

1222·2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS

Corso di Laurea in Tecniche Audioprotesiche

Presidente Prof. Gino Marioni

TESI DI LAUREA

Benefici di una protesizzazione CROS sulla  
comprensione del parlato in situazioni di rumore

Relatore:

Prof.ssa Patrizia Trevisi

Laureando/a:

Aurora Borgato

**ANNO ACCADEMICO 2021/22**



1222·2022  
**800**  
A N N I



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS

Corso di Laurea in Tecniche Audioprotesiche

Presidente Prof. Gino Marioni

TESI DI LAUREA

Benefici di una protesizzazione CROS sulla  
comprensione del parlato in situazioni di rumore

Relatore:

Prof.ssa Patrizia Trevisi

Laureando/a:

Aurora Borgato

**ANNO ACCADEMICO 2021/22**



# INDICE

1. Riassunto	pag. 3
<b>CAPITOLO I</b>	pag. 5
2. Introduzione	pag. 5
3. Ipoacusia unilaterale	pag. 6
4. Vantaggi della binauralità	pag. 6
4.1 Ridondanza binaurale	pag. 7
4.2 Effetto ombra della testa	pag. 8
4.3 Liberazione dal mascheramento	pag. 9
4.4 Localizzazione della sorgente	pag. 9
5. Conseguenze	pag. 12
6. Trattamento	pag. 13
<b>CAPITOLO II</b>	pag. 17
7. Materiali e metodi	pag. 17
8. SSQ test	pag. 21
9. Italian Matrix test	pag. 22
<b>CAPITOLO III</b>	pag. 25
10. Analisi dei risultati	pag. 25
<b>CAPITOLO IV</b>	pag. 29
11. Discussione e conclusioni	pag. 29
12. Bibliografia e iconografia	pag. 31



## RIASSUNTO

Per realizzare questo studio sono stati chiamati dieci soggetti con ipoacusia unilaterale già portatori esperti di CROS o BiCROS, col fine di valutare l'efficienza di questi dispositivi.

La percezione del parlato nella vita di tutti i giorni e della spazialità sono state valutate tramite un questionario.

I pazienti sono stati poi sottoposti al Matrix test con e senza apparecchi acustici. Il materiale fonetico è stato inviato frontalmente, mentre il rumore è stato presentato sia frontalmente, che successivamente lateralmente sul lato sano e sul lato non protesizzabile.

I benefici sull'intelligibilità del parlato nel rumore sono stati studiati comparando i risultati ottenuti senza e con ausilio protesico nelle tre diverse posizioni.

Le risposte del questionario mostrano come vi siano situazioni più facili e altre più difficili. La media complessiva dei punteggi ottenuti sulla percezione del parlato è più che sufficiente, con risultati leggermente inferiori nelle situazioni caratterizzate da rumore di fondo o più oratori contemporaneamente. Per quanto riguarda la localizzazione spaziale le risposte sono state varie.

Dall'elaborazione dei dati ottenuti tramite il Matrix test è risultato che la situazione peggiore per il paziente è quella in cui la fonte di disturbo proviene dalla parte dell'orecchio migliore ed è anche quella in cui lo stesso trae maggiore beneficio una volta indossati gli apparecchi. La maggior parte dei pazienti, in particolare se portatori di sistema CROS hanno riscontrato più difficoltà con gli ausili uditivi nel momento in cui il rumore proveniva dal lato del trasmettitore.

Con una media totale positiva dei risultati è possibile affermare che i dispositivi CROS e BiCROS devono essere considerati come un'opzione di trattamento più che valida per i pazienti con un'ipoacusia unilaterale.





# CAPITOLO I

## INTRODUZIONE

La sordità unilaterale è definita come una perdita di udito in cui un orecchio ci sente normalmente o quasi (l'orecchio buono) mentre l'altro ha una perdita di udito severa o profonda. Questa tipologia di pazienti non può usufruire dei vantaggi dell'ascolto binaurale, facoltà che nel normoudente aiuta a localizzare i suoni e permette di concentrarsi in modo preciso su ciò che si vuole sentire, costituisce quindi un mezzo importante per separare i segnali target dalle sorgenti concorrenti.

Tra le principali soluzioni per questo tipo di ipoacusia troviamo l'applicazione di un sistema CROS, costituito da un apparecchio acustico retroauricolare per via aerea applicato all'orecchio migliore e da un piccolo dispositivo retroauricolare con le stesse sembianze che funge da microfono-trasmittitore posizionato nell'orecchio opposto, collegati tra loro via radiofrequenza.

Essi permettono di trasferire direttamente all'orecchio migliore i suoni che arrivano all'orecchio controlaterale diminuendo sensibilmente l'effetto di attenuazione della testa. Nel caso in cui l'orecchio buono abbia anch'esso una perdita uditiva bisognerà invece applicare un sistema BiCROS, in cui oltre alla trasmissione interviene anche un'amplificazione del segnale.

Ad oggi ci sono molti pareri discordanti sull'effettiva efficienza di questi dispositivi. Lo scopo di questo studio è quello di valutare quanto beneficio, in termini di soddisfazione e guadagno protesico, possono portare nella vita di tutti i giorni, concentrando maggiormente l'attenzione su una delle situazioni definite come più difficili: la comprensione del parlato nel rumore, con l'utilizzo di un questionario psicometrico (SSQ) e di un nuovo test vocale nel rumore (Matrix test).

## **IPOACUSIA UNILATERALE**

Mentre la maggior parte delle persone con problemi di udito ha una ipoacusia in entrambe le orecchie, circa il 10% di questa popolazione ha una condizione unilaterale, la quale prende il nome di ipoacusia monolaterale. Di questo gruppo, per molti, l'orecchio alterato è inutilizzabile e questa condizione viene spesso definita sordità unilaterale. "Sordità" potrebbe non essere la parola migliore per descrivere questa situazione, poiché, nonostante la maggior parte di questi individui abbia una perdita dell'udito neurosensoriale da grave a profonda, a volte sono presenti altre condizioni che rendono l'orecchio inutilizzabile come un riconoscimento vocale molto scarso o condizioni particolari dell'orecchio medio. L'ipoacusia unilaterale può affliggere sia bambini che adulti e come quella bilaterale può essere sia di tipo neurosensoriale che trasmissivo e può variare da moderata, grave, profonda o addirittura totale.

La perdita di udito monolaterale può essere congenita oppure può essere una conseguenza di traumi alla testa o all'orecchio, come nel caso di un incidente o di un trauma acustico, può manifestarsi anche come sordità improvvisa, cause molto comuni possono essere malattie infettive come parotite e meningite o infezioni batteriche/virali, malattie durante la gravidanza, come nel caso del citomegalovirus. Possiamo aggiungere anche cause ischemiche, la comparsa di un neurinoma sul nervo acustico o la malattia di Ménière.

### **Vantaggi della binauralità**

Una delle più grandi difficoltà a cui vanno incontro coloro che soffrono di ipoacusia monolaterale è riuscire a comprendere una conversazione nel rumore di fondo come nel caso di un luogo affollato o in caso di più

interlocutori che comunicano simultaneamente. Questo perché non possono avvalersi dei vantaggi dell'udito binaurale, capacità funzionali uditive periferiche e centrali, fondamentali per una migliore intelligibilità in situazioni complicate, quali la ridondanza binaurale (possibilità di ricevere lo stesso messaggio due volte), l'effetto ombra della testa (Tillman et al, 1963) e l'effetto squelch binaurale (Markides, 1977; Gulick et al, 1989). In questi pazienti viene meno anche la capacità di localizzazione delle fonti sonore.

### **Ridondanza binaurale**

Un primo, fondamentale vantaggio è il fatto che ciascuna delle due orecchie contribuisce alla percezione degli stimoli sonori che raggiungeranno il tronco encefalico. La sensazione di volume generata da un suono è correlata al numero di potenziali d'azione innescati da quest'ultimo. La ridondanza binaurale è il risultato della somma di uno stesso segnale sonoro che raggiunge entrambe le orecchie. In un soggetto con udito normale fornisce un guadagno di circa 3 dB SNR rispetto a una situazione a orecchio singolo. Per ottenere lo stesso aumento di volume con un solo orecchio sarebbe necessario aumentare il livello sonoro di circa 10 dB [Fletcher e Munson, 1933].

Non solo i segnali vengono percepiti più forte quando i soggetti ascoltano con entrambe le orecchie, ma risulta più facile, a livello di elaborazione centrale delle informazioni, essere più sensibili a piccole differenze, di intensità e frequenza.

Si osserva inoltre che con la stimolazione binaurale, i suoni più forti causano meno disagio rispetto a una presentazione mono.

## **Effetto ombra della testa**

L'effetto ombra della testa è spiegato dalle differenze nelle caratteristiche fisiche dello stesso segnale sonoro che raggiunge ciascun orecchio. Le differenze di intensità interaurale, tempo di arrivo, fase d'onda e composizione spettrale causate dall'ombra della testa, la quale si comporta da ostacolo nel tragitto sorgente-orecchio, costituiscono spunti preziosi per una migliore localizzazione e quindi comprensione del segnale sonoro. I suoni a bassa frequenza (inferiori a 1500 Hz) hanno lunghezze d'onda equivalenti o maggiori della dimensione della testa e vengono quindi diffratti ma raggiungono entrambe le orecchie con quasi la stessa intensità, mentre i suoni ad alta frequenza (oltre 3000 Hz) che hanno lunghezze d'onda inferiori alla metà del diametro della testa, vengono attenuati maggiormente. Man mano che aumenta la frequenza la testa li maschererà sempre di più riducendo la loro energia acustica per riflessione e assorbimento.

Lo stesso stimolo, in termini di parametri fisici, come intensità e fase, sarà quindi percepito in modo differente dalle due orecchie.

Nel caso dell'ipoacusia unilaterale non solo non potrà essere rilevata alcuna differenza potendosi basare solo su un unico segnale in entrata, ma si avrà, nel caso in cui lo stimolo provenga dal lato peggiore, un'attenuazione del suono da parte della testa non trascurabile e maggiore per le frequenze più importanti del parlato richieste per la comprensione, ossia le frequenze acute. È stato infatti dimostrato che la riduzione del livello di sensibilità del parlato nella perdita dell'udito unilaterale equivale a una riduzione della soglia di intelligibilità fino a 7 dB quando si confronta il parlato inviato direttamente all'orecchio buono rispetto a quello inviato indirettamente, cioè dalla parte dell'orecchio peggiore (Fletcher, 1953; Tillman et al., 1963; Nordlund & Fritzell, 1963; Olsen & Carhart, 1967).

La combinazione della ridotta sensazione di intensità del parlato e della distorsione di frequenza comporta una significativa riduzione della

comprensione del parlato quando in una situazione di quiete lo stimolo arriva dal lato peggiore o 'indiretto'.

### **Liberazione binaurale dal mascheramento**

L'effetto squelch o liberazione dal mascheramento è la capacità del sistema uditivo centrale di differenziare le informazioni utili da quelle superflue, quindi di porre l'attenzione sul discorso in un ambiente rumoroso, quando le sorgenti del parlato e del rumore sono separate. Ciò è possibile solo nell'udito binaurale. In una situazione di campo libero, quando il segnale sonoro e il rumore vengono inviati allo stesso modo a entrambe le orecchie, il segnale sonoro viene mascherato dal rumore. Ma se la sorgente del segnale sonoro è diversa da quella del rumore, si verifica un effetto di smascheramento e l'individuo comprende più correttamente il relativo segnale parlato. Questo effetto squelch, anche chiamato effetto Hirsh [Hirsh, 1948] comporta un miglioramento dell'SNR uditivo fornito dal confronto dei segnali bilaterali ed è un'abilità puramente centrale, sono stati proposti numerosi modelli della liberazione binaurale dal mascheramento ma l'esatto meccanismo neurale mediante il quale i segnali vengono combinati matematicamente, lateralizzati o correlati in modo incrociato rimane sconosciuto.

### **Localizzazione della sorgente**

La localizzazione della sorgente sonora consiste nel determinare la posizione della sorgente di un suono in tre dimensioni:

- angolo nel piano orizzontale (o azimutale):  $0\pm 180^\circ$ ;
- elevazione (altezza o angolo verticale) nel piano verticale:  $0\pm 90^\circ$ ;

- distanza (-) o profondità:  $0 \pm \infty$ .

Tre parametri fisici principali vengono utilizzati dal sistema uditivo per individuare la provenienza di sorgente sonora: tempo, livello (intensità) e forma spettrale.

Verticalmente, l'altezza è determinata in modo monolaterale, coinvolgendo quindi un solo orecchio, ponendo attenzione ai cambiamenti nella forma spettrale incidente (riflessione, diffrazione e assorbimento) provocati dal padiglione auricolare o pinna, testa, spalle e busto, noti come funzioni di trasferimento correlate alla testa. Anche la profondità è determinata principalmente in modo mono.

Invece l'angolo orizzontale è determinato principalmente da fattori binaurali: tempo interaurale e differenze di intensità.

La teoria duplex dell'udito direzionale sviluppata da Lord Rayleigh nel 1907 fu la prima ad analizzare la localizzazione della sorgente sonora in termini di differenze interaurali nei segnali.

Nell'uomo, le due orecchie si trovano su entrambi i lati della testa, separate dalla larghezza di quest'ultima. Il raggio della testa è generalmente considerato 8,75 cm, corrispondente a una media misurata in diversi individui. Le due orecchie hanno quindi coordinate spaziali diverse.

Come già visto precedentemente, poiché la distanza tra la sorgente sonora e ciascuna delle orecchie è diversa, c'è una differenza di tempo nella ricezione tra le due (ITD). La testa, entrando tra le due orecchie, esercita anche un effetto ombra acustico, che causa una differenza di livello tra i segnali ricevuti (ILD).

Il sistema uditivo valuta l'ITD mediante:

- sfasamento a bassa frequenza per lunghezze d'onda eccedenti il diametro della testa;
- spostamento dell'involuppo ad alta frequenza per lunghezze d'onda inferiori al diametro della testa.

L'ITD è fondamentale per localizzare sorgenti sonore a frequenze inferiori a 1500 Hz, in cui la lunghezza d'onda supera il diametro della testa, le quali saranno diffratte dalla testa, ma diventa ambiguo alle frequenze più alte.

Infatti, per toni puri superiori a 1500 Hz, lo sfasamento cessa di essere rilevante, poiché diverse lunghezze d'onda potrebbero essersi susseguite tra un orecchio e l'altro.

Nel caso di suoni complessi, invece, l'ITD rimane rilevante oltre i 1500 Hz grazie alla differenza percepita nel tempo di arrivo dell'involuppo sonoro tra le due orecchie, talvolta nota come differenza di involuppo interaurale. Tuttavia, i segnali dell'involuppo svolgono un ruolo scarso o nullo nel determinare la localizzazione azimutale in un campo libero. In condizioni ottimali, gli esseri umani possono percepire valori ITD fino a 10 s.

Esiste anche l'effetto di precedenza, noto anche come legge del primo fronte d'onda, grazie al quale è possibile individuare la sorgente sonora sul lato dell'orecchio che l'ha ascoltata per la prima volta. Ciò è particolarmente importante in ambienti con molti suoni riverberanti.

ITD e ILD forniscono una localizzazione precisa sul piano azimutale, ad eccezione di quello che è noto come il "cono di confusione". Per i suoni provenienti dalla circonferenza di questo cono, il cui asse è la linea interauricolare (linea retta passante per le due orecchie), non ci sono differenze di tempo o di livello, che portano a confondere le coordinate percettive: il soggetto non è in grado di dire se il suono proviene da davanti o da dietro, sopra o sotto, o da qualsiasi altra parte lungo la circonferenza. Sono quindi sviluppate strategie di disambiguazione percettiva dinamica, come il movimento della testa o, negli animali, delle orecchie, spettrale o visiva.

## CONSEGUENZE

La stereofonia si basa sulla combinazione nel cervello di informazioni provenienti dalle due orecchie, le quali elaborandone profondità e localizzazione tridimensionale creano una solida illusione, un oggetto, più facile da segregare e identificare rispetto a quando l'informazione arriva da un unico lato.

Gli stimoli concorrenti vengono così identificati come oggetti separati situati in direzioni diverse a cui sarà molto più facile prestare o non prestare attenzione. Tutto ciò non avviene se il segnale viene captato da un unico orecchio. Può anche capitare che, nel caso di alcune ipoacusie asimmetriche, la trasmissione del segnale dall'orecchio più povero al sistema centrale sia distorto rispetto a quello migliore a tal punto da rendere impossibile il confronto tra le due orecchie.

Questi soggetti spesso sviluppano strategie per posizionarsi in modo che lo stimolo "ricercato" sia dalla parte dell'orecchio buono e per evitare la situazione per loro peggiore, ossia il segnale che arriva al lato più povero e il rumore che arriva al lato opposto. Quando sono in grado di farlo, specialmente in momenti di quiete, in genere non riscontrano particolari problemi nel seguire la conversazione. Dover scansionare costantemente l'ambiente di ascolto può tuttavia risultare faticoso.

In presenza di rumori di fondo, come accade in un luogo in cui interagiscono più oratori, la comprensione del parlato richiede la capacità di individuare e seguire ogni oratore. Anche in questo caso le persone con ipoacusia monolaterale, anche con un udito normale da un orecchio, si trovano in difficoltà, non potendo giovare di quest'abilità.

È facile quindi immaginare come una perdita di udito monolaterale possa causare diversi problemi di comunicazione, ancor di più in ambienti di ascolto impegnativi tipici della vita di tutti i giorni. Questo comporta una notevole disabilità sociale e spesso anche professionale.



## TRATTAMENTO DELL'IPOACUSIA UNILATERALE

L'ipoacusia unilaterale può essere trattata in diversi modi, la scelta dipende dalla gravità e dal tipo di ipoacusia. Se nell'orecchio è rimasta una minima capacità di sentire, si può intervenire con l'applicazione di un apparecchio acustico. Quando invece l'amplificazione per via aerea non è possibile, si può optare per una soluzione chirurgica come nel caso dei dispositivi a conduzione ossea, se la coclea è ancora intatta vengono presi in considerazione anche gli impianti cocleari. Nel caso in cui il paziente non desidera un'operazione o con la stessa non si otterrebbe alcun risultato, una soluzione molto valida è quella del sistema CROS o BiCROS a seconda dei casi. È importante dire che con questa ultima scelta si va ad escludere completamente dalla riabilitazione l'orecchio peggiore che andrà progressivamente a morire del tutto.

L'apparecchio acustico CROS (Fig.1) viene descritto come un ausilio uditivo per assistere le persone con un orecchio troppo danneggiato per essere protesizzato e l'altro con un udito normale o quasi, che ciononostante da solo non basta ad affrontare molteplici situazioni della quotidianità. Il principale problema che questo apparecchio acustico cerca di superare è quello della perdita delle funzioni binaurali. Nell'impossibilità quindi di fornire a questi pazienti un ascolto "a due orecchie", si può comunque tentare un approccio "bilaterale".

L'appellativo CROS è l'acronimo di contralateral routing of offside signals, che possiamo tradurre come trasmissione controlaterale dei segnali provenienti dal lato inutilizzabile. Con queste parole viene descritto brevemente il meccanismo su cui si basa il funzionamento dell'apparecchio: i sistemi CROS e BiCROS sono degli ausili protesici uditivi costituiti da un apparecchio acustico per via aerea comunemente retroauricolare (esistono anche sistemi endoauricolari) applicato ad un orecchio, quello migliore e da un piccolo dispositivo che funge da microfono e trasmettitore posizionato

nell'orecchio opposto, in comunicazione tra loro. Essi permettono all'orecchio sano o con una lieve ipoacusia di ricevere i suoni che arrivano dal lato opposto.

L'applicazione pratica di questa modalità negli apparecchi acustici indossabili fu segnalata per la prima volta da Harford e Barry nel 1965. I primi modelli usavano dei fili incorporati nelle montature degli occhiali o un cavo passante dietro il collo per realizzare la trasmissione. Negli anni '70, gli sviluppi della tecnologia consentirono la trasmissione a radiofrequenza, che divenne presto il sistema più utilizzato e sostituì i modelli precedenti.

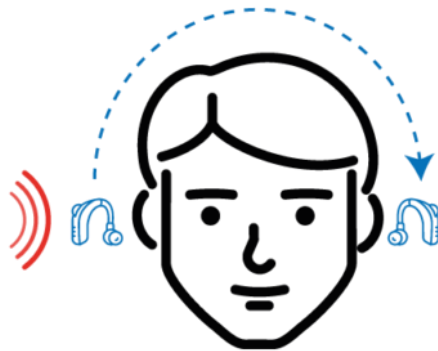


Figura 1 Soluzione CROS - L'apparecchio acustico riceve il suono dal lato non udente e lo presenta all'orecchio migliore in modo che il segnale possa essere ascoltato

L'applicazione dei dispositivi CROS è progettata per le persone che hanno un udito normale nell'orecchio "buono". Molti pazienti, tuttavia, hanno anche in quest'ultimo una perdita di udito. Se vi è una possibilità di protesizzazione, allora il fitting prende il nome di BiCROS (Fig. 2). L'idea è la stessa, solo che ora i microfoni sono bilaterali, di conseguenza i segnali vengono rilevati su entrambi i lati della testa e vengono elaborati, amplificati e inviati solo all'orecchio migliore. Ciò consente di ottenere un migliore riconoscimento vocale indipendentemente da quale lato provenga il segnale. A seconda della

tecnologia utilizzata, potrebbe esserci una preelaborazione sul lato dell'orecchio peggiore, come nel caso del microfono direzionale.

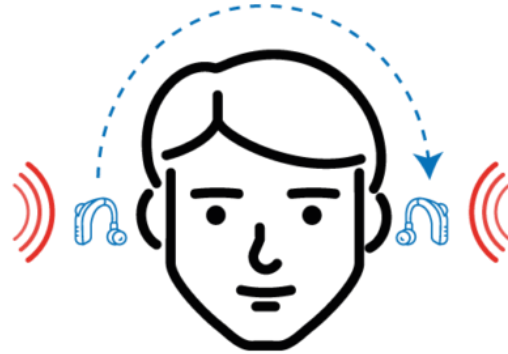


Figura 2 Soluzione BiCROS - Entrambi i microfoni sono funzionanti, i suoni ricevuti vengono trasmessi elaborati e amplificati al lato migliore

Come accennato, fin dagli anni '70, l'amplificazione CROS e BiCROS utilizza la trasmissione a radiofrequenza. Tuttavia, dopo l'introduzione di "e2e Wireless", il primo sistema senza fili che consentiva la sincronizzazione di entrambi gli apparecchi acustici in un fitting bilaterale, da parte di Siemens nel 2004 (Herbig et al, 2014), la sofisticatezza della tecnologia degli apparecchi acustici è migliorata al punto che la trasmissione wireless dei segnali audio è diventata possibile. La tecnologia "e2e Wireless" ha consentito il beamforming binaurale, una tecnologia che può migliorare significativamente la comprensione del parlato nel rumore di fondo, anche quando il parlato ha origine da un'angolazione diversa da quella di fronte all'utente (Littmann et al, 2015). Questa tecnologia è stata in seguito utilizzata anche per una soluzione wireless CROS/BiCROS.

Alcune delle ultime innovazioni sono:

- elaborazione direzionale efficace sia per il trasmettitore che per il ricevitore, come nell'esempio mostrato in Fig. 3;

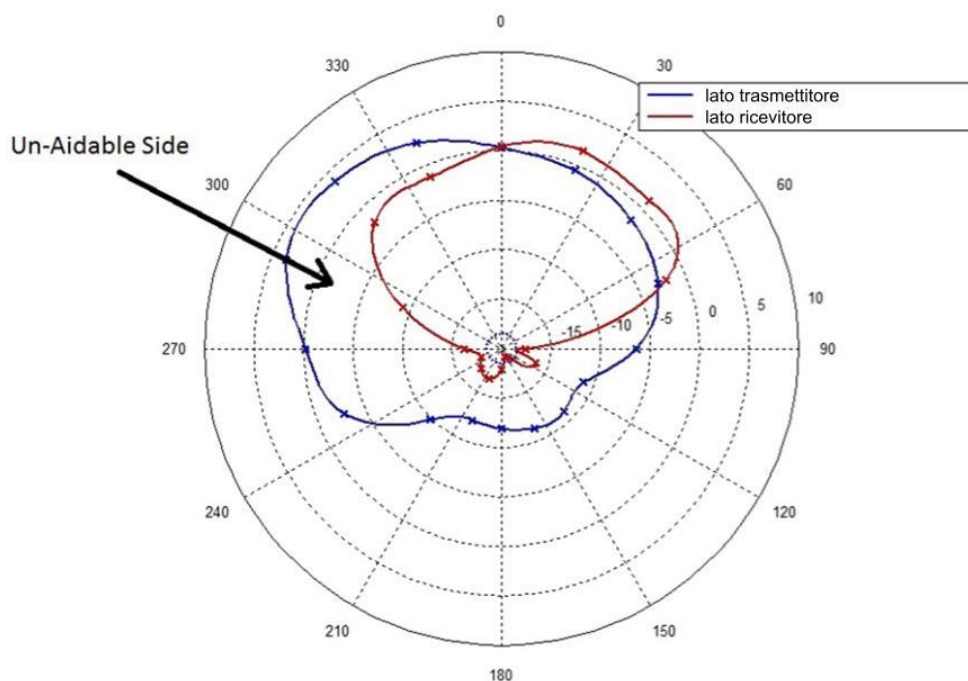


Figura 3 Esempio di direzionalità bilaterale progettato in modo che l'orecchio migliore abbia la massima direzionalità in avanti, mentre quella per il microfono dal lato peggiore è leggermente inclinata verso l'esterno

- attivazione e adattamento dell'elaborazione omnidirezionale o direzionale automatica su entrambi i lati, a seconda della situazione acustica;
- sollievo in caso di rumore del vento sul lato trasmettitore o ricevitore;
- consumo energetico inferiore;
- basso rumore di fondo;
- controllare manuale dei dispositivi tramite pulsantino posteriore o telecomando;
- possibilità di aggiungere un secondo programma per disaccoppiare il microfono del trasmettitore nel caso di situazioni in cui il paziente non trova beneficio, ad esempio quando il rumore è sul lato del trasmettitore;
- compatibilità con dispositivi tv, sistemi fm, telefono.

## CAPITOLO II

### MATERIALI E METODI

A questo studio hanno partecipato un totale di dieci pazienti (Tab. I) di cui 4 uomini e 6 donne. Il campione è stato selezionato in modo da comprendere diverse fasce d'età, dai 16 agli 86 anni, con una media di 62,3 anni.

Tutti i pazienti soffrono di ipoacusia monolaterale e sono portatori esperti di dispositivo CROS o BiCROS.

Tabella I Età, perdita uditiva, causa e tipo di protesizzazione del campione di studio

INIZIALI NOME	ETA'	PTA* OR. MIGLIORE	PTA* OR. PEGGIORE	CAUSA	CROS/ BiCROS	DA QUANTO
RG	86	45 dB	100 dB	protesi all'orecchio medio non accettata	BiCROS	3 anni
TA	70	55 dB	100 dB	trauma, orecchio migliore peggiolato per otite	BiCROS	3 anni
EL	16	35 dB	100 dB	mastoido-timpanoplastica per colesteatoma	BiCROS	1 anno
GM	69	47,5 dB	95 dB	sconosciuta	BiCROS	4 anni
GT	77	15 dB	95 dB	trauma	CROS	6 anni
ZL	72	30 dB	95 dB	sconosciuta	BiCROS	5 anni
SP	65	16 dB	77 dB	sconosciuta	CROS	3 anni
NL	83	30 dB	85 dB	otite	BiCROS	4 anni
BE	34	52 dB	100 dB	dalla nascita, otospongiosi maggiore a destra	BiCROS	6 anni
MR	51	10 dB	10 dB	trauma cranico con emorragie	CROS	1 anno

\*PTA: media della soglia uditiva per le frequenze 500Hz - 1000Hz - 2000Hz - 4000Hz

Al momento del test tutti gli apparecchi erano già regolati a target e i pazienti erano stati visti in centro acustico da non più di sei mesi per eventuali aggiustamenti di regolazione.

Alcuni pazienti hanno affermato di portare gli apparecchi tutto il giorno, altri solo per uscire di casa o solo in situazioni di ascolto difficile.

Si tratta di pazienti aventi tutti un'ipoacusia di entità da grave a profonda nell'orecchio peggiore, meno che uno. Nel suo caso l'audiogramma risulta essere nella norma, ciononostante una delle due vie uditive distorce il segnale a tal punto da rendergli difficile la comprensione delle parole se queste gli arrivano da quel lato. L'applicazione del sistema CROS è di grande aiuto per lui in situazioni difficili.

Si tratta di apparecchi acustici retroauricolari tutti di tipologia RITE e con cupoletta in silicone o una chiocciola su misura ventilata o chiusa nell'orecchio migliore a seconda della perdita uditiva.

Prima di iniziare i pazienti sono stati sottoposti a otoscopia del CUE, pulizia e controllo del funzionamento degli apparecchi acustici. È stato poi chiesto loro di compilare parte di un questionario sulla comprensione del parlato in situazioni di quiete e di rumore e sulla localizzazione delle sorgenti sonore, chiamato SSQ test (Speech, Spatial and Quality of hearing), in particolare la prima e la seconda sezione per un totale di 31 domande con l'indicazione di segnare le risposte pensando a situazioni in cui stavano indossando entrambi gli apparecchi. Si è preferito tralasciare la terza parte del questionario perché poco inerente a questo specifico studio. Successivamente i pazienti sono stati fatti accomodare al centro di un angolo della stanza adibito al Matrix test, di 2x2 metri rivestito di materiale fonoassorbente sulle tre pareti, con 2 casse posizionate una a destra del paziente e una frontale come mostrato in Fig. 4. L'intelligibilità nel rumore è stata quindi valutata tramite la versione italiana del French Matrix test usando le frasi Oldenburg come materiale fonetico.

Le frasi sono state inviate frontalmente al paziente e il rumore da tre angolazioni diverse: frontale, a destra e a sinistra.

Per le prime tre esecuzioni è stato chiesto di togliere gli apparecchi per poi rimmetterli per le restanti tre, per calcolare poi un punteggio di beneficio del sistema CROS o BiCROS.

L'attività vocale consisteva nel comprendere e ripetere tutte e cinque le parole di ogni frase, nonostante la presenza del rumore di fondo per un totale di 6 serie di 20 frasi ciascuna. L'obiettivo del test è quello di determinare per ogni condizione l'SRT-50, il rapporto segnale-rumore al quale il soggetto ripete correttamente il 50% delle parole.

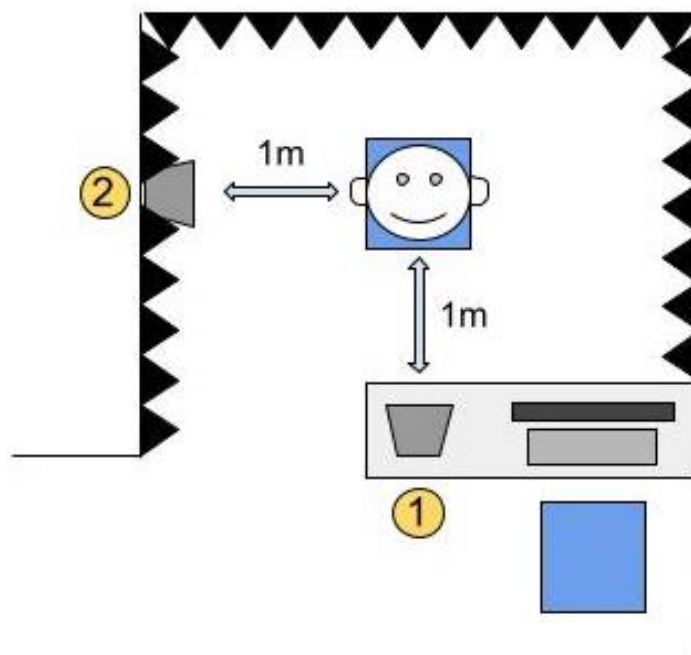


Figura 4 Condizione di test n°1 e n°2

Ecco in breve le diverse modalità di test:

- Matrix test n°1 senza AA: S0N0, frasi e rumore frontalmente al paziente dalla cassa 1;
- Matrix test n°2 senza AA: S0N+90, frasi dalla cassa 1 e rumore a sinistra dalla cassa 2;
- Matrix test n°3 senza AA: S0N-90, il paziente viene fatto girare verso la cassa 2 da cui provengono le frasi e il rumore viene inviato dalla cassa 1 alla sua sinistra. Vedi Fig. 5;

- Matrix test n°4 con AA: S0N0, frasi e rumore frontalmente al paziente dalla cassa 1;
- Matrix test n°5 con AA: S0N+90, frasi dalla cassa 1 e rumore a sinistra dalla cassa 2;
- Matrix test n°6 con AA: S0N-90, il paziente viene fatto girare verso la cassa 2 da cui provengono le frasi e il rumore viene inviato dalla cassa 1 alla sua sinistra.

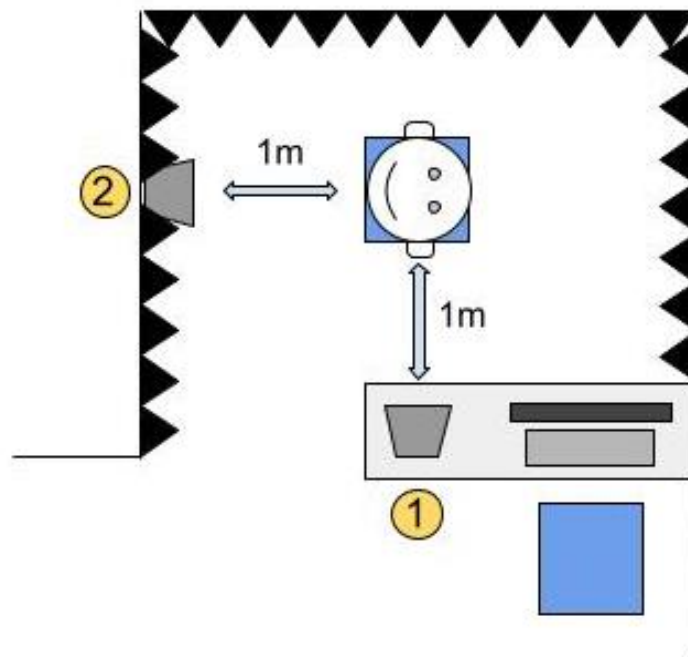


Figura 5 Condizione di test n°3

Tra le varie condizioni di test ci si può aspettare il massimo beneficio degli apparecchi acustici in quella in cui il rumore proviene dal lato dell'orecchio migliore, la situazione di ascolto più difficile per tutte le persone con ipoacusia monolaterale.

Nella situazione opposta, rumore proveniente dal lato peggiore, ci si aspetta invece che l'accensione del microfono del trasmettitore peggiorerà la comprensione del parlato.



## SSQ Test

Le diverse batterie di esami e test audiometrici a cui vengono sottoposti i soggetti ipoacusici sono misure utili per misurare il livello di udibilità in molteplici condizioni, nella quiete, nel rumore, con l'utilizzo di toni puri o materiale fonetico, non bastano però a valutare cosa comporta questa disabilità in un contesto sociale a livello soggettivo. I questionari consentono un approfondimento maggiore su come viene sperimentata la difficoltà di udito nella vita di tutti i giorni. Il test SSQ (Speech, Spatial and Quality of hearing) è un questionario relativamente nuovo che è stato sviluppato per quantificare l'esperienza soggettiva dell'ascoltatore e le sue capacità uditive spaziali in situazioni di ascolto realistiche, concentrandosi soprattutto su quelle più complicate in mancanza di binauralità. L'SSQ test è costituito da tre sottoscale che misurano la capacità di un individuo di ascoltare il parlato in una varietà di contesti (scala sulla percezione del parlato), la capacità di localizzare eventi acustici e giudicarne il movimento e la distanza (scala sulla percezione spaziale) e l'esperienza uditiva in termini di chiarezza e naturalezza del suono, percezione della musica, sforzo di ascolto e inibizione uditiva (scala sulla qualità della percezione). Questo questionario ha dimostrato di essere un metodo di valutazione valido per quanto riguarda gli aspetti binaurali dell'udito e il livello di beneficio degli apparecchi acustici bilaterali rispetto a quelli unilaterali. Molto utilizzato anche nella valutazione del funzionamento di impianti cocleari. La versione italiana prevede un totale di 49 domande, 14 nella prima parte, 17 nella seconda e 18 nella terza. Le scale di risposta partono da una valutazione di 0 (per niente) a una di 10 (perfettamente) in base a quanto il paziente riesce a svolgere una determinata azione. Se questi non si è mai ritrovato in una specifica situazione, per ogni domanda vi è la casella "non si applica al mio caso".

## **Italian Matrix Test**

L'audiometria tonale è stata utilizzata come "gold standard" per la capacità uditiva sin dagli anni '40 ed è una buona misura della menomazione. Tuttavia, l'audiogramma è uno scarso indicatore del riconoscimento vocale nel rumore (Vermiglio et al, 2012).

La vita di tutti i giorni è caratterizzata da suoni circostanti con caratteristiche diverse, comprendenti parole, rumori, musica, stimoli artificiali e naturali. La maggior parte delle persone che cercano aiuto per l'udito hanno difficoltà a comprendere le conversazioni nel rumore di fondo, in particolare quando ci sono più persone che parlano contemporaneamente (Kochkin, 2000; Gatehouse, 1999).

Sebbene tali limitazioni possano essere segnalate dal paziente, l'entità di queste non può essere prevista da misure audiometriche convenzionali come l'audiometria a tono puro o da punteggi di riconoscimento delle parole in silenzio, con o senza amplificazione (Grant & Walden, 2013). Tuttavia, il caso opposto in cui il punteggio di riconoscimento delle parole in silenzio è scarso, generalmente indica che le prestazioni nel rumore saranno inferiori (McArdle et al, 2005).

Per ottimizzare il modo in cui un ascoltatore può comunicare mentre è immerso in un ambiente sonoro complicato, sono necessari metodi accurati per il rilevamento della disabilità uditiva e la valutazione delle prestazioni dell'ascoltatore con gli apparecchi acustici. Se il soggetto ipoacusico ottiene un buon punteggio di riconoscimento delle parole in silenzio, può non replicare le sue prestazioni nel rumore di fondo. L'attività di riconoscimento di parole nel rumore aggiunge un carico cognitivo significativo, rispetto alla precedente. Una valutazione delle capacità uditive rappresentative della vita quotidiana può essere eseguita clinicamente mediante test di audiometria vocale nel rumore, soprattutto se si utilizzano materiali vocali basati su parole o frasi simili alle situazioni comunicative quotidiane. Tuttavia, sono

necessari test e procedure caratterizzati da un'elevata affidabilità test-retest, sensibilità e specificità.

Recentemente, è stato sviluppato e validato con adulti un nuovo test vocale chiamato Italian Matrix test (ITAMatrix) per misurazioni accurate e affidabili del riconoscimento vocale nel rumore. Questo test consiste in una matrice di base di 50 parole (10 nomi propri, 10 verbi, 10 numeri, 10 nomi comuni e 10 aggettivi, ad es. "Andrea manda molte sedie utili"). Da tale matrice di base vengono generate casualmente frasi semanticamente imprevedibili di una struttura grammaticale fissa. Il compito dell'ascoltatore è quello di ripetere ogni parola compresa mentre l'esaminatore segna le parole correttamente riconosciute su un display (Fig. 6).

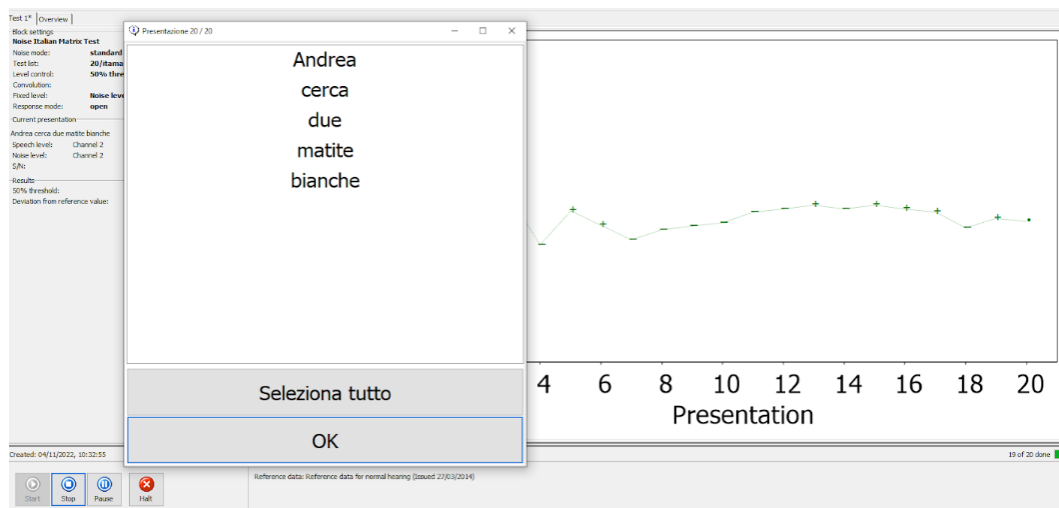


Figura 6 Matrix test in fase di svolgimento

Il Matrix test è stato sviluppato in modo comparabile per almeno 17 lingue e può essere utilizzato come strumento accurato per studi multilingue. Nel caso in cui le frasi di cinque parole fossero troppo lunghe per la valutazione del riconoscimento vocale con pazienti con capacità di memoria uditiva ridotta, esiste una versione semplificata del test composta da frasi vocali di tre parole. Prima di iniziare il test c'è la possibilità di scegliere se si dispone di più casse, quale usare per l'erogazione delle frasi e quale per il rumore.

In tutte le condizioni, il segnale mascherante è fissato a 65 dB SPL e si attiva e disattiva 500 ms prima e dopo la presentazione di ogni frase. Il rapporto segnale-rumore (SNR) varia di frase in frase in maniera adattiva in base al numero di parole ripetute correttamente dal paziente. Se questi indovina più della metà delle parole, l'intensità del materiale fonetico diminuisce e viceversa aumenta nel caso opposto, con il fine di trovare l'SNR in cui vi è un'intelligibilità del 50%. I risultati vengono infine confrontati con il valore di riferimento “-7,1 dB” che corrisponde al valore medio misurato su un campione di normoudenti (Fig. 7).

<i>Speech level</i>	<i>Test list</i>	<i>Convolution</i>
65,0 dB (Channel 2)	20/itamatrix20.18	
<i>Noise level</i>	<i>Noise</i>	<i>Noise mode</i>
65,0 dB (Channel 2)	Noise Italian Matrix Test	standard
<i>Signal-to-noise-ratio (S/N)</i>	<i>Level control</i>	
0,0 dB	50% threshold	
<i>50% threshold</i>	<i>Deviation from reference value</i>	
<b>-7,0 dB</b>	<b>0,1 dB</b>	

*Response mode: open, Fixed level: Noise level*

*Note: For measurements with adaptive level control, the speech and noise levels and S/N correspond to the respective starting levels*

*Reference data: Reference data for normal hearing (Issued 27/03/2014)*

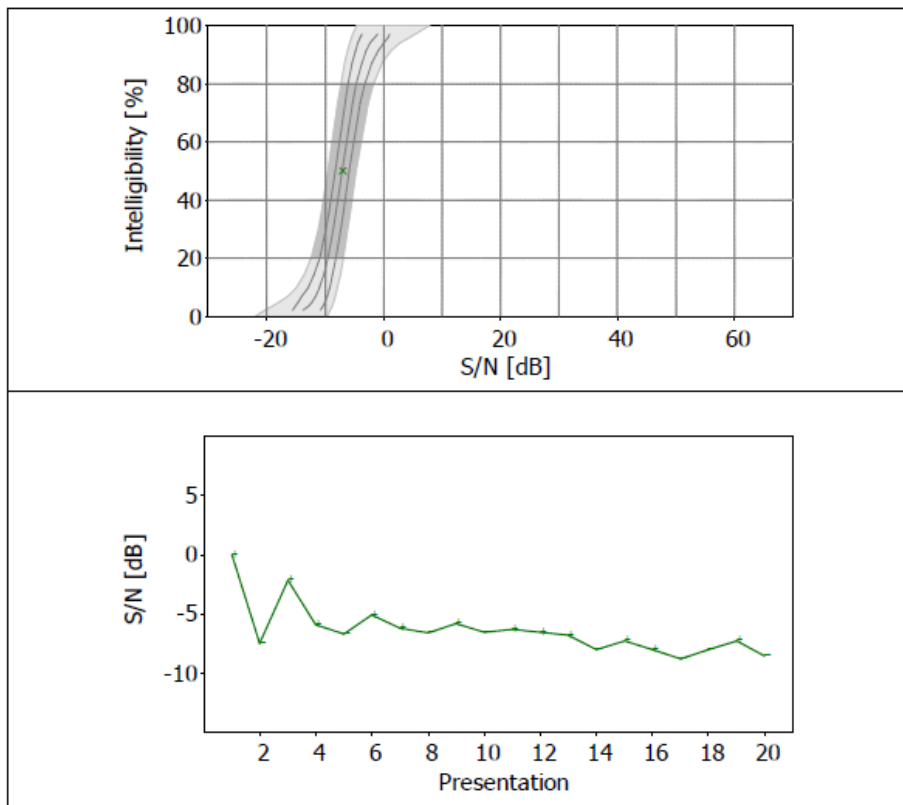


Figura 7 Esempio di risultato per una persona normoudente

## CAPITOLO III

### ANALISI DEI RISULTATI

I risultati dell'SSQ test rivelano un complessivo beneficio dei sistemi CROS e BiCROS utilizzati per quanto riguarda la percezione del parlato nelle diverse situazioni, in quanto la media delle risposte nella prima sezione del questionario risulta essere 6,9, quindi superiore alla sufficienza, i punteggi migliori sono stati dati a situazioni quali ascolto in situazioni di quiete, in caso di dialogo con una sola persona o di conversazione al telefono. In presenza di rumore di fondo, nell'impossibilità di seguire il labiale o in caso di più persone che parlano contemporaneamente la media è stata 5,7, inferiore alla precedente ma comunque vicino alla sufficienza. Per quanto riguarda la seconda sezione di domande, sulla localizzazione spaziale, la media complessiva è stata di 5,6 con punteggi migliori nei casi riguardanti la percezione della distanza del suono. Le risposte sulla localizzazione del parlato o degli stimoli sul piano orizzontale sono state troppo varie per poter parlare di efficienza o no degli ausili protesici.

Le buone condizioni degli apparecchi acustici e dei condotti uditivi dei pazienti osservati tramite otoscopia hanno permesso di eseguire i successivi test a tutti e 10 i soggetti.

Alcune persone nel corso del test hanno riferito di aver compreso tutte le parole al momento dello stimolo, ma di non ricordare più la frase per intero nell'istante successivo in cui avrebbero dovuto ripeterla.

Tutti i pazienti sono arrivati a fine test senza aver avuto bisogno di pause.

Nella prima modalità di esame, S0N0 confrontando i risultati senza AA e con (Fig. 8), si è ottenuto un guadagno medio positivo pari a 3,98 dB: i pazienti con addosso gli apparecchi acustici sono stati in grado di rispondere

correttamente il 50% delle volte a un'intensità del parlato quasi 4 dB inferiore alla prima presentazione senza ausili.

Più specificamente 0.66 dB per i pazienti con sistema CROS e 5,4 dB per i pazienti con sistema BiCROS

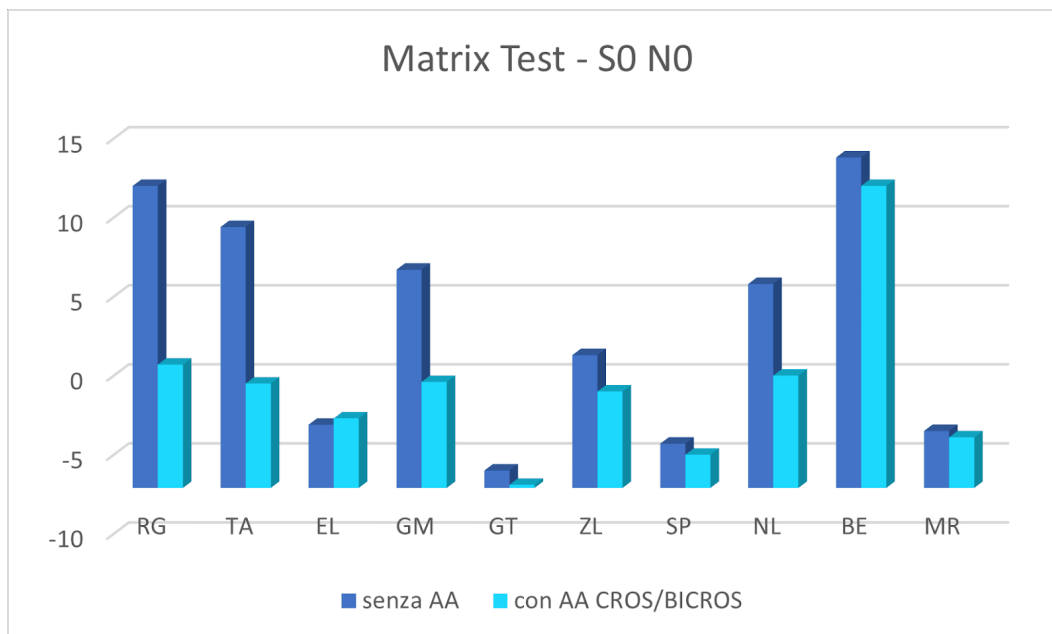


Figura 8 Confronto risultati condizione 1 e 4

Con una maggioranza di pazienti aventi il destro come orecchio peggiore si è preferito adattare i risultati di coloro che non ci sentono dalla parte sinistra. Per questi 4 pazienti sono stati scambiati i risultati della condizione 2 con quelli della condizione 3 e i risultati della condizione 4 con quelli della condizione 5 in modo da poter considerare per tutti la seconda modalità di esame la “più facile” (parlato frontale e rumore dal lato destro quindi peggiore) e la terza la “più difficile” (parlato frontale e rumore dal lato sinistro quindi migliore).

Anche nella seconda modalità di esame, S0 N+90 (lato peggiore) si è ottenuto un guadagno medio positivo pari a 1,5 (Fig. 9). Nei tre casi di sistemi CROS si è visto un risultato senza protesi (-10,1 dB) migliore rispetto al valore di riferimento -7,1 dB. In questi soggetti l'utilizzo degli apparecchi ha però

peggiolato le prestazioni con un calo di guadagno di 4,83 dB. Per i sistemi BiCROS il guadagno è rimasto positivo e pari a 4,21 dB.

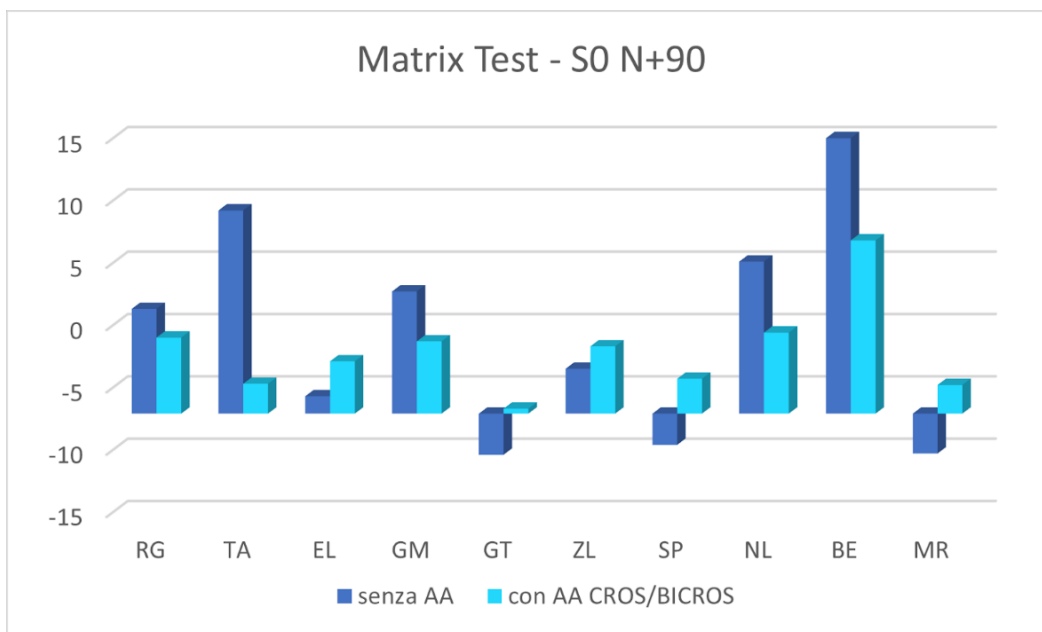


Figura 9 Confronto risultati condizione 2 e 5

Pure nella terza e ultima modalità di esame (Fig. 10), S0 N-90 (lato migliore) il guadagno ottenuto dal confronto senza AA e con è stato positivo e pari a 4,19 dB (2,17 dB per i sistemi CROS e 5,06 dB per i sistemi BiCROS)

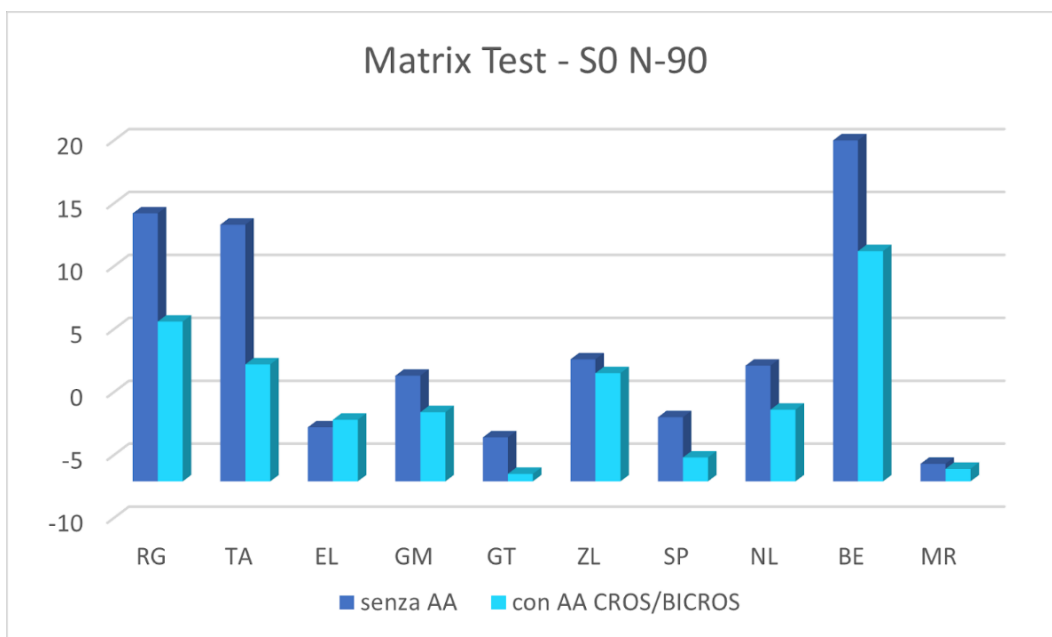


Figura 10 Confronto risultati condizione 3 e 6

Osservando i grafici possiamo quindi dire che i punteggi peggiori senza apparecchi acustici indossati sono stati ottenuti nella terza modalità, quella che era stata definita la più difficile (media totale 3,94 dB, media CROS -3,77 dB, media BiCROS 7,24 dB). Questa modalità è stata anche quella in cui, grazie all'utilizzo degli apparecchi, i soggetti hanno avuto il massimo guadagno.

Viceversa, i punteggi iniziali migliori sono stati registrati nella seconda modalità di test, quella definita come più facile (media totale -0,62 dB, media CROS -10,1 dB, media BiCROS 3,44 dB) per poi peggiorare una volta indossati gli apparecchi.



## CAPITOLO IV

### DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Questo studio riporta dal punto di vista soggettivo una generale soddisfazione nell'utilizzo degli apparecchi acustici CROS e BiCROS. Importante da ricordare è l'età media dei pazienti esaminati, trattandosi nella maggioranza di pazienti anziani oltre alla perdita uditiva entra in gioco anche, in varie misure, il decadimento cognitivo che comporta ulteriori difficoltà nella comprensione delle parole soprattutto se in competizione e, come riferito, nella loro rapida memorizzazione. Dal punto di vista pratico, si è osservato che i sistemi CROS/BiCROS hanno dato un beneficio maggiore quando il rumore è stato presentato dal lato dell'orecchio migliore e il parlato è stato presentato dal lato dell'orecchio più povero. Nel momento in cui anche l'orecchio migliore può essere considerato "fuori uso" si vede l'efficienza dei sistemi nel captare il segnale opposto, in questo caso utile e di trasmetterlo all'orecchio buono eliminando l'effetto ombra della testa, il quale con l'allenamento può in qualche modo ristabilire l'abilità della liberazione dal mascheramento. Quando il rumore è stato però presentato dal lato dell'orecchio più povero e il parlato dal lato dell'orecchio migliore, CROS si è comportato costantemente in modo più scadente che senza aiuto. Eventuali miglioramenti nell'intelligibilità sono stati dovuti solamente all'amplificazione in sé dell'apparecchio acustico nel lato migliore nel caso di BiCROS.

Le prestazioni peggiori si verificano perché il trasmettitore trasferisce il rumore indesiderato (addirittura amplificato a seconda dei sistemi) all'apparecchio acustico nell'orecchio migliore, il che provoca un'interferenza con il segnale vocale desiderato. Molto utile in questi casi è la possibilità di incorporare un interruttore on-off sul lato del trasmettitore nei nuovi

dispositivi (senza il bisogno di togliere l'apparecchio) per consentire ai pazienti di spegnerlo in ambienti di ascolto difficili.

Sono stati riscontrati buoni risultati nel ripristino della binauralità anche in termini di ridondanza binaurale (prima modalità), infatti grazie alla presenza di un microfono in più sul lato peggiore il paziente ora può ricevere lo stesso messaggio due volte.

Le buone risposte ottenute nel questionario SSQ hanno trovato conferma nei risultati del Matrix test. Questi ultimi combaciano anche con le aspettative iniziali. Possiamo quindi definire questa tipologia di esame, condotto secondo queste precise modalità, come un buon metodo per la valutazione dell'efficacia dei sistemi CROS e BiCROS.

Non è possibile ripristinare in maniera totale tutti i vantaggi dell'elaborazione binaurale, ma questi dispositivi riescono ad eliminare molto bene l'effetto ombra della testa, fornendo l'udibilità necessaria per una comunicazione efficace in situazioni più o meno difficili. E sorprendentemente, sebbene i segnali vengano trasmessi a un solo orecchio, questa tecnologia permette, in qualche caso, di migliorare la localizzazione uditiva per i pazienti che si sono abituati a questo tipo di adattamento. Con una media totale positiva dei risultati possiamo affermare che la scelta e l'applicazione di dispositivi CROS e BiCROS, quindi, deve essere considerata come un'opzione di trattamento più che valida per i pazienti con un'ipoacusia unilaterale.

## BIBLIOGRAFIA

Avan P, Giraudet F, Buki B. 2015 Importance of binaural hearing, *Audiology & Neurotology*, 3-6, DOI: 10.1159/000380741

Baguant A, Schmerber S, Baguant K, Quatre R. 2022 Binaural squelch effect in unilateral otosclerosis surgery: comparison of speech intelligibility in noise before-after surgery, *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 279, 1301-1310, DOI: 10.1007/s00405-021-06797-3

BSA 2019, Assessment of speech understanding in noise in adults with hearing difficulties, Practice Guidance, Speech in Noise tests, British Society of Audiology, 2019.

Gelfand SA, 1979 Usage of CROS hearing aids by unilaterally deaf patients, *Arch Otolaryngol*, Vol. 105, 328-332

Genovese E, Monzani D, Berloco P, Scimemi P, Totaro MG. 2013 Percezione verbale nel rumore e beneficio soggettivo nell'adulto ipoacusico candidato all'utilizzo del sistema CROS o BiCROS wireless, *Research Unipd*. Abstract disponibile online all'indirizzo:  
<https://www.research.unipd.it/handle/11577/2684535?mode=complete>

Hoppe U, Hast A, Hocke T. 2022 Speech perception in bilateral hearing aid users with different grades of asymmetric hearing loss, *Frontiers in Neuroscience*, Vol. 15, DOI: 10.3389/fnins.2021.715660

Jolya C, Reynard P, Mezzi K, Bakhos D, Bergeron F, Bonnard D, Borel S, Bouccara D, Coez A, Dejean F, Del Rio M, Leclercq F, Henrion P, Marx M, Mom T, Mosnier I, Potier M, Renard C, Roy T, Sterkers-Artières F, Venail F, Verheyden P, Veuillet E, Vincento C, Thai-Van H. 2022, Guidelines of

the French Society of Otorhinolaryngology-head and neck surgery (SFORL) and the French Society of Audiology (SFA) for speech-in-noise testing in adults, *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and Neck diseases*, 139, 21-27

Oeding K, Valente M. 2013 Sentence recognition in noise and perceived benefit of noise reduction on the receiver and transmitter sides of a BiCROS hearing aid, *Journal of the American Academy of Audiology*, Volume 24, Number 10, 980-991, DOI: 10.3766/jaaa.24.10.9

Petrausch S, Manders A, Jacobus K. 2016 A New Wireless CROS and BiCROS Solution, *Canadian Audiologist* - vol.3 – num. 4. Disponibile online all'indirizzo: <https://canadianaudiologist.ca/issue/volume-3-issue-4/a-new-wireless-cros-and-bicross-solution/>

Puglisi GE, Di Bernardino F, Montuschi C, Sellami F, Albera A, Zanetti E, Albera R, Astolfi A, Kollmeier B, Warzybok A. 2021 Evaluation of italian simplified Matrix test for speech-recognition measurements in noise, *Audiology Research*, 11, 73-88 <https://doi.org/10.3390/audiolres11010009>

Risound M, Hanson JN, Gauvrit F, Renard C, Lemesre PE, Bonne NX, Vincent C, 2018 Sound source localization, *European Annals of Otorhinolaryngology, Head and neck diseases*, 135, 259-264

Singh G, Pichora-Fuller KM, 2010 Older adults' performance on the speech, spatial, and qualities of hearing scale (SSQ): Test-retest reliability and a comparison of interview and self-administration methods, *International Journal of Audiology*, 49, 733-740

Upfold LJ 1980 The evaluation of Cros aids with the unilateral listener, Scandinavian Audiology, 9:2, 85-88, DOI: 10.3109/01050398009076340

Williams VA, McArdle RA, Chisolm TH. 2012 Subjective and objective outcomes from new BiCROS technology in a veteran sample, Journal of the American Academy of Audiology, Volume 23, 789-806 DOI: 10.3766/jaaa.23.10.5

## **ICONOGRAFIA**

Figura 1

<https://www.comunicareapparecchiacustici.it/wp-content/uploads/2020/03/apparecchi-CROS-400x400.png>

Figura 2

<https://www.comunicareapparecchiacustici.it/wp-content/uploads/2020/03/apparecchi-BICROS-400x400.png>

Figura 3

<https://canadianaudiologist.ca/wp-content/uploads/2016/07/Figure-1-1.jpg>