

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

**Symphonia Inventis come strumento di valutazione
della localizzazione spaziale: validazione di un
protocollo applicativo**

Relatore: Prof.ssa Laura Astolfi

Correlatore: Dott.ssa Giulia Bragante

Laureanda:
Micol Cavina

ANNO ACCADEMICO 2022/2023

INDICE

1	INTRODUZIONE	1
1.1	Come l'essere umano localizza i suoni	1
1.1.1	Breve anatomia e fisiologia dell'orecchio esterno, medio e interno	1
1.1.1.1	Orecchio esterno	2
1.1.1.2	Orecchio medio	2
1.1.1.3	Orecchio interno	3
1.1.2	Il percorso uditivo e la corteccia	5
1.2	Localizzazione spaziale	6
1.2.1	I tre principali parametri della localizzazione del suono	7
1.3	Ipoacusia e localizzazione spaziale	10
1.4	Apparecchi acustici e microfoni direzionali	10
1.4.1.1	Microfoni Omnidirezionali	13
1.4.1.2	Microfoni Direzionali	14
1.5	Symphonia come strumento di counseling	15
2	SCOPO	18
3	MATERIALI E METODI	19
3.1	Partecipanti	19
3.2	Test audiologici	19
3.3	Protocollo di implementazione dello strumento Symphonia	20
3.3.1	Analisi statistica	21
4	RISULTATI E DISCUSSIONE	22
4.1.1.1	Normoudenti	22
4.1.1.2	Ipoacusici	24
4.1.1.3	Ipoacusici portatori di apparecchio acustico	26
4.1.1.4	Confronto delle performance tra i tre gruppi in esame	28
5	CONCLUSIONI	32
6	BIBLIOGRAFIA	34
7	APPENDICI	37
1.	Appendice 1	37
2.	Appendice 2	38

1 INTRODUZIONE

1.1 Come l'essere umano localizza i suoni

1.1.1 Breve anatomia e fisiologia dell'orecchio esterno, medio e interno

L'apparato uditivo ha il compito di ricevere le onde sonore create dalla vibrazione di corpi elastici. Queste vibrazioni vengono inviate ai liquidi labirintici e alle relative membrane nelle quali avviene la trasformazione da energia meccanica ad energia bioelettrica. In seguito si compie la propagazione dell'energia nervosa, che viaggiando dalla periferia ai centri uditivi, attraversa il nervo cocleare e le vie uditive centrali ottenendo così la percezione sonora nella corteccia temporale. Rispettivamente a queste funzioni è possibile descrivere due apparati: quello periferico, atto alla ricezione dello stimolo sonoro, composto da orecchio esterno, medio e interno; quello centrale, a cui corrisponde l'elaborazione del suono, composto da le vie uditive centrali e le specifiche regioni della corteccia uditiva [1].

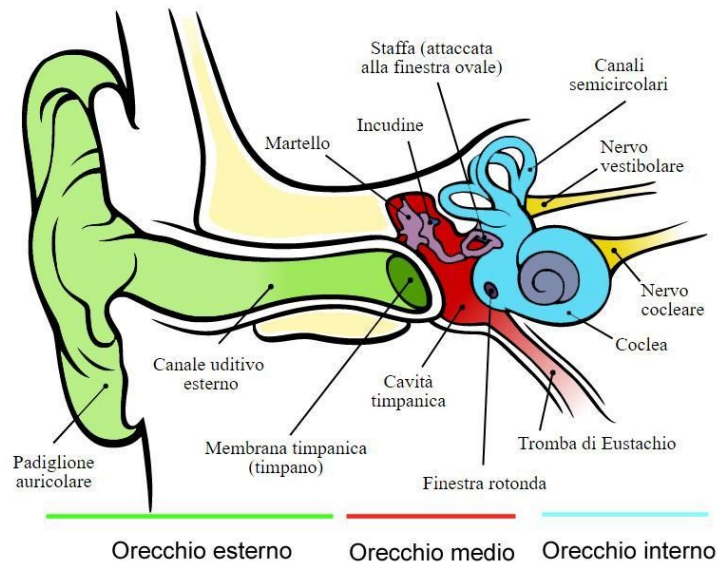


Fig.1 Rappresentazione anatomica dell'orecchio esterno, medio e interno (modificato da Brockmann, 2013[2])

1.1.1.1 Orecchio esterno

L'orecchio esterno è organizzato in tre regioni anatomiche: il padiglione auricolare o pinna, il condotto uditivo esterno ed il lato esterno della membrana timpanica (Figura 1). La pinna è fondamentale per la localizzazione delle sorgenti sonore sul piano frontale-verticale, anche grazie ai rilievi ed ai solchi da cui è formata. Le frequenze superiori a 4kHz dei suoni più complessi sono utili alla localizzazione e direzionalità del suono sul piano verticale, consentendo una discreta individuazione del segnale anche nei casi di anacusia monolaterale [4].

Il condotto uditivo esterno (CUE) è un canale a fondo cieco che termina con la membrana timpanica. Per due terzi presenta una struttura formata da tessuto cartilagineo e per un terzo da tessuto osseo; il tutto è rivestito da un tessuto epiteliale che presenta peli e ghiandole ceruminose. Le dimensioni e la forma del condotto sono molto variabili, ma mediamente misura dai ventidue ai venticinque millimetri [1,3,4].

L'orecchio esterno fornisce protezione all'orecchio medio e interno e garantisce un equilibrio continuo di pressione e temperatura. Esso è deputato alla ricezione, trasmissione, amplificazione delle onde acustiche ed alla localizzazione della sorgente sonora. Questa prima parte della via uditiva ha la capacità di aumentare per risonanza la pressione sonora fino a 15-20 dB per una banda di frequenze compresa tra i 2500 a 6000 Hz, con picco di risonanza a 5500 Hz [1,3,4].

1.1.1.2 Orecchio medio

L'orecchio medio è formato dalla membrana timpanica, dalla cassa del timpano, dalla catena ossiculare, dalla cavità antro-mastoidea e dalla tuba di Eustachio (Figura 1). La membrana timpanica separa il condotto uditivo esterno dalla cassa del timpano ed è unita al manico del martello; quest'ultimo insieme a incudine e staffa forma la catena ossiculare. La cassa timpanica è una cavità di circa 2 cm³, posizionata nell'area petrosa

dell'osso temporale. Nella porzione posteriore si trova la finestra ovale o finestra vestibolare. Più in basso origina anche la finestra rotonda, chiusa dalla membrana timpanica secondaria, che corrisponde alla rampa timpanica del giro basale della chiocciola. La tuba di Eustachio è un canale che mette in comunicazione la cassa del timpano con il rinofaringe [1,3,4].

La funzione principale dell'orecchio medio è quella di creare un bilanciamento di impedenza dal mezzo aereo a quello liquido, ovvero tra la membrana timpanica ed i liquidi dell'orecchio interno. Questo processo serve per aumentare la pressione del suono trasmesso così da ridurre la velocità di trasmissione favorendo l'ingresso di maggiore energia nella finestra ovale [1,3,4].

1.1.1.3 Orecchio interno

L'orecchio interno è situato nello spessore della rocca petrosa dell'osso temporale. È costituito dagli organi dell'equilibrio e dell'udito (Figura 1). Una serie di cavità ossee comunicanti l'una con l'altra formano il labirinto osseo, all'interno del quale sono incluse altre cavità più piccole che corrispondono al labirinto membranoso. Entrambi i sistemi labirintici sono pieni di liquidi: rispettivamente perilinfina ed endolinfina [1,3,4].

Gli organi deputati al controllo dell'equilibrio sono il vestibolo ed i canali semicircolari, i quali si trovano nel labirinto osseo (Figura 1). Il vestibolo contiene l'utricolo e il sacco, mentre i tre canali semicircolari terminano nelle creste ampollari. Il labirinto membranoso è formato dalle corrispondenti regioni del vestibolo e dei canali semicircolari membranosi.

L'organo uditivo interno è costituito dalla coclea, che contiene l'organo sensoriale deputato alla ricezione delle onde sonore. La coclea o chiocciola ha la forma di una conchiglia ed è formata dal canale spirale osseo e dal modiolo attorno al quale si avvolge, compiendo quasi tre giri. La coclea è divisa in lunghezza fino al modiolo da tre scale: la scala timpanica che termina con la finestra rotonda, la scala vestibolare che termina con la finestra ovale e la scala media dove si trova l'organo del Corti. La scala timpanica e la scala vestibolare si trovano a delimitare le regioni superiore ed inferiore della scala media

e all'apice della coclea si fondono a formare l'elicotrema. La scala media è delimitata da due membrane, quella basilare e quella di *Reissner*, rispettivamente in comunicazione con la scala timpani e la scala vestiboli [3].

All'interno della coclea l'energia meccanica è trasformata in impulsi elettrici che grazie al nervo acustico vengono inviati al cervello. L'organo del Corti, che è fondamentale per questo processo, è un neuroepitelio costituito da cellule sensoriali uditive e cellule di sostegno. Le cellule sensoriali, che posano sulla membrana basilare, sono di due tipi, cellule ciliate interne (CCI) e cellule ciliate esterne (CCE). I loro nomi derivano dalla loro posizione rispetto al modiolo: le interne sono prossime all'asse cocleare, le esterne sono rivolte verso la periferia dell'organo. L'organo del Corti è coperto dalla membrana tectoria nella quale sono immerse le punte delle stereociglia delle CCE (Figura 2). Sulla parte esterna della scala media si trova la stria vascolare che ha il compito di produrre endolinfa e di mantenere un potenziale elettrico positivo, relativamente alla perilinfa, così da creare una sorta di "batteria" necessaria per generare gli impulsi nervosi [3].

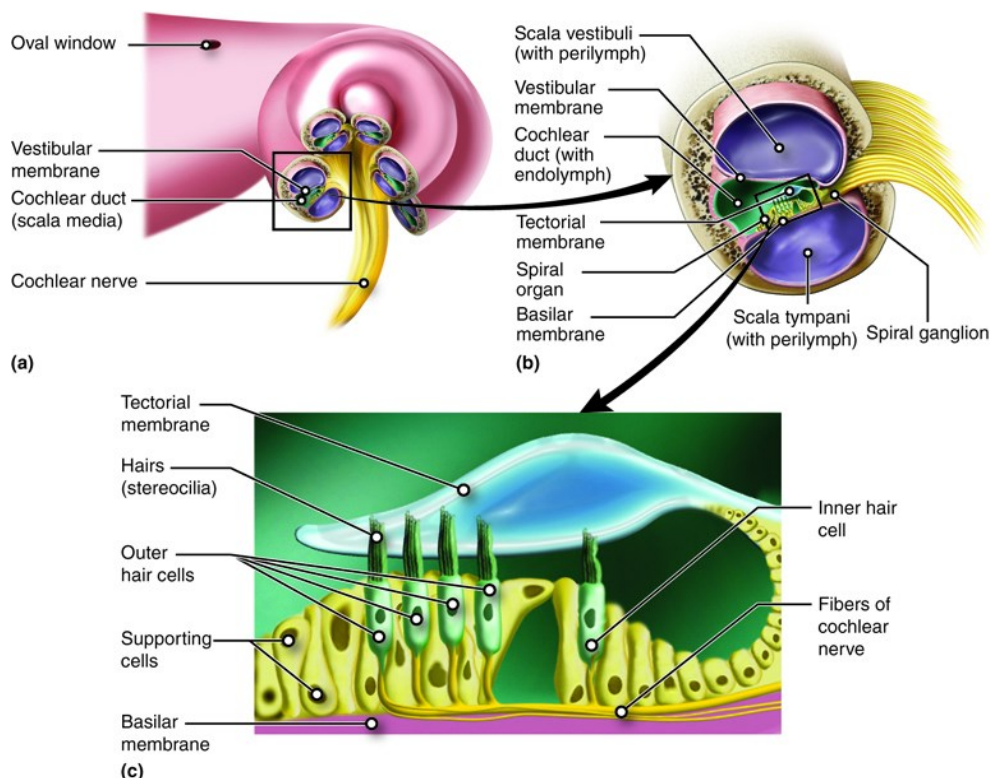


Fig. 2. Anatomia della Coclea (immagine modificata da Cenveo, 2022)[5]

1.1.2 Il percorso uditivo e la corteccia

Quando dalla staffa l'energia meccanica arriva alla coclea, la membrana basilare inizia a muoversi. Questo movimento viene descritto come onda viaggiante. In base alla frequenza del suono in ingresso l'onda viaggiante raggiunge esattamente il suo punto massimo all'interno della coclea. Alla base la membrana basilare è stretta e rigida e più ampia e cedevole verso l'apice. Grazie a queste caratteristiche fisiche gli spostamenti dell'onda viaggiante per i suoni acuti avvengono vicino alla base e per quelli gravi vicino all'apice. [6]

Questo sistema consente ai segnali neurali forniti dalla coclea di essere elaborati all'interno del sistema uditivo centrale. Le fibre del nervo acustico hanno il soma nel ganglio spirale della coclea ed esse vengono depolarizzate dalle CCI e CCE che trasmettono le informazioni in corrispondenza alle diverse regioni della membrana basilare stimulate. Il sistema uditivo centrale è caratterizzato sette fondamentali stazioni dove si elaborano i pattern neurali: i nuclei cocleari nel bulbo, il complesso olivare superiore, i nuclei del lemnisco laterale, il collicolo inferiore, il collicolo superiore, il corpo genicolato mediale ed infine la corteccia uditiva. L'elaborazione nel nucleo olivare superiore è importante per la localizzazione binaurale perché è qui che si trovano le strutture subcorticali ed è qui che i segnali dell'orecchio sinistro e destro si incontrano. [6].

Dalla corteccia uditiva primaria le informazioni vengono trasferite all'emisfero cerebrale controlaterale attraverso il corpo calloso. I pattern neurali caratterizzati da informazione linguistica sono trasferiti all'emisfero dominante, dove il linguaggio viene codificato. Il percorso della via uditiva dal nervo alla corteccia è organizzato in maniera tonotopica, ovvero, i neuroni sono orientati in modo da preservare l'ordinamento della scala di frequenza [6].

1.2 Localizzazione spaziale

L'attivazione delle fibre di nervi nella coclea si basa sulle componenti di frequenza dei toni e non sulla provenienza spaziale dei toni. Questo significa che due toni con la stessa frequenza che provengono da diversi luoghi attiveranno le stesse cellule ciliate e fibre di nervi nella coclea. Il sistema uditivo deve pertanto usare altre informazioni per determinare la posizione della sorgente sonora [1,7,8].

Secondo la teoria duplex, i parametri in base ai quali l'uomo effettua la localizzazione di sorgenti sonore sono di tipo interaurale, cioè dovuti all'influenza della testa sul segnale in arrivo alle due orecchie. Essa si basa sul fatto che la principale differenza tra le due orecchie è che esse non si trovano nella stessa posizione. Avendo l'essere umano due orecchie separate dal cranio significa che, per i suoni fuori dalla linea mediana, esistono delle differenze di lunghezza nel percorso dalla sorgente sonora a ciascun orecchio. Grazie a questo si ottiene una differenza nel tempo di arrivo e di intensità del suono a ciascun orecchio [1,7,8].

Le caratteristiche che influenzano la localizzazione spaziale della sorgente sonora sono: la posizione rispetto all'ascoltatore, la presenza di una o più sorgenti sonore e la possibilità che tali sorgenti possano essere in movimento rispetto all'ascoltatore, facendo variare così le caratteristiche del suono nel tempo. Sono molto rilevanti anche le caratteristiche dell'ascoltatore: la capacità uditiva monoaurale o binaurale, la conformazione del padiglione auricolare, i movimenti della testa e del tronco [1,7,8].

Ci sono due tipi di segnali di riferimento: binaurali, ovvero che dipendono da entrambe le orecchie, e monoaurali, dipendenti da un orecchio solo. Le persone normoacusiche possono localizzare i suoni in tre dimensioni: l'azimut, che si estende da sinistra verso destra, l'elevazione che si estende dall'alto verso il basso e la distanza della sorgente sonora dall'ascoltatore (Figura 3) [1,7,8].

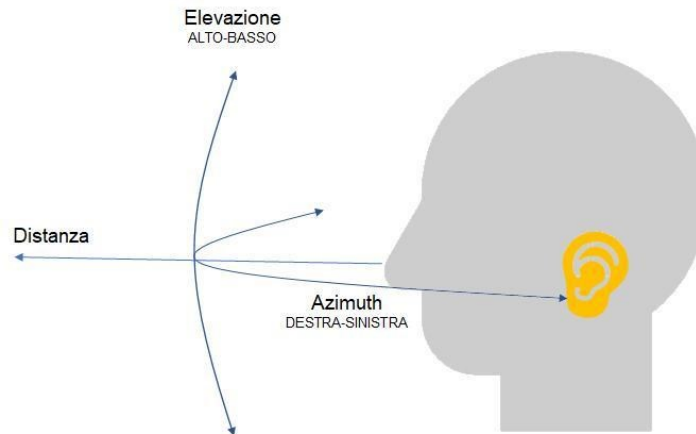


Fig. 3. Rappresentazione grafica delle caratteristiche tridimensionali della localizzazione della sorgente sonora: azimuth, elevazione e distanza

L'essere umano si serve inoltre di tre parametri per la localizzazione spaziale dei suoni:

- Differenza interaurale di tempo, ITD (*Interaural Time Difference*)
- Differenza interaurale di livello, ILD (*Interaural Level Difference*)
- Funzione di riferimento riferita alla testa, HRTF (*Head-Related Transfer Function*) [9]

1.2.1 I tre principali parametri della localizzazione del suono

I parametri fondamentali per la localizzazione spaziale nel piano azimutale sono l'ITD e l'ILD. Essi riflettono direttamente la loro posizione rispetto alla sorgente. La differenza di tempo del segnale che giunge alle due orecchie (ITD) è causata dal differente percorso che l'onda sonora effettua per andare dal punto in cui si trova la sorgente fino alle due orecchie. Un suono proveniente dalla sinistra dell'ascoltatore giungerà prima all'orecchio sinistro e poi all'orecchio destro con un certo ritardo di fase [9].

In riferimento alla natura periodica del suono i segnali ad alta frequenza si manifestano con la medesima fase in tempi più brevi. Per questo motivo i suoni ad elevata frequenza arrivano ad entrambe le orecchie con la stessa fase indipendentemente dalla distanza della

sorgente. Di conseguenza la discriminazione attraverso l'ITD è più efficiente per suoni a bassa frequenza. Nello specifico la corretta localizzazione dei toni puri è limitata alle frequenze al di sotto di 1.5 kHz, pertanto a partire da questa frequenza diventa determinante l'ILD [9].

L'ILD è la differenza interaurale di livello. Essa utilizza la differenza di intensità dell'onda sonora che arriva alle due orecchie per localizzare la sorgente. Se quest'ultima si trova sul piano azimutale ad un angolo di $+90^\circ$ (cioè a destra dell'ascoltatore) produrrà un segnale che non solo arriverà prima all'orecchio destro ma verrà anche percepito con un'intensità maggiore rispetto al suono che arriva all'orecchio sinistro, il quale verrà attenuato mentre attraversa la testa [9].

Il grande contributo dell'ILD nel processo di localizzazione per le frequenze superiori a 1.5 kHz è causato dal fatto che nell'intorno di tale frequenza la lunghezza d'onda diventa comparabile con la distanza tra le due orecchie. Ciò significa che i suoni a frequenza inferiore (che hanno una lunghezza d'onda maggiore) possono oltrepassare la testa senza subire modifiche, arrivando perciò alle due orecchie con la stessa intensità. Per i suoni a bassa frequenza, quindi, l'ILD non è efficace alla localizzazione [9]. Quindi nella localizzazione spaziale sul piano azimutale per i suoni a bassa frequenza è più influente l'ITD, mentre per i suoni ad alta frequenza l'ILD [9].

Per questioni geometriche se si ipotizza una testa perfettamente sferica, sia ITD che ILD dipenderanno esclusivamente dalla posizione della sorgente sul piano azimutale. Ciò significa che, fissati l'angolo di azimuth e la distanza della sorgente, tutte le posizioni corrispondenti a diversi angoli di elevazione danno origine ad eguali differenze di tempo e di livello tra le due orecchie. Dall'evidenza sperimentale si è visto che un ascoltatore reale è in grado di risolvere l'ambiguità fronte-retro. grazie all'abilità di ascolto monoaurale, basata sulla colorazione spaziale del suono, o semplicemente sul filtraggio prodotto dal canale uditivo e dal padiglione. La localizzazione monoaurale è stata ipotizzata da Angell nel 1901 ed i risultati mostrano che la localizzazione monoaurale è possibile sia in azimuth che in elevation. Nella localizzazione monoaurale, la percezione azimutale è piuttosto limitata se la si compara con la localizzazione binaurale, mentre per

quanto riguarda l'accuratezza della localizzazione verticale, questa è solo lievemente inficiata dall'utilizzo di un solo orecchio [9].

Evidenze sperimentali suggeriscono che le variazioni di ampiezza e di fase consentono all'organo dell'udito di stimare la posizione della sorgente acustica in tutte le dimensioni spaziali sia mono che binauralmente. Al fine di caratterizzare tali fenomeni, sono state misurate le funzioni di trasferimento tra la sorgente e un preciso punto del condotto uditivo per vari angoli di incidenza del suono e si è tentato successivamente, analizzando i dati raccolti, di scoprire le regole e le relazioni che descrivono la percezione spaziale. A tali funzioni di trasferimento è stato dato il nome di *Head-Related Transfer Functions* (HRTF) [9].

La funzione di trasferimento riferita alla testa (HRTF) è data dal rapporto tra lo spettro frequenziale della sorgente sonora e il suono che arriva al timpano. I padiglioni auricolari, la testa ed il tronco modificano lo spettro sonoro in base all'angolo d'incidenza dell'onda sonora. Questa funzione è fondamentale per capire se un suono si trova davanti o dietro, in alto o in basso rispetto all'ascoltatore. È importante notare che più ci si allontana dalla posizione frontale e più si verificano alcuni effetti tra cui:

- un aumento del guadagno della regione di frequenze 4-6 kHz causato da un coinvolgimento maggiore della conca ad un angolo pari a 45°;
- un aumento del guadagno della risposta per frequenze maggiori di 6 kHz.

Lo studio congiunto condotto da *Vast Audio Pty Ltd* di Sydney e dell'*Auditory Neuroscience Laboratory* dell'Università di Sydney stabilisce un chiaro legame tra le alte frequenze, lo *spatial hearing* (cioè un ascolto in grado di cogliere l'informazione spaziale della scena uditiva e di separare percettivamente più sorgenti sonore concorrenti) e la difficoltà di comprensione in presenza di rumore interferente e quantifica in circa 5 dB il vantaggio in SRT che deriva dalla localizzazione monoaurale che tiene conto dell'informazione spettrale del suono e dell'operazione di filtraggio operata dal padiglione auricolare. In conclusione si sottolinea l'importanza delle frequenze superiori a 4 kHz nel contribuire all'intelligibilità della voce ed alla localizzazione del suono [1-9].

1.3 Ipoacusia e localizzazione spaziale

L'ipoacusia interferisce con i meccanismi di percezione binaurale, così da comportare una grande difficoltà nel localizzare la posizione della sorgente sonora, anche quando i livelli di ascolto sono al di sopra della soglia di minima udibilità. Nei normoudenti lo spostamento del segnale dalla posizione frontale (azimut 0°) alla posizione laterale (90°) causa un miglioramento della prestazione, con rapporto s/r, che da circa 0 dB passa a -5dB. Una perdita trasmissiva monolaterale di circa 30 dB HL causa un peggioramento della prestazione sia nella posizione frontale che nella posizione laterale: il rapporto s/r passa frontalmente da 0 a +2 dB e lateralmente da -5 a -1 dB [4].

Gli adulti ipoacusici spesso dimostrano una ridotta capacità di localizzazione del suono e riferiscono che le situazioni che richiedono questa abilità sono particolarmente difficili, come ad esempio gli ambienti molto rumorosi. Quando l'ipoacusia diventa più grave, ovvero all'incremento del PTA, gli ascoltatori hanno maggiori difficoltà a localizzare le sorgenti sonore [10].

Affinché questa capacità si manifesti senza compromissione, sono indispensabili l'efficacia del funzionamento delle vie uditive del sistema nervoso centrale e della corteccia, nonché un'adeguata sensibilità uditiva in entrambe le orecchie. La stimolazione attraverso la protesizzazione acustica è il modo migliore per attivare il più possibile la plasticità cerebrale, al fine di stimolare il sistema uditivo, cercando di preservare la capacità uditiva residua. Tra i vantaggi dell'adattamento protesico, il ripristino della funzionalità binaurale diminuisce lo sforzo percettivo, poiché lo stimolo presentato alle due orecchie è percepito con maggiore intensità [10].

1.4 Apparecchi acustici e microfoni direzionali

La protesizzazione acustica è necessaria quando l'ipoacusia, irrisolvibile attraverso un trattamento medico o chirurgico, compromette l'intelligibilità verbale e quindi le relazioni sociali del paziente. L'obiettivo della protesizzazione è fornire al sistema uditivo centrale

il massimo possibile di informazione acustica, al fine di compensare la perdita di informazione causata dalla perdita uditiva [4].

Ogni apparecchio acustico è caratterizzato principalmente da: un microfono, un amplificatore, un ricevitore, detto anche altoparlante ed una batteria (Figure 4,5) [6].

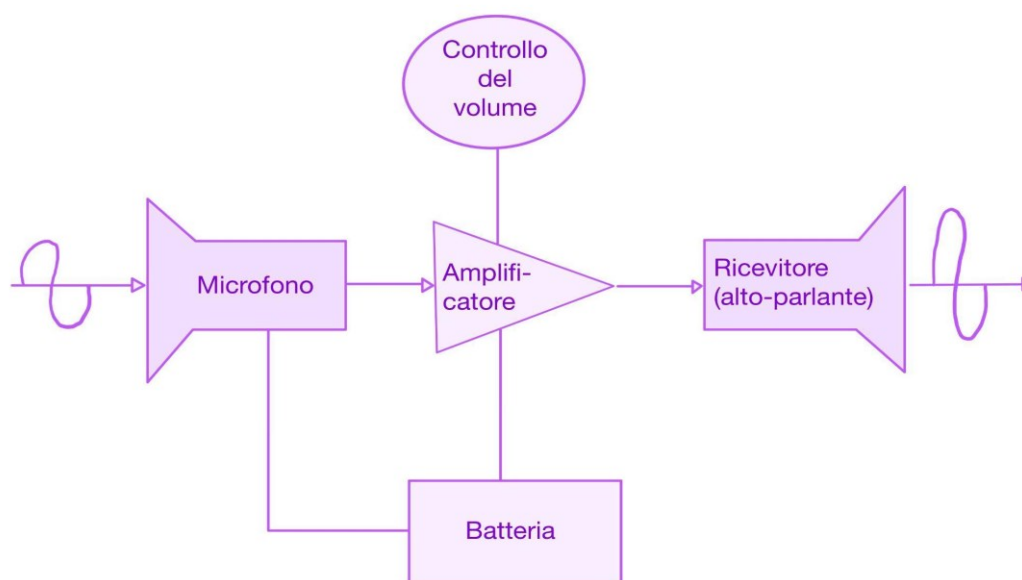


Fig. 4. Diagramma riassuntivo che raffigura l'insieme dell'apparecchio acustico con le principali componenti

Gli apparecchi acustici moderni sono realizzati in diversi modelli. La scelta del modello va valutata sulla base di diversi fattori, quali il grado dell'ipoacusia, la dimensione dell'orecchio e del condotto uditivo, l'abilità del paziente nel gestire l'apparecchio e, ovviamente, le sue esigenze e preferenze. I modelli di apparecchi acustici possono essere divisi in tre categorie:

- ❖ BTE (Behind The Ear)
- ❖ ITE (In The Ear)

❖ CROS (Controlateral Routing Offside Signals)

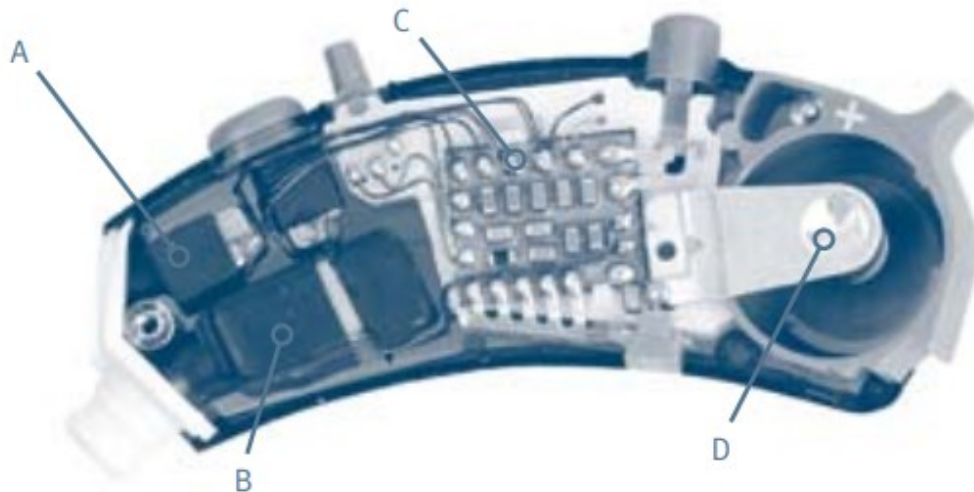


Fig. 5. Componenti principali di un apparecchio acustico BTE: microfono (A), ricevitore (B), amplificatore/processore del segnale (C) e vano portabatteria (aperto) (D) (immagine modificata Verdecchia, 2007[6])

Il microfono capta i suoni ambientali e li fornisce all'amplificatore/processore del segnale, dove vengono amplificati. Il segnale amplificato viene infine inviato al ricevitore che presenterà il suono all'orecchio. Il suono viene amplificato in base alle necessità uditive della persona ipoacusica ed alle impostazioni del suo apparecchio [6].

Esistono i seguenti tipi di apparecchi: analogici, programmabili digitalmente e apparecchi acustici completamente digitali. La tecnologia digitale consente l'uso di microfoni direzionali e diversi algoritmi di compressione con lo scopo di ottimizzare la qualità del suono e l'intelligibilità del parlato. I microfoni attraverso degli algoritmi sono in grado di distinguere i segnali del rumore dai segnali del parlato. Il segnale del rumore viene identificato e quindi attenuato. I suoni del parlato possono essere esaltati riducendo al

tempo stesso la componente di rumore [3] [6].

Componenti e funzioni chiave di un apparecchio acustico:

- ❖ Ingresso dell'apparecchio acustico
- ❖ Conversione dall'analogico al digitale
- ❖ Amplificazione ed elaborazione del segnale
- ❖ Conversione dal formato digitale a quello analogico
- ❖ Uscita del ricevitore
- ❖ Batteria e vano portabatteria

Il trasduttore in ingresso di un apparecchio acustico è generalmente il microfono. Esso rileva i suoni ambientali per convertirli in segnali elettrici. Il microfono dell'apparecchio acustico è essenzialmente un diaframma in grado di convertire l'energia acustica in segnale elettrico. Questo diaframma vibra in risposta alla condensazione ed alla rarefazione delle molecole d'aria del suono in ingresso. La vibrazione, crea un segnale elettrico che corrisponde in ampiezza, frequenza e fase al segnale acustico. Il segnale elettrico viene pre-amplificato per poi essere elaborato dai circuiti elettronici dell'apparecchio acustico [6].

Il controllo della direzionalità è esercitato dal sistema-microfono, che oltre a garantire una migliore localizzazione delle sorgenti sonore, si è dimostrato molto efficace nel migliorare l'ascolto in condizioni rumorose [3].

I microfoni degli apparecchi acustici possono essere distinti in due categorie:

1. Omnidirezionali – hanno la stessa sensibilità per tutti i suoni che provengono da ogni direzione (sono i più utilizzati).
2. Direzionali – hanno una sensibilità maggiore per i suoni che provengono da una determinata direzione. In genere vengono impiegati per ottimizzare l'intelligibilità del parlato negli ambienti rumorosi.

1.4.1.1 Microfoni Omnidirezionali

I microfoni omnidirezionali sono i più comunemente utilizzati. Essi sono integrati negli apparecchi acustici che non offrono direzionalità e nei modelli Completamente Interni al Canale (CIC), che hanno spazi interni molto limitati per via delle loro piccole dimensioni. Questo tipo di microfono riceve con la stessa sensibilità il suono che proviene da tutte le direzioni, adottando uno schema con direzionalità circolare. La sua caratteristica è di avere la stessa sensibilità verso i suoni che provengono da tutte le direzioni [6].

1.4.1.2 Microfoni Direzionali

Il microfono direzionale migliora il rapporto segnale rumore del suono che proviene frontalmente rispetto alla persona che indossa l'apparecchio. I microfoni direzionali sono utilizzati nei modelli BTE e ITE, in quanto sono ottimizzati per rilevare i suoni che provengono da sorgenti sonore poste di fronte a chi ascolta. Al tempo stesso, i suoni che provengono da dietro, oppure dai lati, vengono attenuati. Negli ambienti sonori dove si verificano tempi di riverbero acustico consistenti, l'effetto positivo del microfono direzionale può andare in parte perduto. La progettazione dei microfoni direzionali è concepita appositamente per renderli meno sensibili sulle basse frequenze, rispetto ai microfoni omnidirezionali. I microfoni direzionali si impiegano per ottimizzare l'intelligibilità del parlato negli ambienti rumorosi. I suoni indesiderati che provengono da dietro vengono attenuati e questo permette alla persona che indossa l'apparecchio di concentrarsi meglio sui suoni che provengono frontalmente [3] [6].

In figura 6 sono riportati gli schemi di sensibilità del microfono più utilizzati:

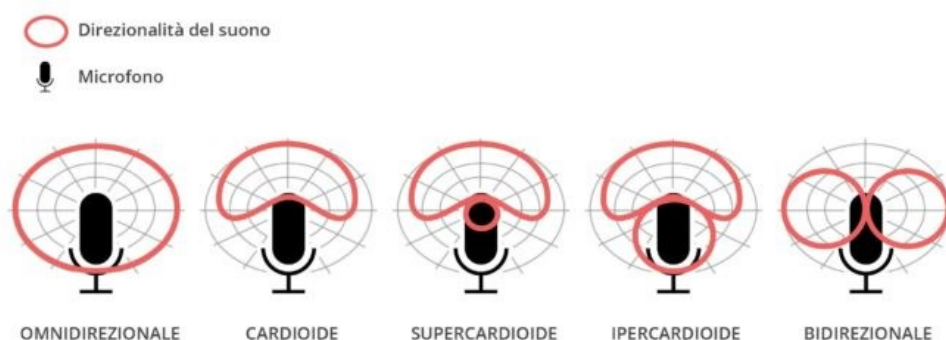


Fig. 6. Sistema di localizzazione sonora del microfono (fonte immagine: <https://meetinghub.net>)

1.5 Symphonia come strumento di counseling

Symphonia è un software sviluppato dall'Inventis s.r.l (Padova, IT) che simula reali ambienti sonori [11]. Nasce con l'idea di far percepire al paziente i benefici forniti dalle funzionalità avanzate degli apparecchi acustici anche negli ambienti più complessi a livello sonoro, senza doversi recare realmente in essi.

L' algoritmo di Symphonia riproduce i rumori di sottofondo registrati con microfoni multicanale, al fine di far sentire il paziente all'interno di un realistico ambiente esterno. Questo strumento riesce a fornire rumori di sottofondo e sorgenti sonore direzionali lungo un raggio di 360° e consente all'audioprotesista di modificare in tempo reale l'angolo e la distanza dei suoni che vengono percepiti dal paziente (Figura 7). “Symphonia funziona con una scheda audio multicanale (ESI Gigaport) e un sistema composto da un minimo di tre fino a otto altoparlanti. È possibile distanziare la fonte sonora dal paziente da un minimo di uno ad un massimo di due metri e il range di intensità va da 50 dB SPL a 85 dB SPL, sia per il campo sonoro che per le sorgenti puntiforme. È inoltre possibile aggiungere fino a 3 sorgenti sonore direzionali contemporaneamente, con angolazione e intensità diverse per ciascuna sorgente.” (Appendice 1)

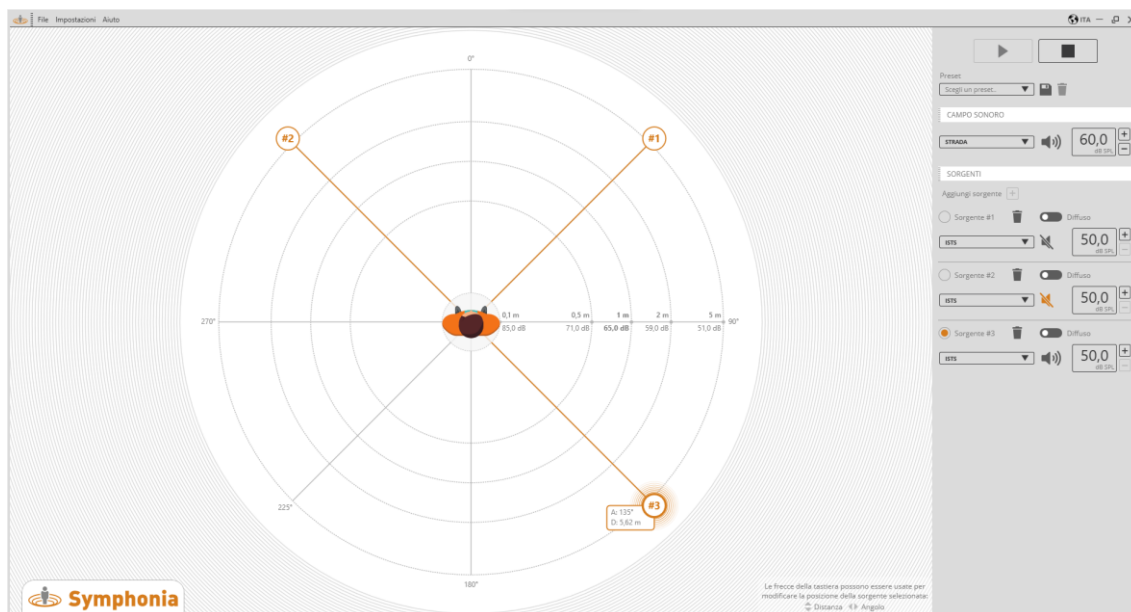


Fig. 7. Rappresentazione grafica della pagina di dialogo ove si determinano le impostazioni del software Symphonia (come da scheda tecnica allegata in Appendice 2).

Ogni sorgente può essere emessa da tutti gli altoparlanti contemporaneamente e diventare un suono omnidirezionale, semplicemente selezionando l'opzione "diffuso" dalla piattaforma.

È possibile selezionare tra diversi campi sonori, indicati come preset:

- ❖ Bar
- ❖ Ristorante
- ❖ Strada
- ❖ Macchina
- ❖ Onde oceaniche

Tutti i preset sono registrati con appositi microfoni multicanale e fungono da competizione.

Le sorgenti sono invece quei suoni che possono essere posizionati a piacimento lungo un

raggio di 360°. Queste comprendono registrazioni vocali e di strumenti musicali, ma c'è la possibilità di aggiungere altro materiale audio personalizzato (.wav o .mp3) a discrezione dell'audioprotesista.

I requisiti minimi di sistema sono i seguenti:

- ❖ Processore: Intel® i5, 5a generazione o superiore
- ❖ RAM: 4 GB
- ❖ Sistema operativo: Windows 10 o successivo, 32 o 64 bit
- ❖ Schede audio supportate: ESI Gigaport HD+, ESI Gigaport eX
- ❖ Diffusori: da 3 a 8, con connettori RCA

La calibrazione dello strumento deve essere eseguita al primo avvio con un fonometro in campo libero, in modo da ottenere un'emissione sonora precisa.

2 SCOPO

Riuscire ad analizzare la capacità di localizzazione del suono risulta di difficile gestione [12] [13]. Nella vita quotidiana, il rumore può influire sulla capacità uditiva delle persone agendo da diverse angolazioni. Purtroppo nella pratica riabilitativa/clinica non è ancora stato sviluppato e validato un test in grado di riprodurre tutte queste situazioni in un ambito ambulatoriale. Riprodurle in situ è infattibile a causa del costo e del tempo necessari a tal fine [12].

Recentemente, presso i centri acustici è possibile utilizzare un nuovo ed innovativo strumento audiologico, Symphonia (Inventis srl. Padova). Ad oggi, esso viene proposto solo come strumento di counseling, e nelle linee guida di utilizzo non sono riportati i valori di discriminazione di riferimento relativi alla popolazione normoacustica ed ancor meno ipoacustica.

Di conseguenza nel presente studio ci si è posti l'obiettivo di produrre un protocollo audiologico tale da implementare ed ottimizzare l'utilizzo di Symphonia.

A tal fine si ha intenzione di definire una soglia di discriminazione caratteristica della popolazione normoacustica. In seguito si vuole verificare la capacità di migliorare la propria capacità di localizzare la sorgente sonora nei pazienti riabilitati con apparecchio acustico. La prima parte dello studio permetterà di ottenere delle soglie di riferimento la seconda parte permetterà di dare all'audioprotesista un'idea per definire come utilizzare il software per implementare i propri strumenti di counseling.

3 MATERIALI E METODI

3.1 Partecipanti

I partecipanti allo studio sono stati arruolati presso le sedi dell'Istituto Acustico Pontoni di Treviso, Cervignano e Conegliano, nel periodo intercorso da maggio 2022 a ottobre 2022 (Figura 8).

Ogni partecipante allo studio ha letto e firmato una liberatoria per la privacy in cui era riportata la relativa informativa che illustra i test a cui sarebbe stato sottoposto successivamente (Appendice 2).

Il campione in esame è risultato composto da 18 normoudenti e 31 ipoacusici, di cui 27 riabilitati con apparecchio acustico.

Sono stati definiti normoudenti i partecipanti con un PTA dell'orecchio peggiore inferiore o uguale a 20 dB HL, parametro in linea con altri studi sulla localizzazione spaziale. [14]

Da ciascun individuo sono stati raccolti dati anagrafici, quali età e genere ed i dati audiologici.

3.2 Test audiologici

I test effettuati ad ogni persona sono stati:

- ❖ Otoscopia
- ❖ Test tonale per via aerea e via ossea in cuffia
- ❖ Test tonale in campo libero

3.3 Protocollo di implementazione dello strumento Symphonia

È stato scelto di bendare i partecipanti al fine di evitare un condizionamento visivo dato dal posizionamento delle casse dello strumento Symphonia, ed è stato richiesto di non muovere il capo in direzione della sorgente sonora, nonostante la letteratura sulla localizzazione di sorgenti virtuali suggerisca che consentire il movimento libero della testa rafforzi la localizzazione della sorgente virtuale [10,15]. Questa metodica è stata effettuata anche in un altro studio [14] dove i partecipanti hanno svolto il test nella completa oscurità.

È stato utilizzato lo stimolo ISTS (*International Speech Test Signal*) poiché; essendo più ampio lo spettro del messaggio verbale, risulta meno soggetto a riverbero ed è di più facile localizzazione. Generalmente gli errori di localizzazione sono minori per i segnali a banda larga (es. voce, rumore, ecc.) rispetto ai segnali a banda stretta (es. toni singoli, passa banda, rumore), quindi la parola è più semplice da localizzare rispetto a un suono puro. [10,15]

Lo stimolo è stato riprodotto dodici volte su quattro direzioni diverse ad angoli di 45°, così che ogni angolo fosse proposto per tre volte in una sequenza casuale, prima nel silenzio e poi nel rumore per una durata di tre secondi. Gli ambienti rumorosi riprodotti dal Symphonia sono di tipo bubble noise ed in particolari si riferiscono al preset “Ristorante” ed al preset “Strada”. Una volta inviato il segnale, il paziente ha avuto il compito di indicare da dove arrivasse il suono: destra avanti, destra dietro, sinistra avanti o sinistra dietro.



Fig. 8. Fotografia dello strumento Symphonia presso la sede dell'Istituto Acustico Pontoni di Treviso

3.3.1 Analisi statistica

Tutti i dati raccolti sia anagrafici sia derivati dalle registrazioni audiologiche sono stati elaborati tramite il software Excel (Microsoft). Per ciascuno di essi sono state calcolate la frequenza e la media \pm la relativa deviazione standard (dev.st.). Le differenze fra gruppi sono state verificate mediante il test t di student. Le proporzioni di individui in grado di discriminare la sorgente sonora alle diverse condizioni in esame sono state verificate mediante il test χ^2 . Valori di p-value inferiori a 0,05 e 0,01 sono stati considerati significativi, mentre valori inferiori a 0,001 sono stati considerati altamente significativi.

4 RISULTATI E DISCUSSIONE

La capacità di comprendere il parlato in presenza di rumore è il fine ultimo dell'audiologia [16]. Quando questa capacità viene meno, si ha una ricaduta negativa sulla qualità della vita delle persone, specialmente dei soggetti portatori di apparecchi acustici [17,18]. Molto importante è anche la capacità di localizzare la sorgente di un suono, soprattutto per questioni di sicurezza ed orientamento nello spazio; questa abilità negli ipoacusici viene meno, principalmente in presenza di rumore e nella discriminazione fronte-retro [12,14,19].

Nelle persone normoudenti la capacità di localizzare un suono si sviluppa naturalmente [20]. Nonostante ciò anche gli individui con udito normale tendono ad avere difficoltà a localizzare una sorgente sonora in un ambiente rumoroso e questa situazione è aggravata quando la persona soffre di deficit uditivo [21,22]. Per confermare ciò, attraverso lo strumento Symphonia, sono stati esaminati tre gruppi di soggetti uno normoacusico, uno ipoacusico e un ultimo ipoacusico riabilitato con apparecchi acustici: di seguito sono riportati prima i dati ottenuti in ciascun gruppo e poi il confronto fra i tre.

4.1.1.1 Normoudenti

Il campione di normoacusici è composto da 18 partecipanti: 7 maschi e 11 femmine, con un'età media di 35 ± 13 anni, compresa tra i 22 ed i 66 anni. Il PTA medio è di 9 dB con una dev.st. di 4 dB.

Nei test effettuati nel silenzio tutti i partecipanti hanno risposto correttamente a più del 90% degli stimoli proposti; l'89% del campione ha risposto correttamente al 100% degli stimoli proposti. Nel campo sonoro "RISTORANTE" il 94% dei partecipanti ha risposto correttamente a più del 90% degli stimoli proposti. Per quanto riguarda invece il preset "STRADA" il 100% del campione ha discriminato più del 90% dei segnali (Figura 9).

Le percentuali evidenziate dai test eseguiti con Symphonia rispecchiano i risultati emersi dalla letteratura ove sono stati utilizzati sistemi di stimolazione sonora simili; infatti,

secondo Almeida et al. 2016 [13] le percentuali di risposta corretta da parte dei soggetti normoudenti è compresa tra il 90 e 100%: nel caso studio risulta del $99\pm 3\%$, $96\pm 5\%$ e $96\pm 4\%$ rispettivamente nei tre campi sonori di silenzio, preset Ristorante e preset Strada (Figura 10).

Da un'analisi delle proporzioni mediante il test del χ^2 risulta che non vi sono differenze significative nella capacità di discriminare fra persone di età maggiore o inferiore ai 40 anni, mentre risulta significativa la differenza di genere ($\chi^2=7,901$, 1 grado di libertà, $p\text{-value}>0.05$): i maschi sembrano discriminare con più difficoltà delle femmine nel “bubble noise” riprodotto dal preset RISTORANTE. Il risultato ottenuto ponendo come soglia l'età di 40 anni risulta essere in linea con gli studi sulla localizzazione spaziale ottenuta utilizzando un sistema di stimolazione sonora simile in due precedenti lavori pubblicati da Almeida e collaboratori (2016, 2019) [12,13].

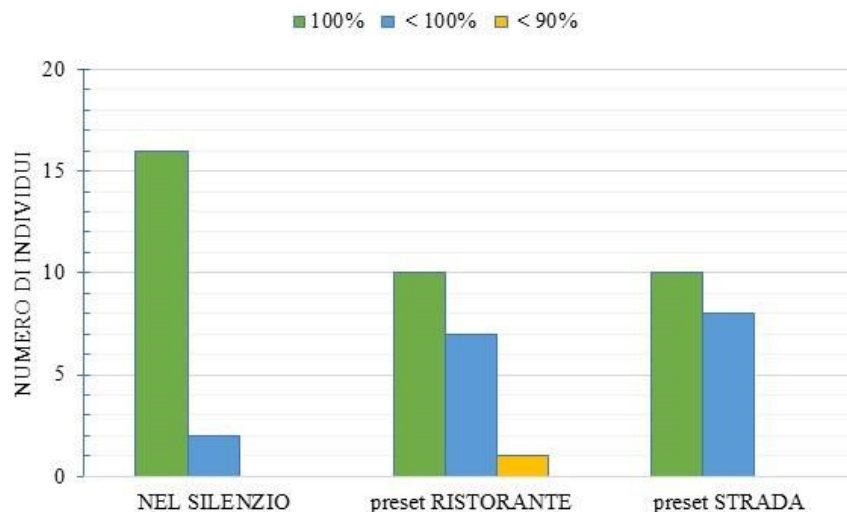


Fig. 9. Rappresentazione grafica della numerosità di persone normoudenti, ripartite in base alla percentuale di risposte di localizzazione corretta ottenuta, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

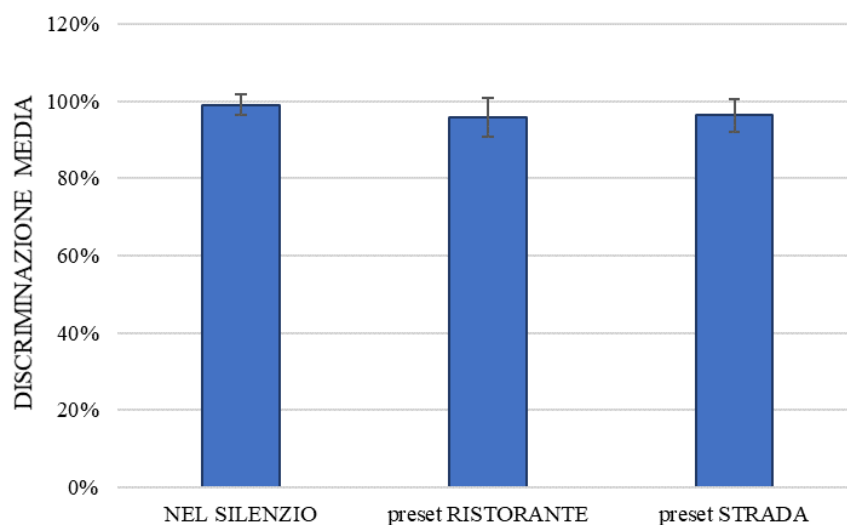


Fig. 10. Rappresentazione grafica della percentuale media di risposte di localizzazione corretta ottenuta dal campione dei normoudenti rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

4.1.1.2 Ipoacusici

Il secondo gruppo studiato è composto 31 soggetti ipoacusici: 14 maschi e 17 femmine, con un'età media di 75 ± 10 anni, compresa tra i 60 e i 94 anni. Il PTA medio è di 52 dB con una dev.st. di 16 dB. In questo caso le proporzioni di persone che sono state in grado di discriminare la sorgente a diversi livelli (espressi in percentuale) riportano risultati non significativi per quanto riguarda le differenze di età, usando come riferimento i 65 anni, ed anche di genere ($p\text{-value} < 0.05$).

Vari studi come quelli svolti da Abel et al., 2000; Dobрева et al., 2011; Freigang et al., 2015 confermano che la capacità di distinguere la provenienza di una sorgente sonora diminuisce nei soggetti con caratteristiche simili al gruppo sopra citato [23-25]. Questa difficoltà aumenta molto in ambienti rumorosi [16]. Infatti il 19% del campione ha risposto correttamente a più del 90% dei segnali proposti nel silenzio. Nel campo sonoro “RISTORANTE” il 3% dei partecipanti, una sola persona, è arrivato a discriminare il 90%. Invece, per quanto riguarda il preset “STRADA” tutto il campione discrimina meno del 90% (Figura 11).

In media i soggetti ipoacusici discriminano il $52\pm 32\%$, $42\pm 29\%$ e $46\pm 29\%$ degli stimoli sonori rispettivamente nei tre campi sonori di silenzio, preset Ristorante e preset Strada (Figura 12).

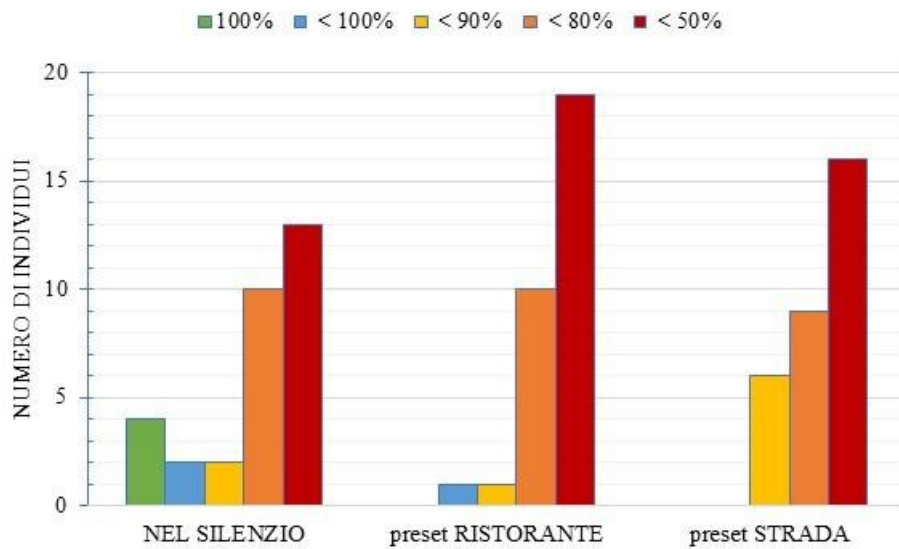


Fig. 11. Rappresentazione grafica della numerosità di persone ipoudenti, ripartite in base alla percentuale di risposte di localizzazione corretta ottenuta, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

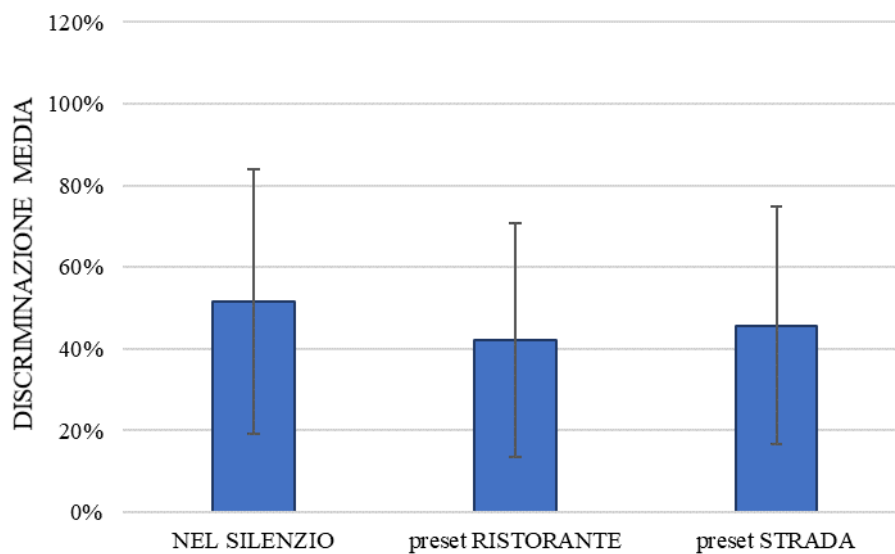


Fig. 12. Rappresentazione grafica della percentuale media di risposte di localizzazione corretta ottenuta dal campione di ipoudenti, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

Normalmente, il rumore tende a ostacolare il compito di discriminazione uditiva perché la parola è formata da fonemi caratterizzati da frequenze ed intensità variabili [26] e tali caratteristiche possono essere mascherate dal rumore di competizione causando confusione [27]. Per questo motivo molti soggetti ipoacusici riferiscono come problema principale la difficoltà di discriminazione vocale negli ambienti rumorosi. Da sempre questo deficit risulta essere uno degli obiettivi primari del percorso di riabilitazione uditiva mediante l'utilizzo di apparecchi acustici [3]. I risultati ottenuti mediante i test con Symphonia che mettono in evidenza l'elevata difficoltà di un soggetto ipoacusico nel localizzare una sorgente sonora rispetto a un normoudente, soprattutto in presenza di rumore, sono confermati da quanto riportato in letteratura [23-25].

4.1.1.3 Ipoacusici portatori di apparecchio acustico

Il terzo campione è composto da ipoacusici riabilitati con apparecchi acustici: il gruppo di persone si è ridotto da 31 a 27 partecipanti; l'età media è pari a 76 ± 10 anni e il PTA medio a 56 ± 14 dB.

Il test è stato effettuato chiedendo ai partecipanti di indossare le loro protesi acustiche. Nel silenzio il 39% del campione ha raggiunto il 90 % di risposte corrette; nell'ambiente sonoro "RISTORANTE" il 90% viene raggiunto dal 35% del campione, e nel preset "STRADA" dal 42% (Figura 13). È stato deciso di utilizzare il 90% di discriminazione come parametro di confronto tra i vari gruppi perché è la percentuale minima della performance del campione di normoudenti [13].

In media i soggetti ipoacusici riabilitati con un apparecchio acustico discriminano il $77\pm 23\%$, $68\pm 27\%$ e $69\pm 26\%$ degli stimoli sonori rispettivamente nei tre campi sonori di silenzio, preset RISTORANTE e preset STRADA (Figura 14). Anche per questo gruppo il genere e l'età non sono risultati essere parametri significativi nell'influenzare la capacità discriminatoria in esame

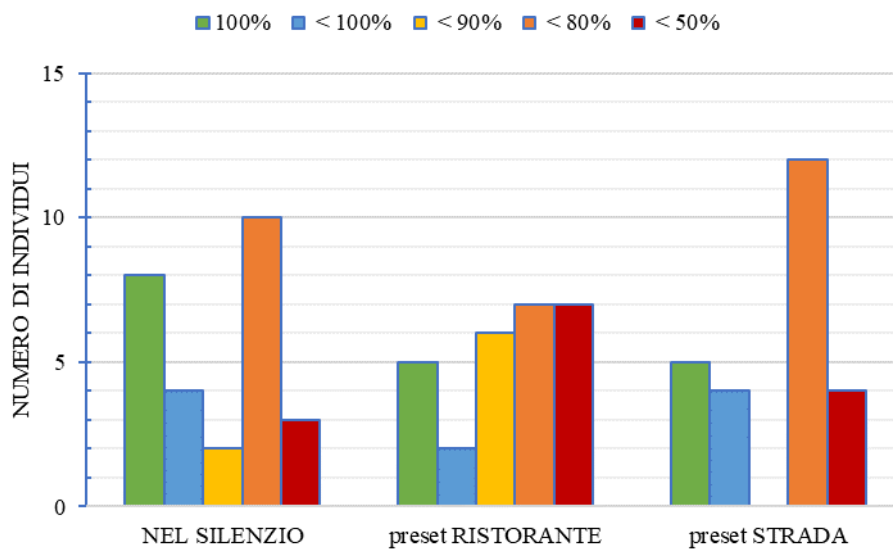


Fig. 13. Rappresentazione grafica della numerosità di persone ipoudenti riabilite con apparecchio acustico, ripartite in base alla percentuale di risposte di localizzazione corretta ottenuta, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

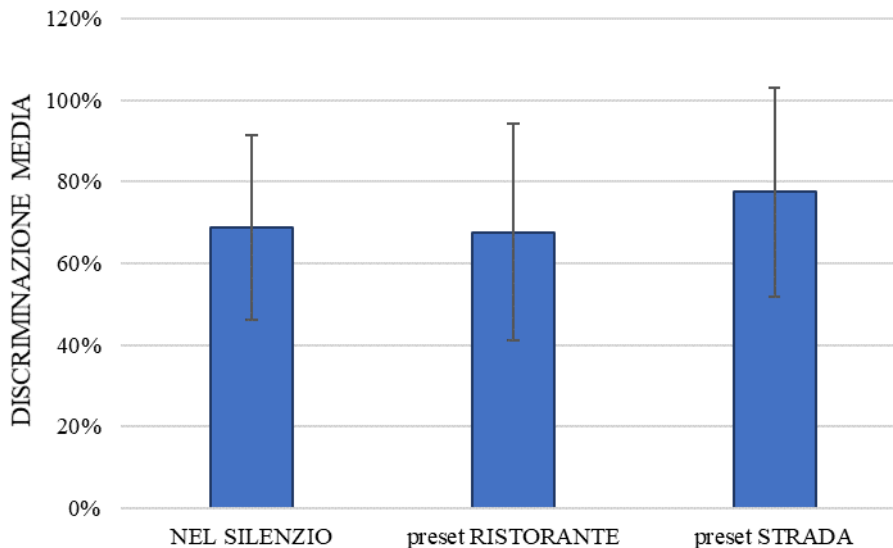


Fig. 14. Rappresentazione grafica della percentuale media di risposte di localizzazione corretta ottenuta dal campione di ipoudenti riabilitati con un apparecchio acustico, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”

L'evidenza che tali dati mettono alla luce è il miglioramento della capacità di discriminazione della localizzazione sonora spaziale di un soggetto ipoacusico nel momento in cui è protesizzato.

4.1.1.4 Confronto delle performance tra i tre gruppi in esame

Considerato che i tre gruppi sono equamente bilanciati tra maschi e femmine (Figura 15) e che la differenza di età intra-gruppo, sia per i normoacusici sia per entrambe i gruppi di ipoacusici, non risulta essere un fattore discriminante (come riportato nei paragrafi precedenti), sono state messe a confronto le medie di capacità discriminativa ottenute per ciascun gruppo nei tre ambienti sonori.

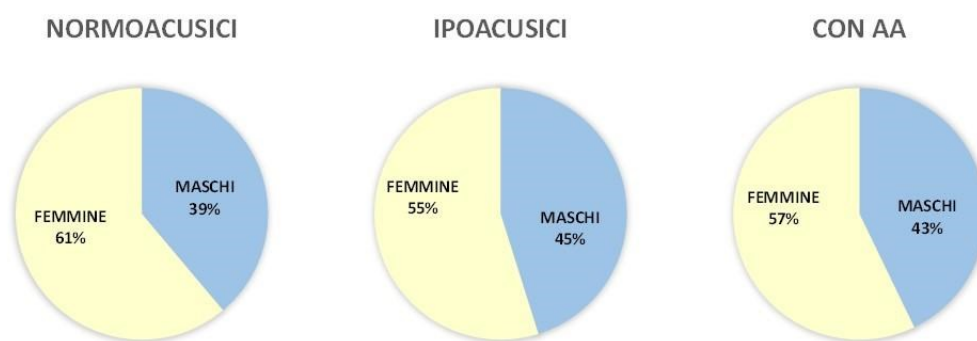


Figura 15. Distribuzione tra maschi e femmine intra-gruppo

Dal confronto dei risultati ottenuti dal gruppo degli ipoacusici non protesizzati rispetto agli ipoacusici protesizzati è stato possibile analizzare le differenze riportate in ogni campo sonoro. Nel silenzio 3 persone ipoacusiche hanno raggiunto un punteggio maggiore o uguale a 90%, mentre per i partecipanti protesizzati il numero è salito a 12. Nei campi sonori “RISTORANTE” e “STRADA” nessun ipoacusico è riuscito a raggiungere il 90%, mentre il numero di soggetti protesizzati che ha ottenuto questa percentuale è salito rispettivamente a 7 e 9 nei due anzidetti preset (Figure 11 e 13).

Nel silenzio il 100% dei normoacusici ha risposto correttamente ad almeno il 90% delle direzioni proposte, mentre per quanto riguarda i partecipanti protesizzati il 41% del campione discrimina almeno il 90% dei segnali. Nel preset “RISTORANTE” il 94% dei

normoudenti ha risposto correttamente ad almeno il 90% delle direzioni proposte, mentre per quanto riguarda i partecipanti protesizzati la percentuale scende a 26%. Nel campo sonoro “STRADA” il 100% dei normoudenti ha risposto correttamente ad almeno il 90% delle direzioni proposte, mentre per il gruppo dei protesizzati questa percentuale è raggiunta dal 33% del campione (Figure 9, 11 e 13).

Ristabilire per quanto possibile una buona capacità uditiva, mediante un’applicazione protesica, permetterebbe ad un soggetto ipoacusico di recepire in modo più preciso ed efficace la differenza temporale di fase di arrivo del suono, potendo così migliorare la localizzazione spaziale e di conseguenza anche la capacità discriminativa in ambienti rumorosi. Dall’analisi del confronto delle medie risulta significativa la differenza di risposte corrette riportata dai normoacusici rispetto agli altri due gruppi in esame, dimostrando che la riabilitazione acustica non permette di raggiungere il livello di riconoscimento peculiare dei normoudenti, nel contempo il gruppo di persone riabilite migliorano in modo significativo le loro performance rispetto agli ipoacusici (Figura 16).

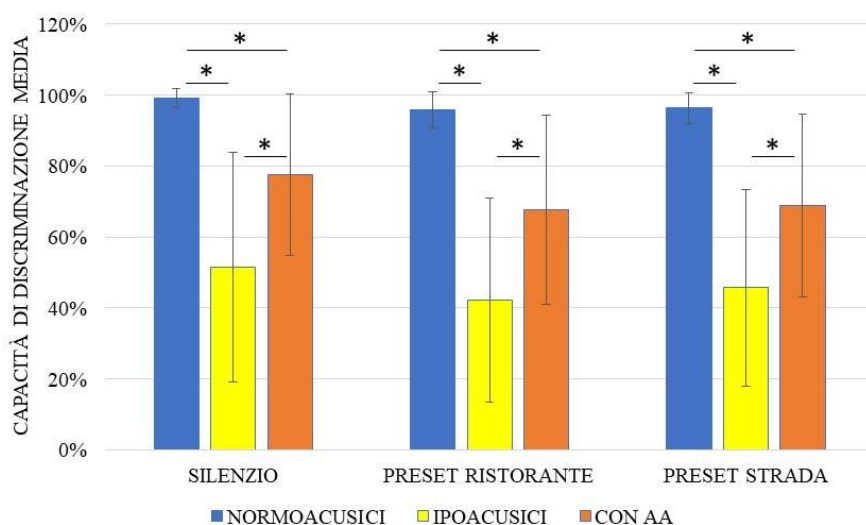


Fig. 16. Rappresentazione grafica della percentuale media di risposte di localizzazione corretta ottenuta nei tre gruppi in esame, rispettivamente nel silenzio, nel preset “Ristorante” e nel preset “Strada”. * = significatività della differenza fra medie calcolata mediante il t test, p-value < 0.05.

Precedenti autori concludono che la resa audiometrica fornisce una misura troppo grossolana per valutare con precisione la capacità di un ascoltatore (con una perdita

dell'udito da lieve a moderata) di elaborare segnali binaurali in condizioni di ascolto complesse [28]. Nello studio in esame dall'analisi della correlazione fra il PTA di ogni individuo e la percentuale di risposte corrette restituite in ciascuna condizione ambientale proposta, si evidenzia che in tutti e tre i gruppi esaminati vi è una correlazione diretta fra il PTA ed il risultato ottenuto, dimostrando come siano interconnessi due parametri (Figura 17).

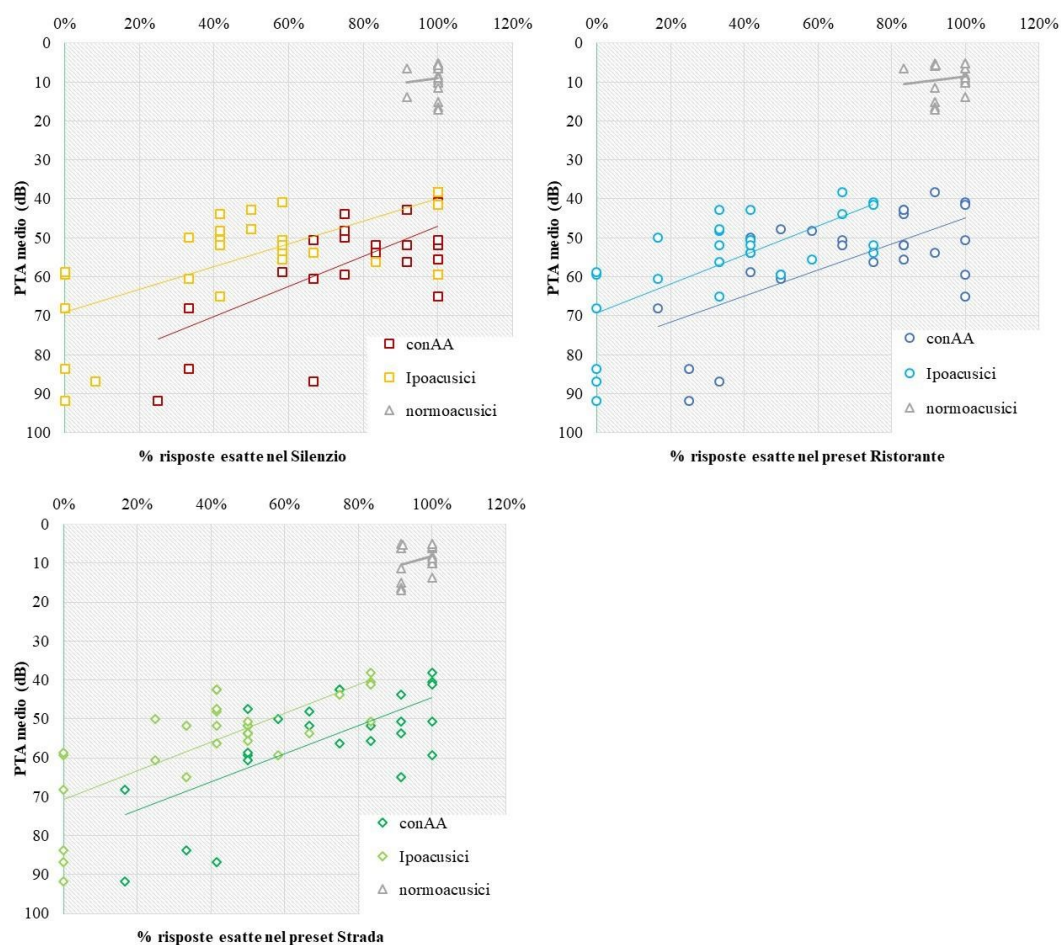


Fig 17. Correlazione fra il PTA medio e la percentuale di risposte corrette resa da ogni individuo esaminato nelle tre diverse condizioni di ascolto.

L'elevata variabilità, riportata soprattutto nei gruppi di pazienti ipoacusici, può essere spiegata dal fatto che i soggetti siano influenzati da fattori estrinseci quali la memoria di lavoro, il carico cognitivo, la capacità cognitiva, la capacità di elaborazione temporale e l'attenzione [28]. In fine focalizzandosi sul confronto tra i pazienti ipoacusici con e senza apparecchio acustico si evidenzia ulteriormente come il miglioramento del PTA (e quindi della soglia uditiva) permetta di riacquistare la capacità di localizzare la sorgente sonora.

5 CONCLUSIONI

Lo strumento Symphonia è risultato fondamentale per misurare l'effettivo beneficio che una protesizzazione acustica può dare ad un soggetto con problemi di udito sia nel silenzio sia in ambienti di vita quotidiana. L'utilizzo di Symphonia nel presente studio ha consentito di poter confermare come l'essere umano in condizioni di normalità riesca facilmente a discriminare la localizzazione spaziale di un segnale ISTS, mentre vi è un calo significativo nei soggetti ipoacusici. Ad oggi l'apparecchio acustico non consente un recupero totale delle funzioni uditive ma garantisce comunque un netto miglioramento rispetto a un soggetto ipoacusico non protesizzato.

Dallo studio emerge che Symphonia può essere ritenuto molto più di un semplice strumento di counseling, dato che è stato possibile validarne l'efficacia nel fornire informazioni utili durante un percorso di riabilitazione uditiva. Il potenziale di Symphonia è risultato molto più ampio del suo attuale utilizzo, poiché consente di integrare il materiale fornito dalla ditta Inventis con del materiale personalizzato dall'audioprotesista. Ovvero, attraverso vari colloqui di counseling con i pazienti, si possano identificare le situazioni sonore soggettivamente ritenute più debilitanti, per poterle poi riprodurre in centro acustico e valutare e verificare l'effettivo beneficio del guadagno protesico anche in questi ambienti sonori avversi.

Symphonia potrebbe essere inoltre impiegato per valutare la corretta funzionalità dei microfoni direzionali degli apparecchi acustici. Un nuovo studio potrebbe portare alla validazione di un protocollo con la finalità di verificare l'efficacia dei microfoni direzionali in apparecchi acustici di diversi livelli tecnologici o di differenti aziende costruttrici.

In ottica futura si potrebbe inoltre sviluppare un protocollo applicativo che attraverso Symphonia possa dare al paziente delle prospettive di miglioramento a livello di localizzazione spaziale. Poter fornire una prospettiva di beneficio protesico misurabile in percentuale, basata sul PTA della perdita e sui valori emersi dal test di localizzazione con

Symphonia pre-riabilitazione, è sicuramente un obiettivo ambizioso ma che ancora una volta potrebbe comprovare il valore aggiunto di Symphonia (Inventis) in un percorso di riabilitazione uditiva.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1] Maurizio Maurizi, Audiovestibologia Clinica, seconda edizione. Idelson-Gnocchi; 2000
- [2] Brockmann Chittka L, modified by dan1gia2. Descrizione dell'orecchio umano.19 November 2013 da <https://commons.wikimedia.org/wiki/> (consultato il 18 ottobre 2022)
- [3] S. Prosser, A. Martini. Argomenti di Audiologia, Omega edizioni-2007
- [4] Uncini, A. Audio digitale. Il modello dell'ascoltatore. McGraw-Hill, 100;2006.
- [5] Cenveo, 2022. Immagine concessa in licenza da un Creative Commons Attribution 3.0 Stati Uniti. <https://www.coursehero.com/study-guides/nemcc-ap/special-senses-hearing-audition-and-balance/>
- [6] Verdecchia F. (2007) “Il suono e l’udito” Ed. Widex, (Lyngø, Danimarca)
- [7] S. Sansalone, S. Repetto, M. Ricchetti (2007). Localizzazione Spaziale, Audiologia Protesica
- [8] Capoani MF, Mondelli G, De Marchi dos Santos M, Ribeiro Feniman M. Unilateral hearing loss: benefit of amplification in sound localization, temporal ordering and resolution. *Cochlear Implants Int*. 2019 Nov 7;32(1):e20180202.
- [9] Goldstein, E. Bruce (2013), “Localizzazione e Organizzazione Acustica”. In “Sensazione e percezione”, Ed. Media
- [10] Ellis GM, Souza PE. The Effect of Hearing Loss on Localization of Amplitude-Panned and Physical Sources. *J Am Acad Audiol*. 2020 Oct;31(9):690-698.
- [11] Sito Invenis s.r.l. <https://www.inventis.it/world/products/software-for-virtual-sound-environment-creation-symphonia>

- [12] Almeida GVM, Ribas A, Calleros J. Sound Localization Test in Presence of Noise (Sound Localization Test) in Adults without Hearing Alteration. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2019 Jul;23(3):e276-e280.
- [13] Almeida GV, Ribas A, Calleros J. Free Field Word recognition test in the presence of noise in normal hearing adults. *Braz J Otorhinolaryngol*. 2017; 83:665-9.
- [14] Weissgerber T, Müller C, Stöver T and Baumann U (2022) Age Differences in Speech Perception in Noise and Sound Localization in Individuals With Subjective Normal Hearing. *Front. Psychol*. 13:845285. doi: 10.3389/fpsyg.2022.845285
- [15] Blauert J. *Spatial Hearing: the Psychophysics of Human Sound Localization*. Cambridge, MA: MIT Press; 1983
- [16] Fiorini AC, Passos OS, Souza LAP. A importância do sistema auditivo e cognitivo na percepção da fala no ruído em idosos. *Distúrbios Comun* 2014; 26:840-842
- [17] Gomes MVSG, Magalhaes ATM, Índice de reconhecimento da fala na presbiacusia. *Int Arch Otorhinolaryngol*. 2007; 11:169-74
- [18] Iorio MCM, Zaboni ZC. Reconhecimento de fala no nível de máximo conforto em pacientes adultos com perda auditiva neurossensorial. *Rev Soc Bras Fonoaudiol*. 2009; 1:112-54
- [19] Otte, R. J., Agterberg, M. J. H., van Wanrooij, M. M., Snik, A. F. M., and van Opstal, A. J. (2013). Age-related hearing loss and ear morphology affect vertical but not horizontal sound-localization performance. *J. Assoc. Res. Otolaryngol*. 14, 261–273. doi: 10.1007/s10162-012-0367
- [20] Grothe B, Pecka M, McAlpine D. Mechanisms of Sound Localization in mammals. *Physiol Rev* 2010; 90 (03): 983-1012
- [21] Paiva KM, Maciel PMA, Cinta LG. Compreendendo o idoso usuário de próteses auditivas. *Ciênc. Saúde coletiva* 2011; 16:2927-34
- [22] Mazzocchi MT, Aita ADC. Direcionalidade e reconhecimento da fala no ruído: estudo de quatro casos. *Rev CEFAC* 2013; 15:689-696

- [23] Abel, S. M., Giguère, C., Consoli, A., and Papsin, B. C. (2000). The effect of aging on horizontal plane sound localization. *J. Acoust. Soc. Am.* 108, 743–752. doi: 10.1121/1.429607
- [24] Dobrevá, M. S., O’Neill, W. E., and Paige, G. D. (2011). Influence of aging on human sound localization. *J. Neurophysiol.* 105, 2471–2486. doi: 10.1152/jn.00951.2010
- [25] Freigang, C., Richter, N., RübSamen, R., and Ludwig, A. A. (2015). Age-related changes in sound localisation ability. *Cell Tissue Res.* 361, 371–386. doi: 10.1007/s00441-015-2230-8
- [26] Russo ICM, Pereira LD, Carvalho RMM, Anastásio ART, Encaminhamentos sobre a classificação do grau de perda auditiva em nossa realidade. *Rev Soc Bras Fonoaudiol.* 2009; 14:287-8
- [27] Lemos SMA, Rothe-Neves R, Santos LM. Confusões perceptivas entre consoantes portugues brasileiro em função do ruído. *Audiol Commun.* 2014; 19:145-52
- [28] Ellinger RL, Jakien KM, Gallun FJ. The role of interaural differences on speech intelligibility in complex multi-talker environments. *J Acoust Soc Am.* 2017 Feb;141(2):EL170

7 APPENDICI

1. Appendice 1

TECHNICAL SPECIFICATIONS



Symphonia

SOFTWARE FOR VIRTUAL SOUND ENVIRONMENT CREATION



DESCRIPTION

Symphonia is a software that simulates a realistic sound environment. It provides background noises and 360° directional sound sources, and allows the operator to change in real time the angle and distance from which sounds are perceived by the patient.

With Symphonia it is possible to make the patient feel the benefits provided by advanced hearing aid features.

CONFIGURATIONS

Symphonia works with a multichannel soundcard (ESI Gigaport) and a system consisting of a minimum of 3 up to 8 powered loudspeakers, or unpowered loudspeakers with an external amplifier.

AVAILABLE SIGNALS

It is possible to select between different soundfields:

- Coffee shop
- Restaurant
- Street
- Car
- Ocean Waves

All recorded with special multichannel microphones, they can be used as "background" for the sound sources that can be placed at liking, and include vocal and musical instruments recordings. More signals could be added in the future.

The user can also import custom sound files (.wav or .mp3) and use them as sources.

SOURCES MANAGEMENT

It is possible to add up to 3 directional sound sources emitting at the same time, with different angle and intensity for each source.

Every source can also be emitted from all the speakers and become an omnidirectional sound.

INTENSITY RANGE

From 50 to 85 dB SPL perceived in the central point, for both the soundfield and the sources.

SPEAKERS POSITIONING

It is possible to place the speakers at a distance from 1 m to 2 m around the patient's seat.

CALIBRATION

Calibration should be performed at first start with a free field sound level meter, in order to obtain a precise sound emission.

MINIMUM SYSTEM REQUIREMENTS

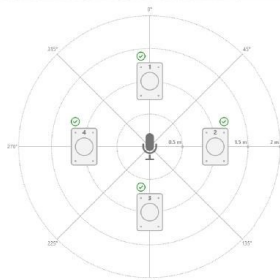
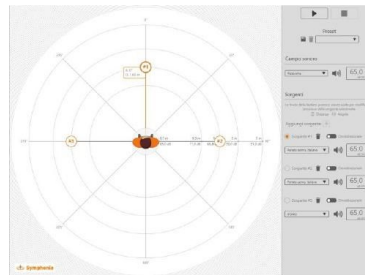
Processor: Intel® i5, 5th generation or above

RAM: 4 GB

Operative System: Windows 10 or later, 32 or 64 bit

Supported soundcards: ESI Gigaport HD+, ESI Gigaport eX

Speakers: from 3 to 8, with RCA connectors



Symphonia is developed by:

INVENTIS s.r.l.
CORSO STATI UNITI, 1/3
35127 PADOVA – ITALY
PHONE: +39.049.8962 844
info@inventis.it - www.inventis.it

Follow us on LinkedIn
www.linkedin.com/company/inventis-srl/

Page 1 of 1 • Doc.: Symphonia-TS-En-Rev02 • Date: 2021.01.18

2. Appendice 2



Foglio Informativo e Consenso Informato

FOGLIO INFORMATIVO E MODULO DI CONSENSO INFORMATO

ALLA PARTECIPAZIONE AL PROGETTO DI RICERCA

Egr. Sig. / Gent.le Sig.ra _____

La informiamo che stiamo conducendo uno studio presso l'Istituto Acustico Pontoni. Per realizzare questo studio desideriamo avvalerci della collaborazione e della disponibilità di persone come Lei che soddisfano i requisiti idonei all'inserimento nel gruppo di studio. Per questo motivo Le proponiamo di partecipare allo studio che sarà condotto sotto la responsabilità della Dr.ssa Giulia Bragante (Tecnico Audioprotesista, Istituto Pontoni) e Prof.ssa Laura Astolfi (Professore Associato, Dipartimento di Neuroscienze, Università di Padova). Prima che Lei decida se accettare o rinunciare, La invitiamo a leggere con attenzione questo documento, qualora Lei desideri avere ulteriori informazioni e chiarimenti potrà rivolgersi alla Dott.ssa Giulia Bragante o alla Prof.ssa Laura Astolfi che Le dedicheranno tutto il tempo necessario per chiarire ogni Suo dubbio.

Premesse e scopo dello studio

Lo scopo dello studio sarà quello di creare un protocollo che permetta, attraverso l'utilizzo dello strumento Inventis Symphonia, la valutazione della capacità di localizzazione spaziale del suono.

Procedure previste dallo studio

L'indagine sarà di tipo strumentale non invasiva e prevederà : test tonale per via aerea, test tonale per via ossea, test tonale in campo libero bilaterale, risonanza del CUE, test di localizzazione spaziale

Partecipazione allo studio

La Sua partecipazione è completamente libera e volontaria.

Se Lei acconsente a partecipare Le sarà chiesto di firmare il Modulo di Consenso Informato, allegato al presente documento, prima che Lei inizi a eseguire la procedura prevista dallo studio. La firma del modulo allegato è al fine di garantire che Lei abbia ricevuto un'informazione completa e che abbia espresso liberamente la Sua volontà di partecipare; tale firma non implica alcun impegno da parte Sua a proseguire lo studio, non costituisce un vincolo di natura contrattuale, né rappresenta una rinuncia ai diritti che Le spettano.

Nel caso in cui Lei decida di ritirarsi dallo studio, dopo avere inizialmente accettato, potrà interrompere la Sua partecipazione in qualsiasi momento dandone comunicazione al responsabile dello studio senza dover fornire una giustificazione. La scelta di non partecipare, o di ritirarsi dopo l'iniziale accettazione, non comporta l'esclusione o la limitazione delle cure e dell'assistenza che Lei riceve presso le nostre strutture, né alcuna penalizzazione nel Suo rapporto con il personale che La assiste.

Qualora si venisse a conoscenza di nuovi dati o di risultati che possano influenzare la Sua partecipazione allo studio ne sarà tempestivamente informato/a; inoltre, il Responsabile dello studio potrà ritirarLa dallo studio qualora ritenga che tale decisione risponda al Suo migliore interesse.

Sul piano economico la partecipazione allo studio non determina alcun tipo di onere o di spesa aggiuntiva a Suo carico.

Possibili benefici relativi alla partecipazione allo studio.

I benefici attesi sono a favore e orientati all'acquisizione di maggiori conoscenze scientifiche su lo strumento Inventis Symphonia. Se il soggetto riceve un trattamento presso la struttura l'Istituto Acustico

Pontoni la partecipazione allo studio NON determina l'esclusione o la riduzione del trattamento ordinario di assistenza e di cura che il soggetto riceve.

3.

Possibili rischi / effetti collaterali legati alla partecipazione allo studio.

La partecipazione a questo studio non comporta rischi e non determina l'esclusione o la riduzione del trattamento ordinario di assistenza e di cura che Lei riceve. Le valutazioni che saranno eseguite e la strumentazione che sarà utilizzata non presentano rischi per la salute delle persone. L'esecuzione delle valutazioni previste, avverrà alla presenza costante e sotto la guida e il controllo di personale idoneo e qualificato che Le fornirà la spiegazione e le istruzioni sull'attività da eseguire e assistenza in caso di qualunque necessità.

Trattamento dei dati personali

Titolari del trattamento e finalità

L'Istituto Acustico Pontoni, persona giuridica privata con sede legale in Piazza della Repubblica 28, Monfalcone (GO) in accordo con le responsabilità previste dalle norme di pratica clinica (D.M. 15.7.1997, D.Lgs. 211/2003, D.Lgs. 200/2007) e di protezione dei dati personali (Regolamento UE 679/2016 e normativa vigente in materia di privacy) nonché dalle disposizioni dell'Autorità Garante per la protezione dei dati personali¹ tratterà in qualità di Titolare i Suoi dati personali, in particolare quelli sulla salute, nella misura indispensabile in relazione all'obiettivo dello studio ed in funzione della realizzazione dello stesso.

Natura del conferimento dei dati

Il conferimento dei dati personali sopramenzionati è facoltativo, ma l'eventuale rifiuto, totale o parziale, al conferimento e al trattamento da parte Sua non Le consentirà di partecipare allo studio.

Natura dei dati e modalità di trattamento

Tutte le informazioni, personali e cliniche che La riguardano, raccolte durante questo studio sono confidenziali e saranno trattate nel rispetto della normativa vigente sopra richiamata. I dati, trattati mediante strumenti anche elettronici, potranno essere diffusi in forma rigorosamente anonima attraverso riunioni, convegni e pubblicazioni scientifiche; in ogni caso il Suo nome o qualsiasi altro dettaglio idoneo a identificarLa, non saranno divulgati in quanto i dati potranno essere presentati esclusivamente in forma aggregata ovvero secondo modalità che non rendano identificabili i soggetti partecipanti allo studio. I dati raccolti saranno trasmessi in maniera anonima agli enti esterni alla Fondazione qui riportati:

- Università degli Studi di Padova, Corso di Studio in Tecniche Audioprotesiche: i dati serviranno per lo sviluppo di un progetto tesi di laurea.

Esercizio dei diritti

In relazione al suddetto trattamento, Lei potrà esercitare i diritti di cui agli art. 15 e seguenti del Regolamento UE 679/2016

Per ulteriori informazioni, chiarimenti e comunicazioni:

Micol Cavina
Micol.cavina@studenti.unipd.it

La ringraziamo per la Sua disponibilità e la Sua collaborazione

MODULO DI CONSENSO INFORMATO per la partecipazione allo studio:

¹Laddove applicabili: Linee Guida per i trattamenti dei dati personali nell'ambito delle sperimentazioni cliniche dei medicinali (Deliberazione n.52 del 24.07.2008) e Autorizzazione generale n. 8/2016 relativa al trattamento dei dati genetici.



Foglio Informativo e Consenso Informato

Io sottoscritto/a:

(Cognome e Nome in stampatello del soggetto partecipante)

nato/a a, il:

data di nascita del soggetto partecipante)

(Luogo e

DICHIARO QUANTO SEGUE:

1. ho letto e compreso il foglio informativo di cui questo modulo è parte integrante;
2. ho avuto la possibilità di porre domande e di chiedere spiegazioni ricevendo risposte soddisfacenti;
3. mi sono state illustrate la natura, lo scopo e la durata dello studio, le procedure che saranno seguite, il trattamento previsto per i partecipanti e il tipo di collaborazione che ad essi sarà richiesta;
4. ho compreso che la mia partecipazione allo studio è libera e volontaria e che in qualsiasi momento posso decidere di ritirarmi dallo studio senza essere in alcun modo privato/a delle cure e dell'assistenza di cui ho bisogno e dell'eventuale accesso a nuove prospettive diagnostiche e/o terapeutiche e senza che siano compromessi i miei diritti e il mio rapporto con il medico e con gli operatori sanitari;
5. ai sensi del Decreto Legislativo n.196/2003 e successive modificazioni, acconsento al trattamento dei miei dati personali e sensibili, raccolti nell'ambito di questa ricerca nei termini e nei modi indicati nel presente documento.

Tutto ciò premesso, accetto la proposta di partecipare allo studio descritto nel presente documento.

Luogo e data: _____

(firma per esteso e leggibile)