello stimolo.

Nelle ipoacusie trasmissive, il suono viene percepito soprattutto per via ossea. L'attenuazione interaurale è minore per la conduzione ossea rispetto che per la conduzione aerea, quindi le differenze interaurali di tempo e di livello sono diverse rispetto a quelle per via aerea. Nel caso in cui il segnale sia percepito sia per via aerea che per via ossea, alcuni indizi verranno alterati e sovrapposti, comportando difficoltà nella localizzazione.

3.1.FITTING MONOLATERALE E FITTING BILATERALE

L'applicazione bilaterale permette di mantenere l'ascolto binaurale, conservando gli indizi uditivi legati alla diffrazione e mantenendo i fenomeni di sommazione della loudness e di attenuazione del mascheramento e la percezione della provenienza e della distanza dei suoni. Inoltre, attraverso un'applicazione

bilaterale, si scongiura il fenomeno di deprivazione uditiva, che si instaurerebbe sull'orecchio non protesizzato. Per quanto riguarda la localizzazione, gli apparecchi intrauricolari riescono a preservare maggiormente gli indizi legati soprattutto alla conformazione dello spettro, avendo il microfono in una posizione più naturale rispetto a quella degli apparecchi retroauricolari, con il microfono sopra il padiglione.

È importante che i due apparecchi utilizzino gli stessi algoritmi e una compressione il più simile possibile, compatibilmente con la diversità audiologica delle due orecchie.

L'elaborazione binaurale, frutto degli ultimi sviluppi tecnologici, ci permette di mantenere alcuni importanti indizi, necessari per la localizzazione spaziale delle sorgenti. I nuovi apparecchi, infatti, lavorano come un'unica unità di elaborazione, in grado di coordinare attraverso una comunicazione wireless ad alta velocità, l'elaborazione sonora, la gestione degli automatismi, del rumore e delle funzioni digitali, la selezione dei programmi e della direzionalità e la gestione dinamica del feedback. In particolare la gestione binaurale della compressione, della direzionalità e della riduzione del rumore permettono il mantenimento degli indizi acustici di intensità e di fase, mantenendo quindi le differenze interaurali. Ciò permette non soltanto di rendere il suono il più naturale possibile, ma anche di migliorare l'ascolto nel rumore, la spazialità dei suoni e la segregazione.

Per quanto riguarda la localizzazione orizzontale, è molto importante il mantenimento delle frequenze acute. Ciò è possibile grazie all'estensione di banda frequenziale, che è stata portata a 10 KHz.

In casi molto rari, è possibile che l'applicazione bilaterale crei confusione e diminuisca la discriminazione vocale rispetto all'utilizzo di un solo apparecchio. Ciò è possibile nel caso in cui le due orecchie presentino fenomeni di distorsione diversi o di grado differente, oppure in casi di forte asimmetria della soglia e di deprivazione monolaterale per un lungo periodo di tempo. Ciò comporta una ridotta capacità discriminativa nell'orecchio non protesizzato, o peggiore, che inficia anche il risultato dell'orecchio controlaterale.

3.2. DEPRIVAZIONE Uditiva

La deprivazione uditiva non interessa soltanto i bambini, che hanno bisogno di una stimolazione uditiva precoce per permettere lo sviluppo e la modificazione strutturale nell'organizzazione del sistema uditivo centrale. Ciò è assolutamente necessario per accrescere le funzioni e i processi alla base del riconoscimento e della produzione del linguaggio.

Molti autori, però, sostengono l'instaurarsi di fenomeni degenerativi anche nell'adulto non sottoposto a stimolazione, caratterizzati da un impoverimento neuronale delle fibre del nervo acustico e da alterazioni a livello centrale e corticale.

Nel 1984 Silman, Gelfand e Silverman hanno definito la deprivazione uditiva che caratterizza gli adulti non protesizzati come *deprivazione uditiva ad esordio tardivo (late-onset auditory deprivation)*. Questo fenomeno è caratterizzato da una diminuzione della discriminazione vocale soprasegmentale, dopo un periodo generalmente maggiore di due anni di mancata stimolazione. E' stato inoltre verificato che la deprivazione insorge più velocemente e in modo più marcato nei

soggetti non protesizzati con ipoacusia monolaterale o asimmetrica, piuttosto che in soggetti con ipoacusia bilaterale simmetrica. Si può quindi affermare che le alterazioni sono più accentuate nel caso in cui una delle due orecchie sia nettamente peggiore.

Partendo da questo presupposto, Gatehouse ha interpretato diversamente questo fenomeno, introducendo nel 1989 il concetto di *acclimatazione*. Egli sostiene che il motivo della riduzione nella discriminazione vocale non è legato alla deprivazione, ma ad un fenomeno di *acclimatazione*: nel caso di una protesizzazione monolaterale in un paziente con perdita bilaterale, l'orecchio protesizzato si abitua a stimoli ad alta intensità, elaborando meglio il segnale vocale soprasoglia. Raggiungerà quindi un punteggio più elevato nell'audiometria vocale, poiché il materiale viene presentato ad un livello ottimale, al quale l'orecchio è abituato. Quello non protesizzato invece, si abitua ad un'intensità di stimolazione molto minore. Ciò comporta una peggiore discriminazione, legata all'incapacità di elaborazione ad alti livelli ai quali viene presentato il test di audiometria vocale. In altre parole, l'orecchio avrà delle prestazioni migliori per i livelli di intensità che riceve più frequentemente. Ciò è avvalorato anche dagli studi di Gelfand, nei quali vengono analizzate le scarse alterazioni osservabili in individui con perdita uditiva simmetrica. Affinché insorgano delle modificazioni è quindi necessario che ci sia un orecchio dominante.

Dillon nel 2001 introduce il concetto di *inferiorità uditiva* o *inattività uditiva*, per indicare una condizione di deprivazione.

Molteplici sono stati i riscontri scientifici in questo campo, sia dal punto di vista fisiologico che comportamentale.

Nel 1993 Moore, Niparko e coll. hanno notato una diminuzione del volume delle cellule del nucleo cocleare ventrale posteriore, alterazione che cresce proporzionalmente aumentando il periodo di privazione sonora.

Nel 1995 Palmer effettuò uno studio su sette pazienti con ipoacusia bilaterale neurosensoriale, protesizzati unilateralmente. Cinque di questi soggetti presentavano delle alterazioni nell'ABR, consistenti in un' aumentata latenza interpicco, mentre tre di questi presentavano una differenza interaurale nel test con parole spondeo .

Durante lo stesso anno Turgeon coll. hanno scoperto che i neuroni del collicolo inferiore vengono notevolmente alterati da un periodo prolungato di privazione uditiva.

Nel 2000 Kral e coll. hanno osservato delle differenze strutturali nei neuroni della corteccia uditiva in condizioni di privazione. Ciò determina una riconfigurazione della mappa di rappresentazione delle frequenze sulla corteccia, modificando quindi l'organizzazione tonotopica.

Silman e coll. hanno evidenziato delle alterazioni elettrofisiologiche in pazienti affetti da ipoacusia unilaterale non protesizzati. Il fenomeno più significativo consiste nell'allargamento della I onda dell'ABR, che causa una riduzione dell'interpicco tra la I e la III onda. Ciò dimostra che la privazione uditiva interessa anche la coclea e la prima parte dell'ottavo nervo cranico.

Test come l'audiometria vocale con competizione e del parlato distorto, utilizzati per verificare l'integrità del sistema uditivo centrale, possono essere utilizzati per

accertare l'instaurarsi di deprivazione uditiva, essendo più sensibili rispetto ad una semplice audiometria vocale.

Nel 1993 Jergere coll. hanno dimostrato delle interferenze negative in soggetti protesizzati monolateralmente per molti anni ai quali è stato applicato un secondo apparecchio. I soggetti avevano maggiori difficoltà nel riconoscimento binaurale vocale, ed elettrofisiologicamente presentavano un'ampiezza ridotta nei potenziali uditivi a latenza media. Ciò dimostra che l'orecchio affetto da deprivazione uditiva interferisce, probabilmente a livello corticale, con la risposta dell'orecchio migliore. E' stato inoltre dimostrato nel 1995 che questi effetti sono reversibili entro un periodo variabile di tempo e che gli effetti della mancata stimolazione possono essere evidenti già dopo meno di un anno o solo dopo dieci anni. Ciò è legato ad una serie di fenomeni, che possono essere di natura comportamentale o fisiologica, temporanea o permanente, come sostenuto da Gelfand. La plasticità del sistema uditivo influenza fortemente l'entità del periodo utile entro il quale possa esserci un recupero, come anche il periodo sufficiente affinché si instauri un fenomeno di acclimatazione o deprivazione uditiva. Inoltre nel 1995 Gelfand ha osservato che se la deprivazione uditiva insorge rapidamente, correggendola in tempi brevi si ha un miglioramento più rapido.

E' quindi molto importante prevenire questi fenomeni e informare i pazienti delle possibili conseguenze di un'applicazione monolaterale.

4. LE REGOLAZIONI PRESCRITTE: DIFFERENZE NEL FITTING MONOLATERALE E BILATERALE

Le formule prescrittive tradizionali variano i valori di amplificazione anche in base alla condizione di bilateralità e monolateralità. Inserendo infatti un esame audiometrico caratterizzato da una perdita media in caduta, illustrato in Figura 10, e cambiando da un'applicazione monolaterale ad una bilaterale, ho potuto verificare che i valori variano significativamente. Le variazioni dipendono dalla filosofia che caratterizza la formula prescrittiva in oggetto. E' quindi di fondamentale importanza tenere in considerazione il tipo di applicazione che si effettua e la formula prescrittiva utilizzata. E' inoltre necessario ricalcolare le regolazioni prescritte se, durante un fitting, si passa da un'applicazione monolaterale ad una bilaterale o viceversa.

Ho di seguito riportato, a titolo esplicativo, i valori previsti dalle diverse formule prescrittive, selezionando uno o due apparecchi e confrontando le curve di guadagno. In tutte le simulazioni è stato utilizzato lo stesso esame audiometrico e lasciato come profilo personale del cliente un'identità "attiva".

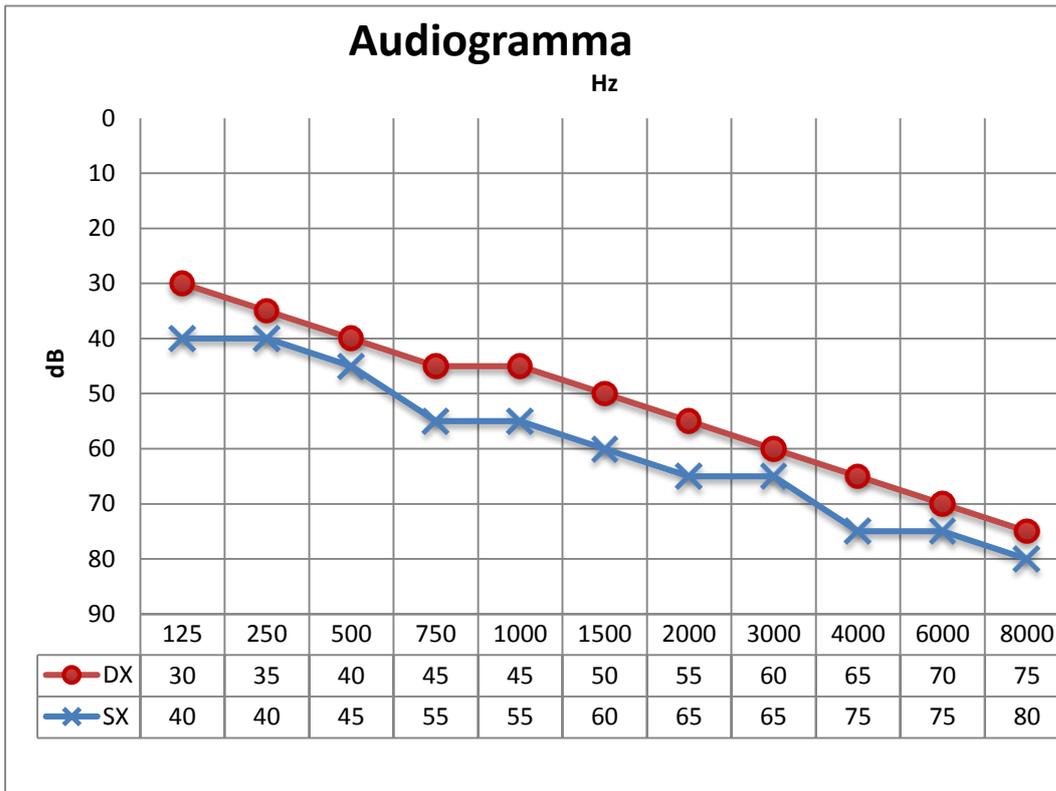


Figura 10. Esame audiometrico utilizzato nelle simulazioni seguenti.

4.1. NAL-NL1

Per quanto riguarda i valori prescritti applicando la formula NAL-NL1, l'amplificazione varia in media di 4,15 dB, con un incremento del 25,3% nell'amplificazione del fitting monolaterale. Vengono particolarmente amplificate le frequenze medie ed acute, sia per i suoni forti che per i suoni deboli, come illustrato in Figura 11.

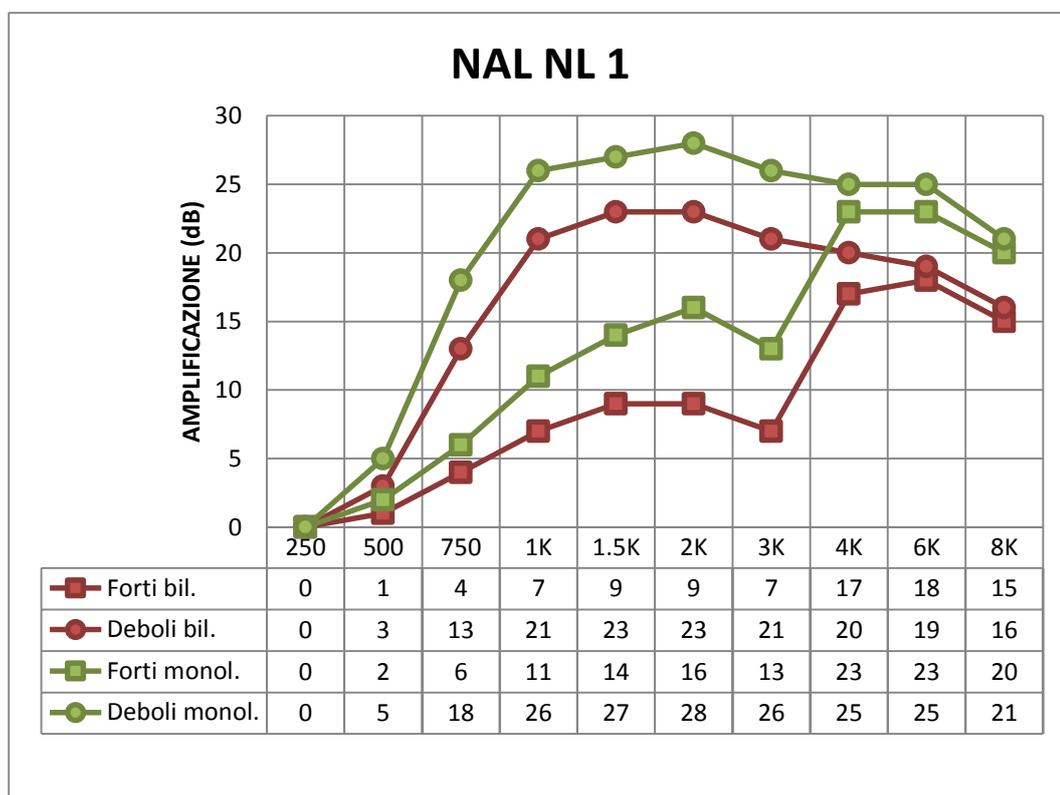


Figura 11. Confronto nell'amplificazione prescritta dalla formula NAL-NL1 in applicazioni monolaterali e bilaterali.

4.2. NAL-NL2

Per quanto riguarda la formula prescrittiva NAL NL 2, sono soprattutto i suoni moderati con frequenza medio-acuta che vengono aumentati passando da un'applicazione bilaterale a un'applicazione monolaterale, come illustrato in Figura 12. La variazione media è inferiore rispetto a quella trovata applicando la formula NAL NL1 ed è di 2,3 dB, con un aumento totale del 20,3%.

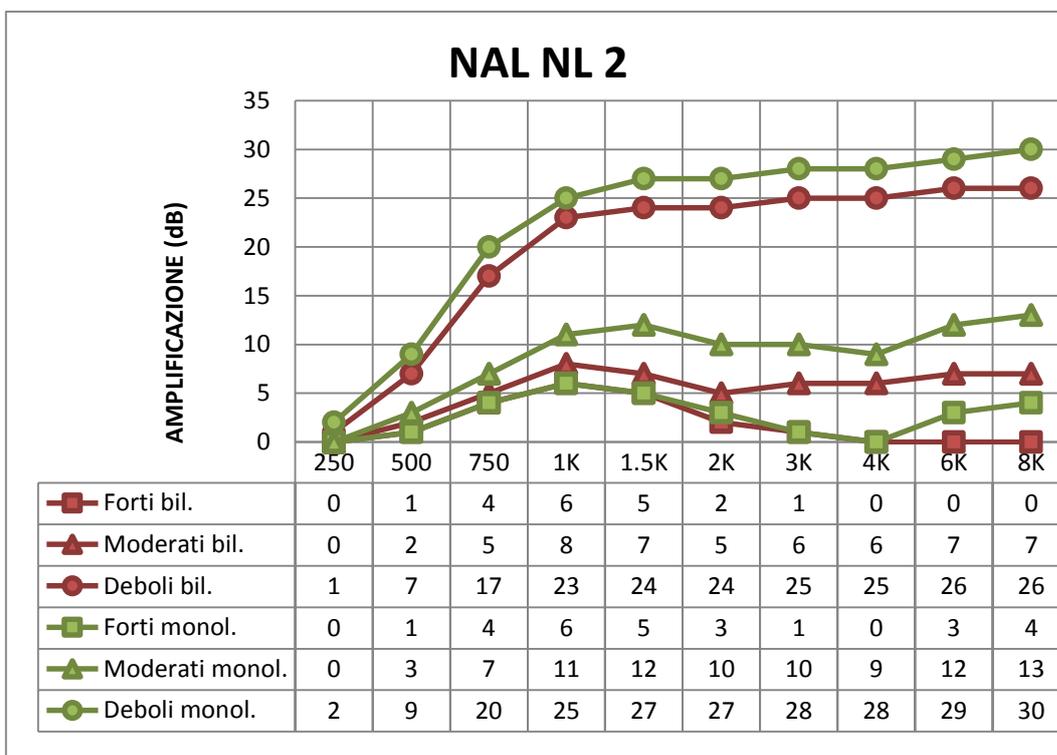


Figura 12. Confronto nell'amplificazione prescritta dalla formula NAL-NL2 in applicazioni monolaterali e bilaterali.

4.3. DSL ADULTI

Nella formula DSL implementata per gli adulti invece, la variazione media è di 1,9 dB, pari al 10,9%. La variazione interessa la maggior parte delle frequenze, sia dei suoni deboli sia dei suoni forti, come illustrato in Figura 13. La versione sviluppata per bambini, invece, non introduce nessuna variazione.

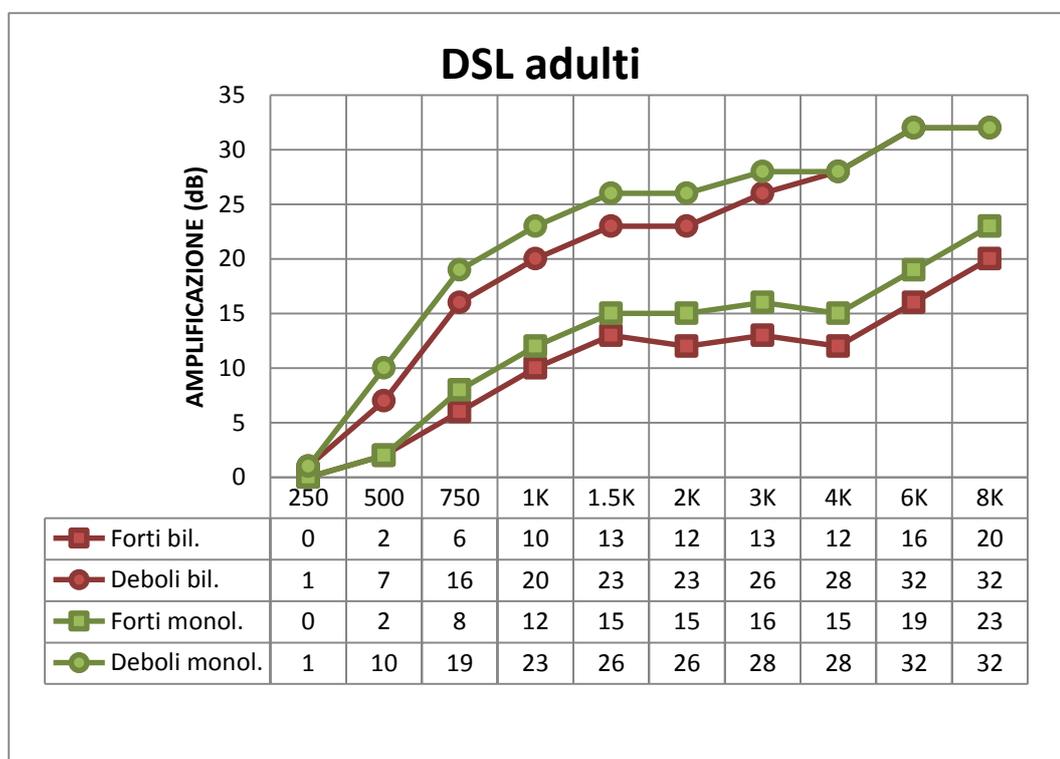


Figura 13. Confronto nell'amplificazione prescritta dalla formula DSL adulti in applicazioni monolaterali e bilaterali.

5. SCOPO DELLO STUDIO, MATERIALE E SVOLGIMENTO

Lo scopo di questo studio è dimostrare i vantaggi oggettivi e soggettivi delle applicazioni binaurali.

Ho utilizzato il test *SSQ* per verificare le differenze e i benefici soggettivi tra persone con applicazioni monolaterali, applicazioni bilaterali e applicazioni binaurali, ovvero caratterizzate da una comunicazione in tempo reale tra i due apparecchi. Ho confrontato le risposte date da ogni paziente, stilando una statistica in base alle risposte maggiormente significative, ricercando nella possibilità di mantenere gli indizi binaurali la motivazione della differenza particolarmente marcata in alcune domande, appartenenti soprattutto alla *Scala di valutazione spaziale* del test *SSQ*.

I benefici oggettivi delle applicazioni bilaterali sono stati valutati attraverso il guadagno vocale funzionale, che ho ricercato successivamente negli stessi pazienti. Ho confrontato i risultati acquisiti analizzando le differenze ottenute con le diverse applicazioni.

5.1. TEST SSQ

Il test *SSQ* (*Speech Spatial and Qualities of Hearing Scale*), è stato creato da Gatehouse e coll. nel 2004 e implementato negli anni successivi. La versione più recente, redatta nel 2009, è costituita da 50 domande, suddivise in tre sezioni. Le prime 14 domande costituiscono la *Scala di valutazione della discriminazione vocale*, che indaga la capacità di discriminazione in diverse situazioni di ascolto e con uno o più interlocutori. Le successive 17 domande costituiscono la *Scala di*

valutazione spaziale, che analizza le capacità di localizzazione e il senso della provenienza e della distanza dei suoni. Le ultime 19 domande costituiscono la *Scala di valutazione per altre qualità dell'udito*: la capacità di isolare uno stimolo da un altro, la qualità dei suoni e la distinzione dei tratti soprasegmentali dell'eloquio.

Questo test ci permette di verificare i reali benefici percepiti dal paziente, diversi dalle prove funzionali svolte in situazioni di quiete, quali il guadagno funzionale tonale e vocale, che sono molto utili ma non possono indagare molti aspetti dell'ascolto reale. Le domande sono particolarmente precise e dettagliate, e indagano numerosi aspetti della quotidianità dei pazienti, fornendoci molte informazioni utili a possibili interventi sulle regolazioni e sugli automatismi degli apparecchi.

5.2 AUDIOMETRIA VOCALE

I test di audiometria vocale costituiscono un'importante indagine, volta a stabilire la discriminazione vocale del paziente e quindi, in modo indiretto, la sua capacità di comunicare. Le finalità cliniche sono principalmente la valutazione del sistema uditivo nei confronti degli stimoli verbali e la possibilità di localizzare la lesione distinguendo le lesioni della periferia uditiva, fino al nervo acustico, dalle lesioni centrali fra tronco e corteccia. Quest'ultima finalità è generalmente affiancata dalle tecniche diagnostiche per immagine, come risonanza magnetica e TAC. L'audiometria vocale è largamente impiegata in campo riabilitativo, sia per quanto riguarda l'aspetto anamnestico e predittivo dei risultati che sarà possibile ottenere, sia per la verifica del reale guadagno e gli eventuali miglioramenti nell'adattamento.

5.3 SVOLGIMENTO, MATERIALE E APPLICAZIONI DELL'AUDIOMETRIA VOCALE

La stimolazione è costituita da liste di dieci o venti parole, frasi o logotomi a diverse intensità, trasdotte in cuffia o in campo libero, che il paziente è invitato a ripetere. Si possono effettuare prove in set aperto, in cui il paziente ripete ciò che ha sentito, prove in set chiuso in cui il paziente seleziona la parola che ritiene corretta fra le alternative proposte in forma scritta e prove con matrice di confusione, che permettono di isolare eventuali errori sistematici nella percezione di particolari fonemi.

La stimolazione in campo libero è utilizzata soprattutto per verificare il guadagno funzionale che il paziente ha attraverso l'uso della o delle protesi. Bisogna considerare l'acustica dell'ambiente, la qualità e la posizione degli altoparlanti. Inoltre è necessaria una calibrazione e una ricerca di intelligibilità normativa attraverso un campione di 8-10 normoudenti.

La modalità in cuffia era largamente utilizzata in passato per determinare la sede di lesione. E' comunque importante eseguirla in fase anamnestica, come indice predittivo, e per verificare possibili differenze tra le due orecchie, non identificabili attraverso la prova in campo libero che testa il sistema uditivo binauralmente.

La prima lista viene inviata ad un'intensità di 20-30 dB superiore alla soglia media tonale. Successivamente l'intensità verrà abbassata di 10 dB in 10 dB, fino al raggiungimento della soglia di detezione. In seguito, l'intensità verrà aumentata, presentando degli stimoli anche ad intensità superiori al livello in cui si è raggiunta la soglia di intelligenza, per verificare eventuali peggioramenti e quindi distorsioni ad intensità elevate, fenomeni tipici delle ipoacusie neurosensoriali. Nel caso di

invio del materiale in cuffia si utilizza un mascheramento all'orecchio controlaterale, quando è necessario, costituito da rumore rosa, con intensità di 40 dB inferiore al livello del segnale vocale.

Si possono anche utilizzare delle interferenze inviate assieme allo stimolo. Le interferenze possono essere un segnale vocale, il rumore bianco, il rumore rosa o il *cocktail party noise*, inviati a differenti intensità. In passato la finalità di questo test era la sensibilizzazione dei risultati in presenza di disfunzioni. Oggi è utile per simulare condizioni di quotidianità e verificare la discriminazione in presenza di rumore. Il materiale vocale è standardizzato ed è stato selezionato in modo che rappresenti la lingua italiana.

Le parole le o frasi che il paziente ripete correttamente vengono espresse in percentuale, andando a costituire un grafico, detto audiogramma vocale, che presenta la percentuale in ordinata e l'intensità in ascissa. In questo modo verranno tracciate delle curve di intelligibilità.

Le abilità uditive, necessarie per raggiungere l'intelligibilità, sono la detezione, ovvero la capacità di distinguere la presenza dall'assenza del segnale, la discriminazione tra segnali uguali e diversi, il riconoscimento del segnale tra un numero ridotto di scelte e l'identificazione di un segnale in open set.

Nei pazienti normoacusici la curva assumerà la forma di una *S* italiana, nella quale si potranno evidenziare tre soglie. La soglia di intellesione corrisponde all'intensità alla quale vengono riconosciuti tutti gli stimoli e cambia statisticamente in base al materiale utilizzato: per le parole bisillabiche è di 26 dB SPL, per le frasi è di 19 dB SPL, per i logotomi di 35 dB SPL. La soglia di percezione rappresenta l'intensità alla quale viene riconosciuto il 50% del materiale

presentato ed è fortemente correlata con la soglia uditiva tonale, soprattutto per le frequenze tra 500 e 2000 Hz. Statisticamente, il livello necessario per il raggiungimento di questa soglia è di 10 dB SPL per le frasi, 15 dB SPL per le parole e 20 dB SPL per i logotomi. La soglia di detezione è il livello al quale si percepisce lo stimolo, ma non viene compreso il messaggio e corrisponde statisticamente a 5 dB SPL.

E' importante ricordare che i risultati sono fortemente influenzati dalle capacità mnemoniche e linguistiche, dall'attenzione e da molte altre variabili.

Bisogna inoltre distinguere l'intellezione dalla comprensione: un segnale può essere intellegibile ma non comprensibile, mentre non è possibile il contrario. Affinché un segnale sia intellegibile, deve essere ricevuto ed identificato, ma ciò non basta perché sia anche sicuramente compreso. Per verificare la comprensione del messaggio sono necessari test specifici e più complessi rispetto all'audiometria vocale.

Nelle ipoacusie trasmissive la curva mantiene tendenzialmente la forma a S italiana, ma si sposta verso destra, proporzionalmente alla perdita, ovvero verso intensità più elevate, poiché il segnale raggiunge la coclea in modo attenuato.

Nelle ipoacusie neurosensoriali cocleari, la curva mantiene la sua forma per perdite pantonali non gravi, spostandosi semplicemente verso destra, mentre si appiattisce per perdite in caduta, poiché è presente anche una perdita qualitativa e non soltanto quantitativa e ciò determina un aumento della differenza tra la soglia di detezione e quella di intellezione. Inoltre, spesso non è possibile raggiungere il 100% di intelligibilità a causa della presenza di recruitment, ovvero di alterazioni percettive di intensità, e di distorsioni in frequenza e in tempo.

Nelle ipoacusie neurosensoriali retro cocleari, la soglia di percezione è più innalzata rispetto a quanto ci si aspetterebbe osservando la soglia tonale. Questo fenomeno è chiamato *dissociazione verbo-tonale*. Inoltre è presente una riduzione, spesso elevata, dell'intelligibilità ad intensità elevate, dovuta all'adattamento neurale. Questa curva caratteristica è chiamata *roll-over*.

Le distorsioni influiscono notevolmente sulla capacità di discriminazione e sono elementi importanti in campo protesico. Un paziente che presenta un *roll-over* particolarmente accentuato infatti, avrà un guadagno vocale funzionale inferiore e necessiterà di una particolare attenzione nell'adattamento dell'apparecchio e nelle regolazioni, soprattutto dei suoni ad alte intensità.

Il materiale utilizzato è costituito da parole bisillabiche, frasi o logotomi. Questi ultimi sono insiemi di fonemi, privi di significato, ma fonologicamente corretti (/ibi/, /ono/ ecc).

E' necessario attenersi al metodo degli stimoli costanti, cioè gli stimoli presentati ad una determinata intensità devono essere caratterizzati da una sostanziale invarianza. E' quindi fondamentale un'attenta calibrazione sia in senso fisico sia in senso prettamente linguistico. Per quanto concerne la prima, il materiale vocale è preceduto da un tono puro di calibrazione. Regolando l'amplificatore dell'audiometro, l'intensità del segnale vocale corrisponderà all'intensità selezionata sull'attenuatore. Com'è risaputo, ogni parola è costituita da diversi fonemi i quali presentano delle intensità diverse, che possono variare anche di 30 dB. L'intensità selezionata corrisponderà all'ampiezza media dei picchi di minima e massima intensità.

Per quanto riguarda la calibrazione linguistica, il processo è più complesso e riguarda diversi aspetti. Prima di tutto gli elementi che compongono le liste devono avere un'elevata occorrenza lessicale, per evitare che l'intelligibilità sia influenzata dal patrimonio lessicale e semantico del paziente. Inoltre, le liste devono essere bilanciate foneticamente, in modo da presentare una distribuzione fonemica simile. Il bilanciamento fonemico non è così importante nelle frasi, dove invece deve essere controllato il livello morfosintattico, inserendo in ogni lista, per esempio, una forma interrogativa.

Un'altra variabile che influenza l'intelligibilità è la ridondanza. Questo fenomeno è legato ad un eccesso di informazione, che aumenta la probabilità che lo stimolo sia identificato ed è inversamente proporzionale all'intensità di presentazione: i logotomi, che presentano una bassa ridondanza, necessitano di un'intensità maggiore, in media di 20 dB, affinché siano intellegibili rispetto alle frasi, che hanno un'alta ridondanza. Esistono varie tipologie di ridondanza:

- la ridondanza fonemica, legata alla probabilità che un determinato fonema ne segua un altro in una determinata lingua. Per esempio, in italiano è poco probabile che una consonante occlusiva segua un'altra consonante occlusiva, diversa dalla prima;
- la ridondanza semantica, legata al significato linguistico dello stimolo. Per esempio, la parola *media* sarà riconosciuta ad un'intensità minore rispetto alla parola *madie* anche se il contenuto fonemico è lo stesso;

- la ridondanza lessicale, legata all'occorrenza di una determinata parola. Per esempio, per un bambino la parola *testa* è più facilmente ripetibile della parola *cranio*.
- La ridondanza sintattica, tipica delle frasi di senso compiuto, contenuta nei legami sintattici e logici. Per esempio, è più facile da riconoscere la forma *il gatto è sul tavolo* che non la forma *sul il tavolo è gatto*.

Come già accennato, l'audiometria vocale è molto utile sia in fase anamnestica, per predire i possibili risultati e per essere consapevoli delle capacità residue che possono essere sfruttate, che in sede di verifica attraverso il guadagno funzionale.

Il guadagno funzionale è costituito dalla differenza della curva vocale, con e senza apparecchio acustico. Viene eseguito utilizzando liste di frasi o di parole bisillabiche, presentate in campo libero.

5.4. SVOLGIMENTO DELLO STUDIO

E' stato chiesto ad alcuni clienti del centro audioprotesico presso il quale ho svolto il tirocinio, che si presentavano per un controllo, di compilare il questionario *SSQ* e di sottoporsi ad un esame audiometrico vocale. E' stata fatta una selezione soltanto per quanto riguarda il tipo di apparecchio indossato, prendendo in considerazione solo apparecchi di ultima generazione, applicati negli ultimi quattro anni, affinché lo studio non venga inficiato da differenze tecnologiche.

Per semplificare la compilazione del questionario, è stata modificata la scala di valutazione, portando le possibili risposte da 10 a 4 e indicandole con gli aggettivi *male, discretamente, bene, molto bene*.

La valutazione è stata calcolata in percentuale, attribuendo 25 punti percentuali alla risposta *male*, 50 punti percentuali alla risposta *discretamente*, 75 punti percentuali alla risposta *bene* e 100 punti percentuali alla risposta *molto bene*.

Per motivi organizzativi, non è stato possibile applicare alla stessa persona diverse tipologie di apparecchi, ma sono stati selezionati pazienti diversi con applicazioni differenti.

I pazienti che hanno compilato il questionario sono stati invitati a sottoporsi ad un test di guadagno funzionale vocale. Il test è stato eseguito utilizzando il convenzionale cd per audiometria vocale, in ambiente insonorizzato, con pareti fonoassorbenti, in campo libero, utilizzando due casse poste ad un metro di distanza e con un angolo di 45° rispetto al paziente, come illustrato in Figura 14.

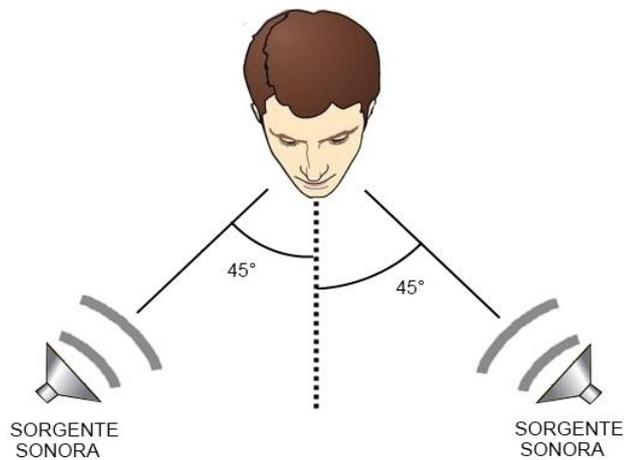


Figura 14. Campo libero

Come precedentemente affermato, questa è una verifica virtuale e oggettiva, che non può indagare molti aspetti fondamentali e significativi dell'udito binaurale, ma è un importante indice della capacità discriminativa del paziente in situazione di quiete.

5.5. SOGGETTI

Hanno partecipato a questo studio 21 soggetti, con un'età compresa tra 20 e 75 anni, dei quali 7 con applicazione binaurale, 7 bilaterale e 7 monolaterale. Un soggetto presenta un'ipoacusia bilaterale grave, tre un'ipoacusia bilaterale lieve e 10 un'ipoacusia bilaterale moderata, mentre i pazienti protesizzati monolateralmente presentano un'ipoacusia moderata per quanto riguarda l'orecchio protesizzato, mentre l'orecchio controlaterale presenta in quattro casi un'ipoacusia profonda, in un caso un'ipoacusia moderata e in uno un'ipoacusia

lieve. Questi due ultimi soggetti non sono protesizzabili bilateralmente a causa di patologie dell'orecchio esterno e medio.

Gli apparecchi utilizzati sono di ultima generazione e il periodo di adattamento va da 6 mesi a 4 anni. Tutti gli apparecchi sono completamente automatici, dotati di intelligenza artificiale, direzionalità adattiva, gestione del rumore, cancellazione dinamica del feedback, da 6 a 10 canali di adattamento e banda estesa da 8 KHz a 10 KHz.

6. RISULTATI

6.1 ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI TRAMITE IL TEST SSQ

I risultati ottenuti attraverso il questionario sono stati inseriti in una tabella, che suddivide le risposte in base al tipo di applicazione, binaurale, bilaterale e monolaterale. Sono quindi state calcolate le medie per ogni domanda e riportate in Figura 15. Ai fini di questo studio non sono state considerate le domande numero 10 e 14, riguardanti la comprensione contemporanea sia del telefono o della televisione che di un interlocutore, considerate particolarmente difficili e alle quali spesso il paziente non è riuscito a rispondere, e la domanda numero 13, riguardante l'utilizzo del telefono, poiché la maggior parte dei pazienti toglie gli apparecchi durante le comunicazioni telefoniche. Il questionario è quindi stato ridotto a 47 domande, rinumerandole come si può osservare in appendice, dove ho voluto mantenere anche le domande escluse dalla statistica contrassegnandole con un asterisco.

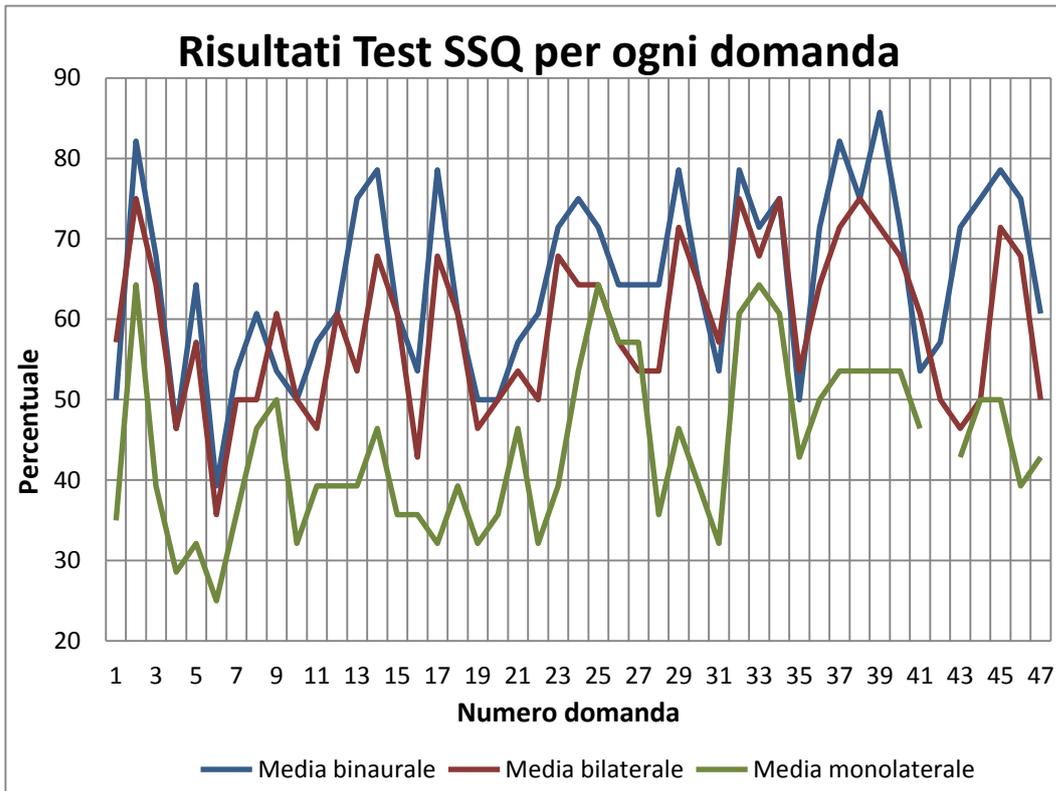


Figura 15. Confronto delle risposte date ad ogni domanda del Test SSQ dai pazienti protesizzati con applicazioni monolaterali, bilaterali e binaurali.

Per facilitare e rendere più immediata la lettura, i risultati sono stati raggruppati in dieci macro- argomenti: parlato nella quiete (domande numero 2, 3 e 11), parlato nel rumore (domande numero 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 43 e 44), localizzazione dei suoni in uno spazio aperto (domande numero 12 e 17), localizzazione del parlato intorno ad un tavolo (domande numero 13 e 14), localizzazione dei suoni ambientali (domande numero 15, 16 e 28), provenienza dei rumori stradali (domande numero 18, 21 e 22), percezione della distanza (domande numero 19, 20, 23, 24, 26 e 27), differenziazione dei suoni (domande numero 29, 30, 31, 32, 33, 34, e 35), naturalezza dei suoni, della musica e della voce (domande numero 36, 37, 38, 39, 45) e affaticamento uditivo (domande numero 41, 46 e 47).

Non sono state considerate le domande numero 25, riguardante la sensazione d'internalizzazione dei suoni, la domanda numero 40, relativa alla capacità di giudicare l'umore di una persona dal timbro della sua voce, e la domanda numero 42 poiché richiede la sensazione uditiva nel momento in cui viene spento uno dei due apparecchi e non interessa quindi i pazienti con protesi monolaterale.

E' stata quindi effettuata una statistica, considerando il voto medio dato ad ogni macro-argomento dai portatori di protesi binaurali, bilaterali e monolaterali come illustrato in Figura 16.

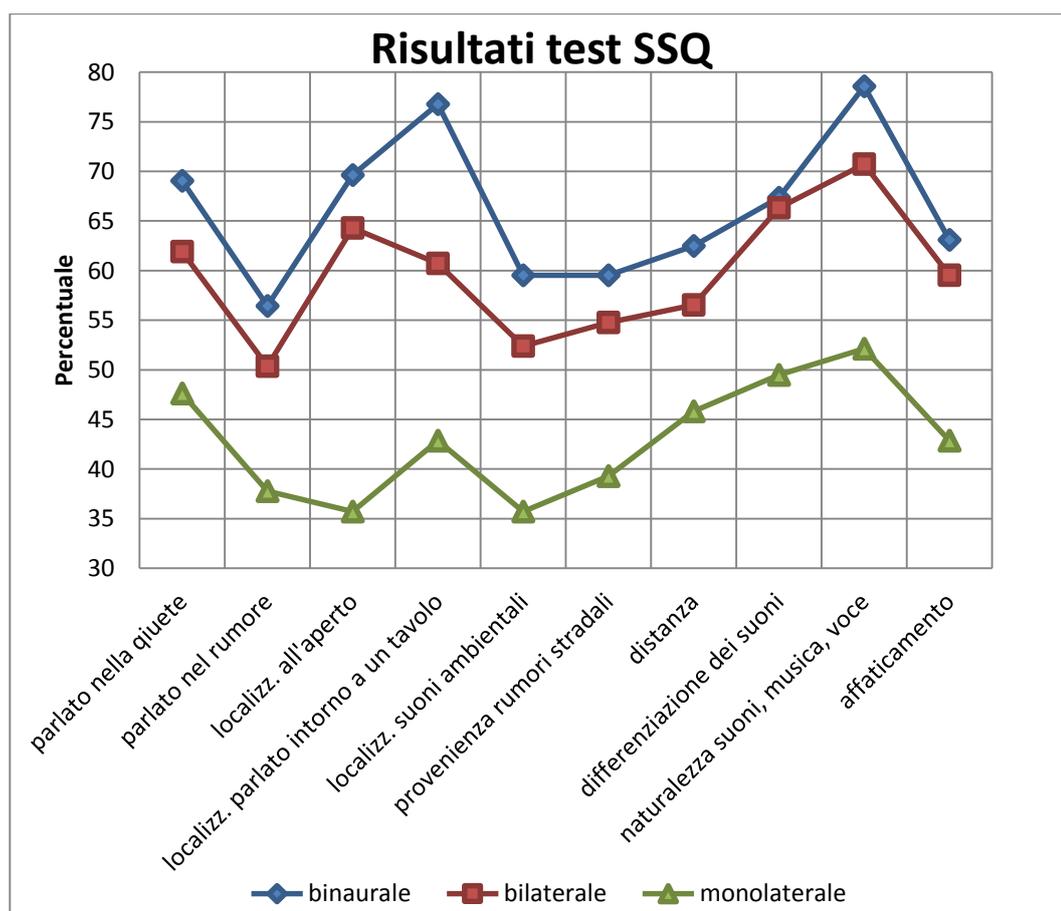


Figura 16. Per rendere i risultati ottenuti tramite il test SSQ più intuitivi, sono stati suddivisi in 10 macro-argomenti. Ogni curva rappresenta un diverso tipo di applicazione: monolaterale, bilaterale e binaurale.

Si può chiaramente dedurre che le applicazioni binaurali portano degli effettivi benefici. Infatti, la differenza media tra i risultati delle applicazioni binaurali e quelli delle applicazioni bilaterali è del 5,77%, mentre la differenza media tra i risultati delle applicazioni bilaterali e quelli delle applicazioni monolaterali è del 14,96%. Quindi, la differenza media tra i risultati delle applicazioni binaurali e quelli delle applicazioni monolaterali è del 20,73%.

Ho potuto osservare, inoltre, delle domande particolarmente significative.

Per quanto riguarda il rapporto tra applicazioni bilaterali e monolaterali, i risultati differiscono per più del 15% in ventuno domande, come illustrato in Figura 17: cinque facenti parte della *Scala di valutazione della discriminazione vocale* (numero 1, 3, 4, 5, e 10), otto appartenenti alla *Scala di valutazione spaziale* (numero 12, 14, 15, 17, 18, 22, 23 e 28) e otto appartenenti alla *Scala di valutazione di altre qualità dell'udito* (numero 29, 30, 31, 37, 38, 39, 45 e 46.)

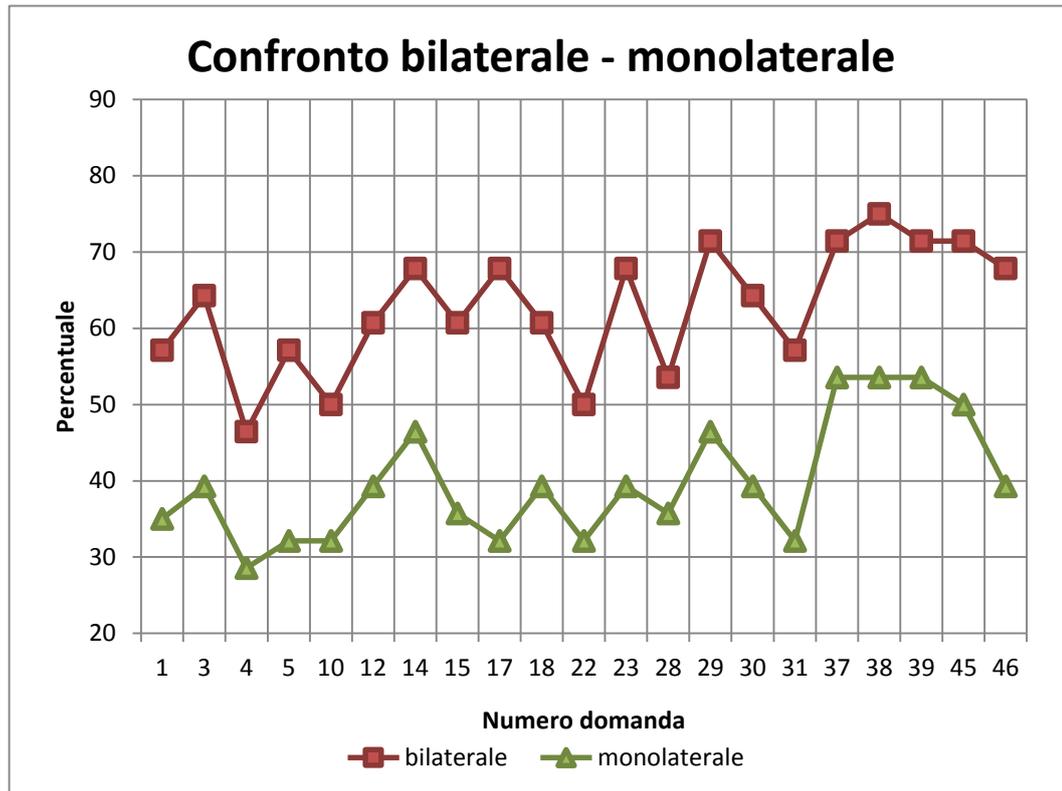


Figura 17. Confronto di risultati particolarmente significativi nel test SSQ ottenuti dai portatori di applicazioni bilaterali e monolaterali.

Per quanto riguarda il rapporto tra applicazioni binaurali e bilaterali, i risultati differiscono per più del 10% in quattordici domande, come illustrato in Figura 18: una riferita alla *Scala di valutazione della discriminazione vocale* (numero 8), nove alla *Scala di valutazione spaziale* (numero 13, 14, 16, 17, 22, 24, 27 e 28) e cinque alla *Scala di valutazione di altre qualità dell'udito* (numero 37, 39, 43, 44 e 47).

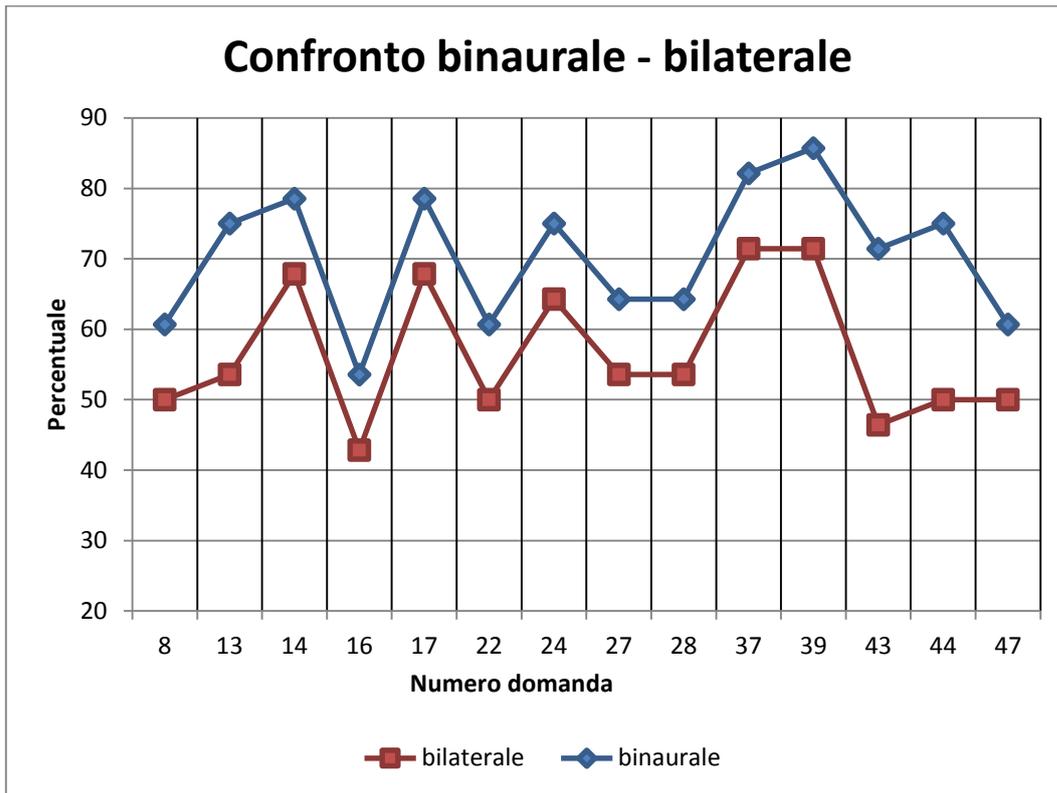


Figura 18. Confronto di risultati particolarmente significativi nel test SSQ ottenuti dai portatori di applicazioni binaurali e bilaterali.

Per quanto riguarda il rapporto tra le risposte date dai pazienti con applicazioni binaurali e quelli con applicazioni monolaterali, esiste una differenza maggiore del 25 % nei risultati di sedici domande, come illustrato in Figura 19. Due di queste domande fanno parte della *Scala di valutazione della discriminazione vocale* (numero 3 e 5), sei rientrano nella *Scala di valutazione spaziale* (numero 13, 14, 15, 17, 22, 23 e 28) e sette sono domande della *Scala di valutazione di altre qualità dell'udito* (numero 29, 30, 37, 39, 43, 44 e 46).

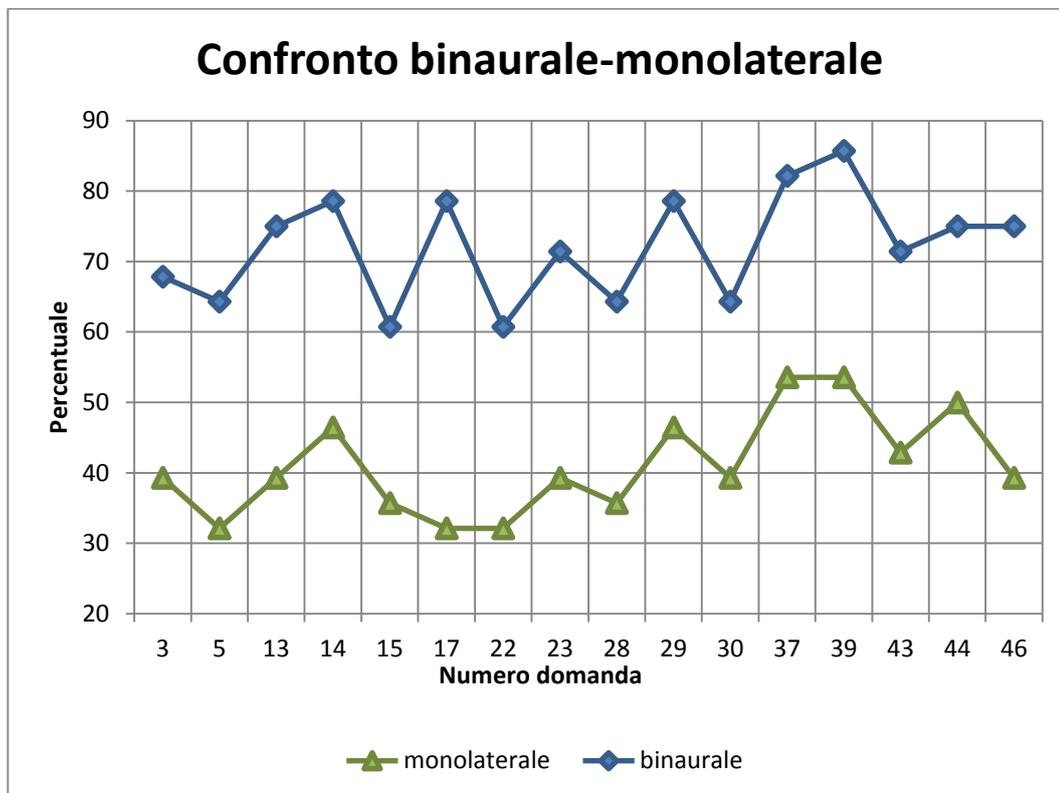


Figura 19. Confronto di risultati particolarmente significativi nel test SSQ ottenuti dai portatori di applicazioni binaurali e monolaterali.

E' importante notare che sei di queste domande sono condivise dai tre gruppi di confronto, come riportato in Tabella I. Le prime quattro domande appartengono alla *Scala di valutazione spaziale*, mentre le altre due appartengono alla *Scala di valutazione di altre qualità dell'udito*.

Tabella I. Domande significative per i tre gruppi di confronto.

Domanda	Bilaterale-monolaterale	Binaurale-bilaterale	Binaurale-monolaterale
14. È seduto tra due persone. Una di queste inizia a parlare. Riesce a dire con esattezza se si tratta della persona alla sua sinistra o alla sua destra, senza guardare?	21,43 %	10,71%	32,14%
17. È all'aperto. Sente un cane che abbaia forte. Riesce a capire immediatamente dov'è senza guardare?	35,72 %	10,71%	46,43%
22. Riesce a capire in quale direzione si muove una persona dal suono della sua voce o dei suoi passi, per esempio da destra a sinistra oppure da sinistra a destra?	17,86%	10,71%	28,57%
28. Riesce a localizzare esattamente dove si trova un suono?	17,86%	10,72%	28,58%
37. I suoni di ogni giorno che riesce a sentire facilmente le sembrano chiari?	17,86%	10,71%	28,57%
39. Sente in modo naturale la sua voce?	17,86%	14,28%	32,14%

Questi risultati dimostrano un evidente vantaggio, soprattutto nelle domande che interessano maggiormente l'integrazione binaurale come la spazialità, la direzionalità e la naturalezza dei suoni, anche in presenza di rumori di fondo, sia per le applicazioni bilaterali che per le applicazioni binaurali, come evidenziato in Figura 20.

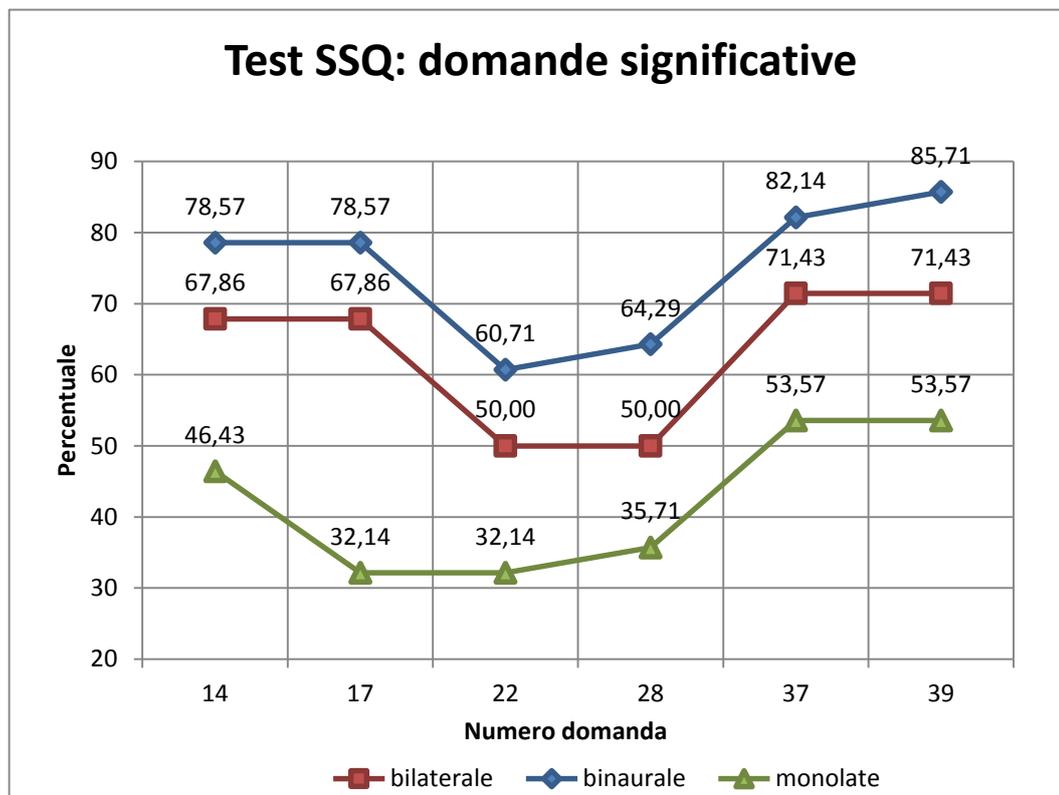


Figura 20. Questi risultati, ottenuti tramite il test SSQ, sono stati considerati particolarmente rilevanti poiché variano per più del 10% nel confronto tra le risposte date dai portatori di apparecchi binaurali e apparecchi bilaterali, per più del 15% nel confronto tra le risposte date dai portatori di apparecchi bilaterali e portatori di un solo apparecchio e per più del 25% nel confronto tra le risposte date dai portatori di apparecchi binaurali e portatori di applicazioni monolaterali.

6.2. ANALISI DEI RISULTATI OTTENUTI TRAMITE IL GUADAGNO FUNZIONALE VOCALE

Per quanto riguarda il guadagno vocale, ho confrontato la differenza d'intensità necessaria, con e senza apparecchi, per raggiungere la percentuale massima di discriminazione vocale, la soglia di percezione, ovvero il 50% di

discriminazione, e la soglia di detezione, ovvero l'intensità alla quale il paziente percepisce la presenza di uno stimolo, ma non discrimina nessuna parola. Il confronto è stato fatto tra i risultati ottenuti dai portatori di apparecchi binaurali, di apparecchi bilaterali e di un solo apparecchio.

Il primo grafico rappresenta la differenza d'intensità, espressa in dB, necessaria per raggiungere la percentuale massima di discriminazione vocale, che non sempre raggiunge il 100%. Infatti 6 pazienti su 21 non hanno raggiunto la soglia di intelligenza. Come illustrato in Figura 21, il guadagno maggiore riguarda i pazienti con applicazione binaurale, che hanno raggiunto il livello massimo di discriminazione con gli apparecchi ad un'intensità di 10 dB inferiore rispetto all'intensità necessaria per raggiungere lo stesso risultato senza apparecchi. I pazienti con applicazione bilaterale invece hanno raggiunto lo stesso risultato con una differenza di intensità pari a 9,29 dB e quelli con applicazione monolaterale ad una differenza di intensità di 6,43 dB.

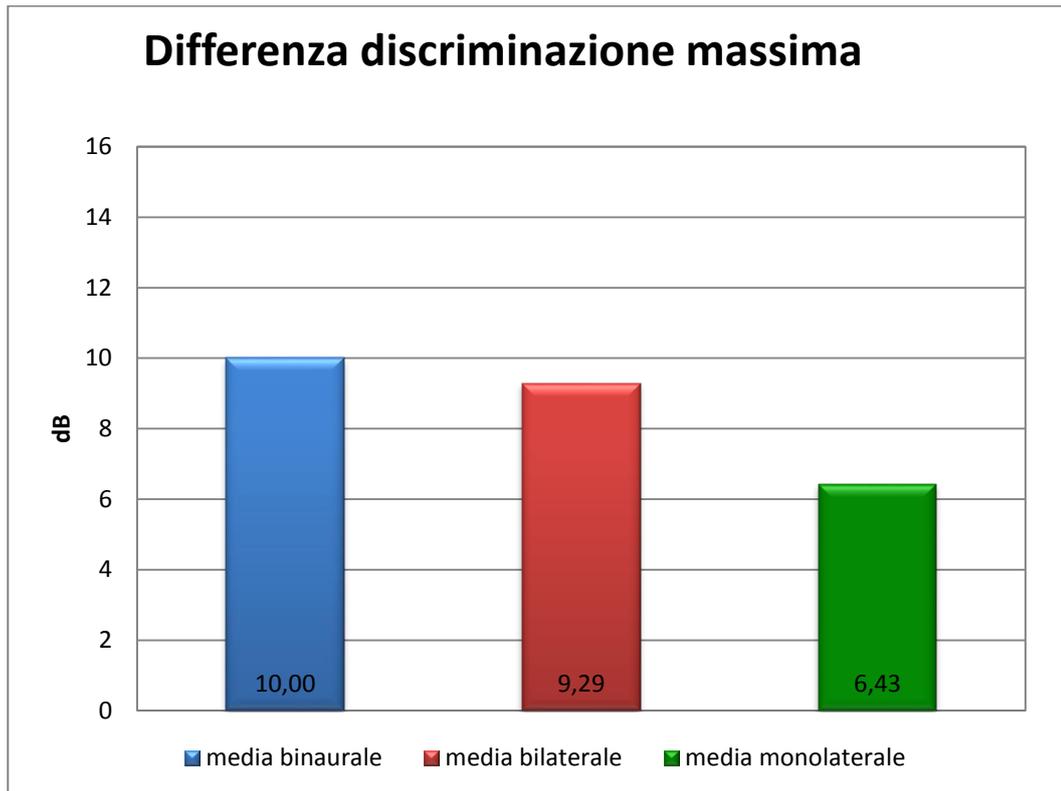


Figura 21. Differenza dell'intensità necessaria, con e senza apparecchi, per raggiungere la discriminazione massima nell'esame audiometrico vocale.

Per quanto riguarda la soglia di percezione, come illustrato in Figura 22, il maggior guadagno è stato ottenuto sempre dai portatori di apparecchi binaurali, i quali hanno raggiunto tale soglia con un'intensità di 12,14 dB inferiore con gli apparecchi rispetto alla prova senza apparecchi. I pazienti con applicazione bilaterale hanno ottenuto il 50% di discriminazione vocale con apparecchi ad un'intensità di 11,43 dB inferiore rispetto all'intensità necessaria per ottenere lo stesso risultato senza apparecchi mentre i portatori di un solo apparecchio hanno presentato una differenza di 10,00 dB.

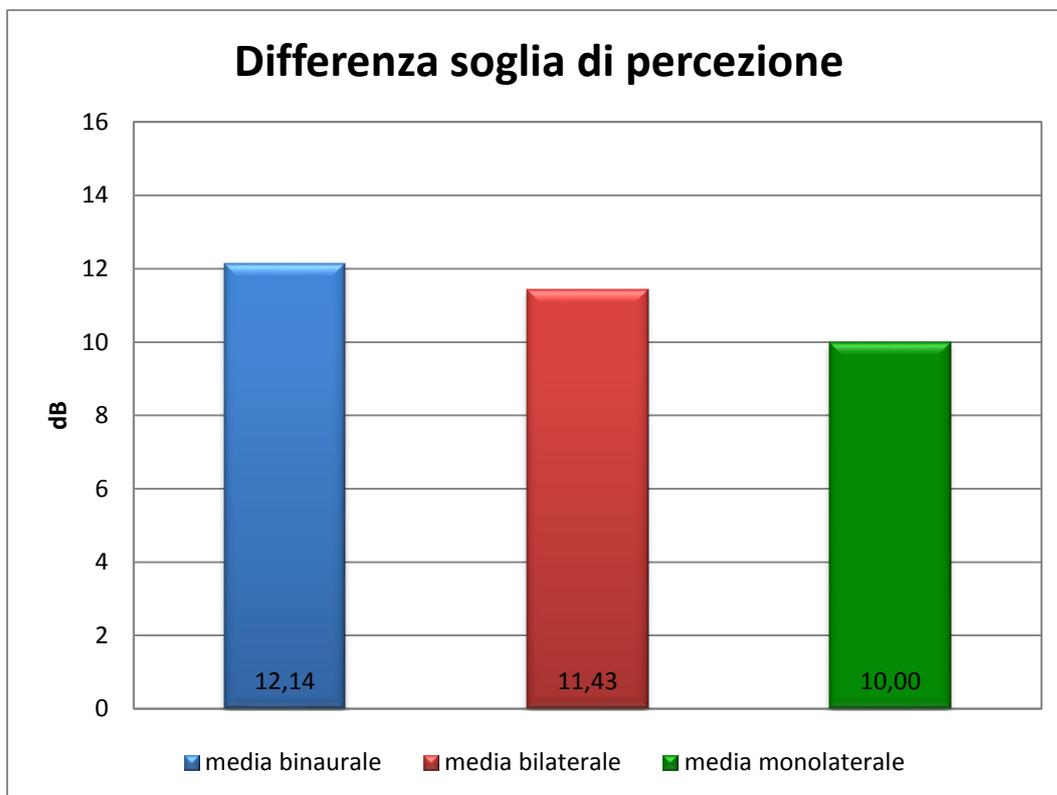


Figura 22. Differenza dell'intensità necessaria, con e senza apparecchi, per raggiungere la soglia di percezione nell'esame audiometrico vocale.

La Figura 23 rappresenta il raggiungimento della soglia di detezione, alla quale il paziente sente lo stimolo ma non discrimina la parola. Il maggior guadagno è stato ottenuto, anche in questo caso, dai portatori di apparecchi binaurali, i quali hanno raggiunto la soglia con gli apparecchi indossati ad un'intensità di 12,86 dB inferiore rispetto allo stesso risultato ottenuto senza apparecchi. Per quanto riguarda i portatori di apparecchi bilaterali, la differenza di intensità con e senza gli apparecchi per raggiungere questa soglia è stata di 11,43 dB mentre per i portatori di un solo apparecchio è stata di 10,71 dB.

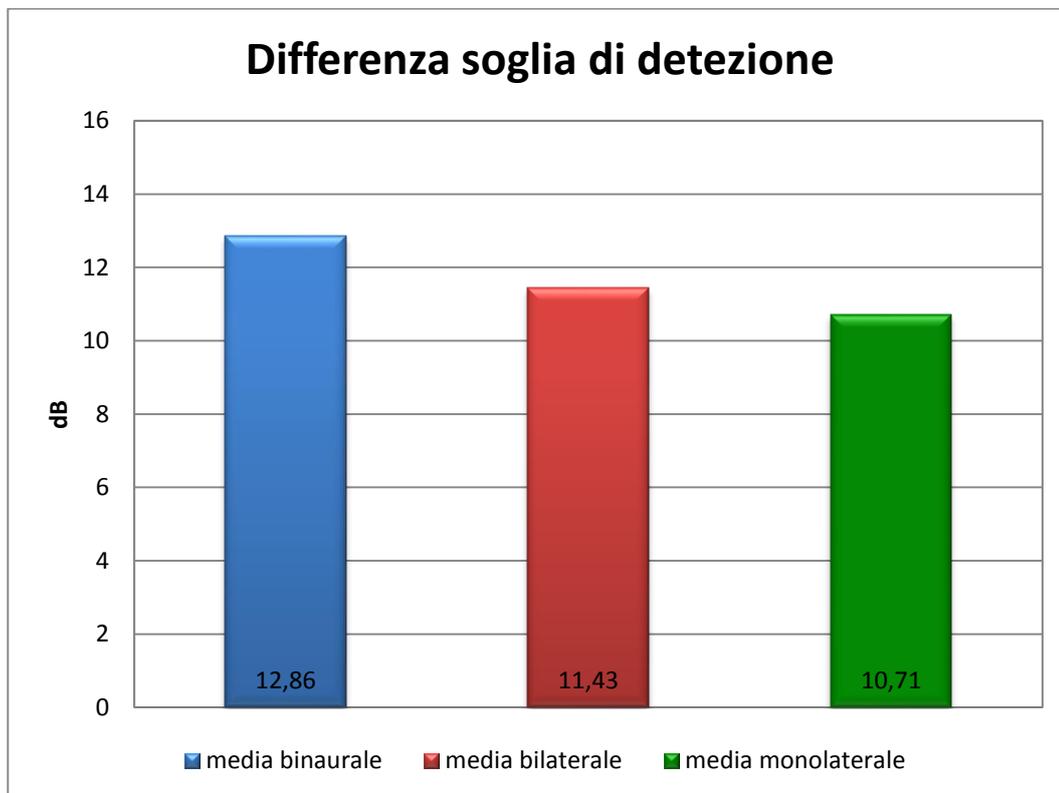


Figura 23. Differenza dell'intensità necessaria, con e senza apparecchi, per raggiungere la soglia di detezone nell'esame audiometrico vocale.

E' necessario ricordare che si tratta di un esame che non riproduce le situazioni di ascolto quotidiane, nelle quali i pazienti si trovano. I portatori di un solo apparecchio, infatti, riscontrano difficoltà maggiori nella discriminazione del messaggio vocale se sono presenti dei rumori di mascheramento. La conferma di queste difficoltà è proprio il questionario, che indaga le situazioni uditive più disparate.

7. RELAZIONE TRA IL TEST SSQ E IL GUADAGNO FUNZIONALE VOCALE

Confrontando i dati ottenuti nelle domande appartenenti alla *Scala di valutazione della discriminazione vocale* con i dati acquisiti tramite il guadagno funzionale vocale, ho potuto verificarne la relazione, nonostante alcuni casi nei quali è stato raggiunto un ottimo guadagno funzionale mentre il punteggio ottenuto nel test *SSQ* è risultato molto inferiore alle aspettative, o viceversa.

Questo confronto è stato riportato graficamente in Figura 24, prendendo in considerazione i risultati ottenuti nelle prime 11 domande del test *SSQ* e come valore rappresentativo del guadagno funzionale vocale, la differenza media di intensità necessaria per raggiungere la soglia di percezione con e senza gli apparecchi.

Ho utilizzato i dati ottenuti per la discriminazione del 50% degli stimoli vocali inviati, poiché non tutti i pazienti hanno raggiunto la soglia di intellesione e in questo modo il confronto è più attendibile.

In media, i portatori di apparecchi binaurali hanno ottenuto il risultato migliore, sia per quanto riguarda la *Scala di valutazione della discriminazione vocale*, con un punteggio pari al 56,82%, sia per quanto riguarda la soglia di percezione con 12,14 dB di differenza. I portatori di apparecchi bilaterali hanno ottenuto un punteggio medio di 53,9% nelle prime domande del test *SSQ*, mentre la differenza nella soglia di percezione è pari a 11,43 dB. I pazienti con un solo apparecchio hanno raggiunto il punteggio più basso in entrambe le prove, ovvero 38,90 punti percentuali nelle domande della *Scala di valutazione della*

discriminazione vocale e 10,00 dB di differenza nella soglia di percezione rilevata con e senza gli apparecchi.

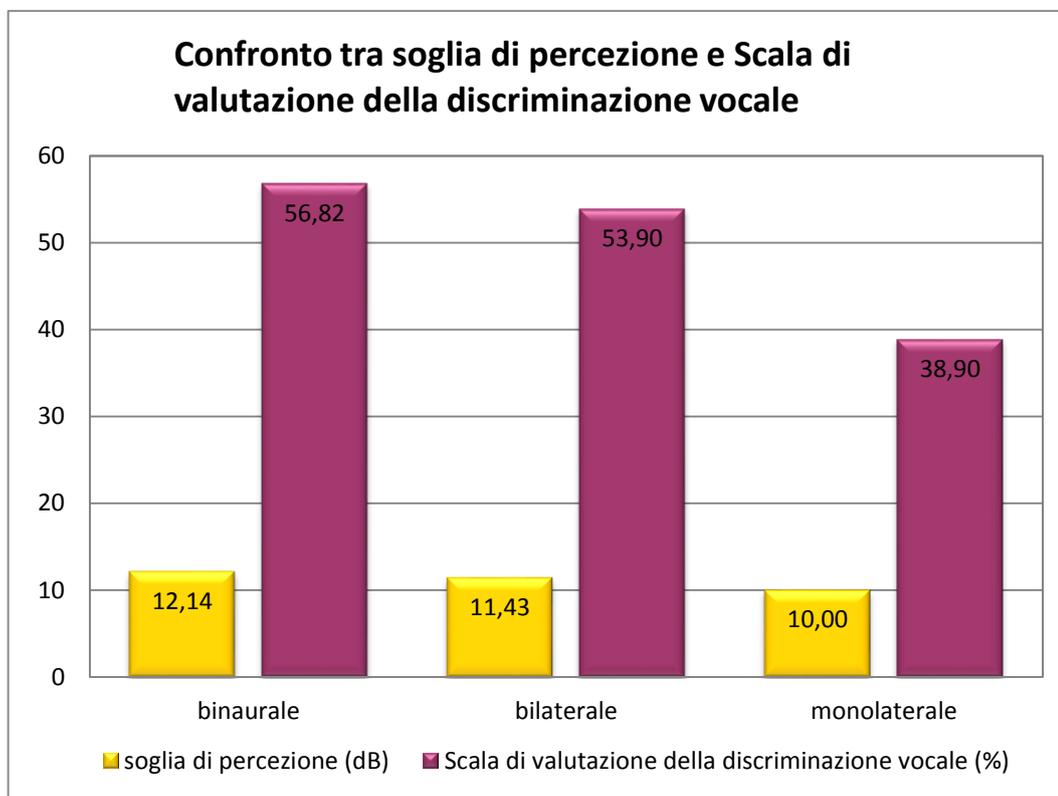


Figura 24. Confronto tra la differenza di intensità, espressa in dB, necessaria, con e senza apparecchi, per raggiungere la soglia di percezione, e i risultati, espressi in percentuale, ottenuti nella Scala di valutazione della discriminazione vocale del test SSQ.

8. CONCLUSIONI

Attraverso questi test è stato possibile dimostrare l'importanza di un'applicazione binaurale e i reali benefici che il paziente può trarne nelle situazioni d'ascolto quotidiane.

Le condizioni nelle quali i vantaggi sono particolarmente evidenti, riguardano il parlato nel rumore, la localizzazione e la differenziazione dei suoni, circostanze fondamentali nella quotidianità e che possono notevolmente migliorare la qualità di vita del paziente.

E' stato inoltre dimostrato un reale beneficio medio, non soltanto nel confronto tra applicazioni monolaterali e binaurali, pari al 20,73%, ma anche nella comparazione tra applicazioni bilaterali e binaurali, con un vantaggio medio pari al 5,77%. Ciò è dovuto al più naturale mantenimento delle differenze interaurali.

Questo risultato dimostra l'importanza della comunicazione tra gli apparecchi e le grandi opportunità che i nuovi progressi tecnologici ci offrono.

Anche per quanto riguarda la ricerca del guadagno funzionale vocale, come precedentemente illustrato nei grafici, i risultati per le tre categorie mantengono lo stesso andamento, con il punteggio migliore per le applicazioni binaurali rispetto alle applicazioni bilaterali e il punteggio peggiore ottenuto dalle applicazioni monolaterali.

La coerenza dei risultati si mantiene quindi anche nel confronto tra la *Scala di valutazione della discriminazione vocale* e il guadagno funzionale vocale, dimostrando quindi un vantaggio non soltanto durante il test in un ambiente silente, ma anche nelle situazioni quotidiane, conferendo ulteriore attendibilità e valore alla ricerca.

In conclusione, le applicazioni binaurali e l'utilizzo delle nuove tecnologie possono realmente migliorare la qualità di ascolto, anche nelle situazioni più difficili e importanti, aumentando la soddisfazione del paziente.

APPENDICE

S[peech] S[patial] Q[ualities] versione 3.1.2

I. Scala di valutazione della discriminazione vocale

1. Sta parlando con un'altra persona in una stanza dove c'è anche la TV accesa. Senza abbassare il volume, riesce a seguire quello che dice la persona con cui sta parlando?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
2. Sta parlando con un'altra persona in un tranquillo salotto con la moquette. Riesce a seguire quello che dice l'altra persona?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
3. È seduto con un gruppo di circa cinque persone attorno ad un tavolo. È un posto piuttosto tranquillo. Lei può vedere ogni componente del gruppo. Riesce a seguire la conversazione?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
4. È a tavola con un gruppo di circa cinque persone in un ristorante affollato. Lei può vedere ogni componente del gruppo. Riesce a seguire la conversazione?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
5. Sta parlando con un'altra persona. C'è un costante rumore di fondo, tipo condizionatore o acqua che scorre. Riesce a seguire quello che dice l'altra persona?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
6. È a tavola con un gruppo di circa cinque persone in un ristorante affollato. Lei <u>non</u> può vedere ogni componente del gruppo. Riesce a seguire la conversazione?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
7. Sta parlando con qualcuno in un luogo in cui c'è molta eco, tipo una chiesa o il terminal di una stazione ferroviaria. Riesce a seguire quello che dice l'altra persona?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
8. Riesce a sostenere una conversazione con qualcuno, se vicino a lei c'è già un'altra persona	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				

che parla con un timbro di voce uguale a quella con cui sta parlando?					
9. Riesce a sostenere una conversazione con qualcuno, se vicino a lei c'è già un'altra persona che parla con un timbro di voce diverso da quella con cui sta parlando?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
*. Sta ascoltando qualcuno che parla con lei, mentre cerca di seguire le notizie alla TV. Riesce a seguire ciò che stanno dicendo entrambi?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
10. Sta conversando con una persona, in una stanza in cui ci sono molte altre persone che parlano. Riesce a seguire ciò che dice la persona con cui sta parlando?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
11. In un gruppo di persone che si alternano nella conversazione, riesce a seguire agevolmente la conversazione senza perdere la parte iniziale di ciò che dice ogni nuovo interlocutore?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
*. Riesce a parlare agevolmente al telefono? [utilizzando uno, nessuno od entrambi gli apparecchi?]	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
*. Qualcuno accanto a lei inizia a parlare mentre sta ascoltando qualcuno al telefono. Riesce a seguire ciò che viene detto da entrambi?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>

II. Scala di Valutazione Spaziale

12. È fuori in un luogo estraneo. Sente qualcuno che sta usando un tagliaerba, ma non può vedere dov'è. Riesce a dire con precisione da che parte arriva il rumore?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
13. È seduto attorno ad un tavolo o ad una riunione con diverse persone. Non può vedere tutti. Riesce ad individuare ogni persona non appena questa inizia a parlare?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
14. È seduto tra due persone. Una di queste inizia a parlare. Riesce a dire con esattezza se si tratta della persona alla sua sinistra o alla sua destra, senza guardare?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
15. È in una casa estranea. C'è silenzio. Sente sbattere una porta. Riesce a capire con esattezza da dove proviene il rumore?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
16. È al secondo piano in un giroscale di un palazzo. Sente un suono provenire da un altro piano. Riesce a capire prontamente da quale piano provenga il suono?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
17. È all'aperto. Sente un cane che abbaia forte. Riesce a capire immediatamente dov'è senza guardare?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
18. È fermo sul marciapiede di una strada affollata. Riesce a sentire con esattezza da quale direzione arriva un autobus o un camion prima di vederlo?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
19. Per strada, riesce a capire quanto sia distante una persona dal suono della sua voce o dei suoi passi?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
20. Riesce a capire dal rumore quanto sia lontano un autobus o un camion?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				

21. Riesce a capire dal rumore in quale direzione si muove un autobus o un camion. Se, per esempio, da destra a sinistra oppure da sinistra a destra?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
22. Riesce a capire in quale direzione si muove una persona dal suono della sua voce o dei suoi passi, per esempio da destra a sinistra oppure da sinistra a destra?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
23. Riesce a capire, dal suono della sua voce o dei suoi passi, se una persona si sta avvicinando o allontanando da lei?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
24. Riesce a capire dal rumore se un autobus o un camion si sta avvicinando o allontanando da lei?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
25. I suoni che riesce a sentire quanto le sembrano provenire da dentro la sua testa?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
26. I suoni delle persone o delle cose che riesce a sentire, ma che non può vedere subito, quanto le sembrano più vicini di quanto pensasse una volta visualizzati?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
27. I suoni delle persone o delle cose che riesce a sentire, ma che non può vedere subito, quanto le sembrano più lontani di quanto pensasse una volta visualizzati?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
28. Riesce a localizzare esattamente dove si trova un suono?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				

SSQ3.1 III Scala di Valutazione Altre Qualità dell'Udito

29. Pensi a quando sente due cose contemporaneamente, per esempio, l'acqua che scorre e, al contempo, una radio accesa. Questi suoni le sembrano distinti l'uno dall'altro?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
30. Riesce a isolare un suono da altri che sono presenti contemporaneamente?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
31. Si trova in una stanza dove una radio trasmette musica. Qualcun altro nella stanza sta parlando. Riesce a percepire la voce separatamente dalla musica?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
32. Distingue con facilità varie persone che conosce dal suono della loro voce?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
33. Distingue con facilità i vari brani musicali che conosce meglio?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
34. Riesce a percepire la differenza tra i vari suoni, per esempio, un'auto da un autobus, l'acqua che bolle in un pentolino da una padella che frigge?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
35. Quando ascolta la musica, riesce a distinguere i vari strumenti che suonano?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
36. Sente in modo chiaro e naturale la musica?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				

37. I suoni di ogni giorno che riesce a sentire facilmente le sembrano chiari?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
38. Sente in modo chiaro e naturale le voci degli altri?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
39. Sente in modo naturale la sua voce?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
40. Riesce facilmente a giudicare l'umore di un'altra persona dal timbro della sua voce?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
41. Riesce ad ascoltare qualcuno o qualcosa senza concentrarsi molto?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
42. Se spegne un apparecchio acustico, senza regolare l'altro, quanto le sembra che tutto sia innaturalmente tranquillo?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
43. In auto, quando guida, riesce a sentire facilmente cosa le dice la persona che le siede accanto? [usa un solo apparecchio, quale, perché?]	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
44. Quando in auto siede accanto al posto di guida, riesce a sentire facilmente ciò che le dice il conducente? [usa un solo apparecchio, quale, perché?]	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				
45. Sente in modo naturale i suoni di ogni giorno?	Male	Discretamente	Bene	Molto bene	Non applicabile
	<input type="checkbox"/>				

46. Quando parla con gli altri, riesce a capire quello che viene detto senza sforzarsi?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>
47. Riesce ad ignorare altri suoni quando cerca di ascoltare qualcosa?	Male <input type="checkbox"/>	Discretamente <input type="checkbox"/>	Bene <input type="checkbox"/>	Molto bene <input type="checkbox"/>	Non applicabile <input type="checkbox"/>

BIBLIOGRAFIA

Arlinger S., Bentler R.A., Cox R.M., Dirks D.D., Gatehouse S., Humes L., Neuman A., Ponton C., Robinson K., Silman S., Summerfield A.Q., Turner C.W., Tyler R.S., Willott J.F., (1996), "*Report of the Eriksholm Workshop on Auditory Deprivation and Acclimatization*", *Ear and Hearing*, Vol.17, pp. 87-98

Burdo S., (2008), "*Impianto cocleare binaurale*" Disponibile on-line all'indirizzo <http://www.audiovestibologia.it>

De FilippisCippone A., (2002) "*L'impianto cocleare. Manuale operativo*", ElsevierMasson Italia, Milano

Dillon H., (2001). "*Hearing Aids*". ThiemeMediacl Publishers, New York:

Emmer M. B., (1999), "*Review of late-onset auditory deprivation and clinical implications*", *Hearing Journal*, Vol. 52, pp. 26-30

Graham N., (2009) "*Eriksholm. Annual Report 2009*", SørenLaugesen, Snekkersten

Hurley R. M., (1999) "*Recovery from the unaided ear effect*", Hearing Journal, Vol. 52, pp. 35-40

Kochkin S., Kuk F., (1997), "*The Binaural Advantage: Evidence. From Subjective Benefit & Customer Satisfaction Data*", The Hearing Review, Vol.4, pp. 29-34

Maurizi M., (1987), "*Audiovestibologia Clinica*", Idelson-Gnocchi Edizione, Napoli

Palmer C.V., (1999), "*Special Issue: Deprivation and acclimatization in the human auditory system: Do they happen? Do they matter?*", The Hearing Journal, Vol. 52, pp. 23-24

Prosser S., Martini, A.,(2007), "*Argomenti di audiologia*", Omega Edizioni, Torino.