

# DIREZIONALITÀ BINAURALE™ II CON ASCOLTO NATURALE™

Jennifer Groth, M.A.

## INTRODUZIONE

E' ben noto che due orecchi siano meglio di uno. L'apparato uditivo umano integra informazioni provenienti da entrambe le orecchie offrendo benefici in termini di intensità sonora, localizzazione, qualità del suono, attenuazione del rumore, chiarezza del parlato e ascolto in competizione. La capacità di prestare attenzione selettivamente a particolari suoni, per esempio un'unica voce in mezzo a numerose persone che parlano, è uno dei benefici più sorprendenti e significativi dell' udito binaurale.

I vantaggi dell' udito binaurale persistono perfino in presenza di danni periferici dell' apparato uditivo, anche se la prestazione assoluta può essere inferiore rispetto all'udito normale. In effetti, se l'udibilità delle informazioni acustiche è consentita dall'amplificazione, i vantaggi dell' udito binaurale per le persone audiolese sono considerevoli quasi quanto per i normoudenti. Nondimeno, alcuni fattori presenti nell'uso di apparecchi acustici bilaterali possono ancora disturbare certe informazioni acustiche binaurali.

La Direzionalità Binaurale II con Ascolto Naturale consente un'elaborazione acustica binaurale. Grazie all'uso della tecnologia wireless di quarta generazione a 2.4 GHz e al suo inserimento nell'apparecchio acustico ReSound LiNX2™, Direzionalità Binaurale II consente all'ascoltatore di far uso in modo naturale delle strategie di ascolto fondate sull'orecchio migliore e sulla percezione. E' integrata da Ascolto Naturale, modellato sui processi naturali dell'apparato uditivo periferico per fornire al cervello i segnali migliori, potenziando la localizzazione e la qualità del suono. In tal modo, il cervello può eseguire senza fatica ciò che nessun sistema di apparecchi acustici potrà mai fare. Gli utilizzatori di apparecchi acustici possono facilmente orientarsi nel loro ambiente, prestare attenzione selettivamente ai suoni di loro interesse e spostare la loro attenzione da un suono all'altro.

## ELABORAZIONE BINAURALE E APPARECCHI ACUSTICI

In riferimento agli apparecchi acustici, l'espressione

"elaborazione binaurale" è giunta ad indicare lo scambio di informazioni tra gli apparecchi per potenziare l'elaborazione del segnale a beneficio dell'utilizzatore di apparecchi acustici. Tuttavia, gli esempi di elaborazione binaurale negli apparecchi acustici si basano perlopiù sul presupposto che il suono di interesse per l'utilizzatore possa essere determinato con precisione dal sistema di apparecchi acustici. Questo presupposto non solo è un grande errore, ma impedisce inoltre al cervello di eseguire in maniera naturale l'elaborazione acustica binaurale.

L'elaborazione binaurale negli apparecchi acustici normalmente utilizza tipicamente la comunicazione fra gli apparecchi per individuare e potenziare il segnale del parlato più forte presente nell'ambiente. La moderna tecnologia degli apparecchi acustici ha reso possibile non soltanto l'uso di tale tecnologia per amplificare preferenzialmente i suoni provenienti da qualsiasi direzione rispetto all'utilizzatore, ma anche la capacità di eseguire tale operazione in maniera automatica. La Figura 1 illustra la logica di tale sistema. Le caratteristiche acustiche vengono estratte dal segnale captato da ciascun apparecchio. Tali caratteristiche vengono confrontate e analizzate, creando una "scena acustica". La scena acustica classifica i tipi di suoni presenti nell'ambiente nonché la direzione generale di certi suoni, in particolare del parlato. Sulla base della scena acustica, il sistema di apparecchi applica varie tecnologie fra cui la direzionalità, l'attenuazione del rumore e il guadagno per amplificare preferenzialmente il segnale del parlato più intenso.

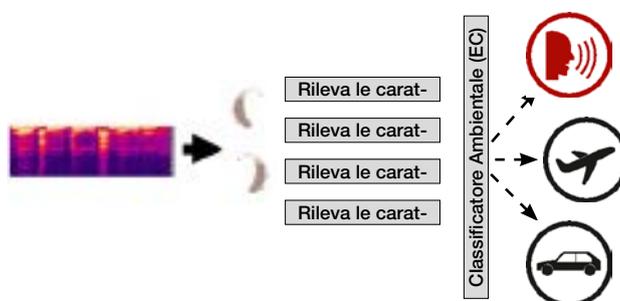


Figura 1. Gli apparecchi acustici con elaborazione binaurale cercano perlopiù di identificare e valorizzare il parlato più forte nell' ambiente senza considerare le intenzioni dell' ascoltatore.

Il fondamento logico di questo metodo è che consente una strategia di ascolto fondata sull'orecchio migliore amplificando il parlato in un orecchio o quello proveniente da una data direzione e attenuando il rumore nell'orecchio opposto o proveniente da altre direzioni. Superficialmente, è una cosa sensata. Imita il fenomeno che si verifica naturalmente quando l'ascoltatore muove la testa o si china verso una fonte di parlato che gli interessa ascoltare per potenziarne l'udibilità, utilizzando il lato avente il migliore rapporto segnale-rumore. Una tale strategia può migliorare il rapporto segnale-rumore nell' orecchio migliore di 8 dB o più (1). Tuttavia, emerge un problema poichè il sistema decide per conto dell'utilizzatore quale sia in un dato momento il suono più importante presente nell' ambiente.

Quasi ogni situazione di ascolto offre esempi del motivo per cui l'elaborazione binaurale negli apparecchi acustici eseguita in questo modo crei svantaggi per l'ascoltatore. Questo perché gli ambienti di ascolto del mondo reale sono dinamici. Il segnale di interesse e i rumori in competizione possono spostarsi, e modificarsi. Il parlato che in un determinato momento ci interessa ascoltare, diventa un momento dopo la fonte di rumore in competizione. Un ristorante rumoroso viene molto spesso utilizzato come esempio di quanto sia vantaggiosa negli apparecchi acustici l'elaborazione binaurale sopra descritta. Finché la situazione rimane statica e l'utilizzatore desidera ascoltare, da un'unica direzione una sola persona che parla, questo può essere il metodo desiderabile. Ma quando il parlato che si desidera ascoltare si sposta dal lato destro al sinistro rispetto a chi ascolta e poi viceversa, ed inoltre quando da dietro si presenta un ulteriore messaggio verbale, che ci interessa ascoltare, per esempio un cameriere, l'ascoltatore è limitato dalle informazioni che a giudizio del sistema di apparecchi acustici sono quelle più importanti.

Chiunque esegua il fitting sugli apparecchi acustici conosce bene l'espressione "beneficio della direzionalità", che quantifica il miglioramento del rapporto segnale-rumore per un segnale proveniente da una particolare direzione (di solito davanti all'ascoltatore) offerto dall'elaborazione binaurale. Ma cosa succede quando il segnale di interesse proviene da una direzione diversa, come avverrà il più delle volte ed in certi momenti nelle situazioni di ascolto del mondo reale? Il segnale fuori asse non solo non verrà potenziato di preferenza, ma verrà in effetti soppresso. La misura

in cui ciò avviene dipende dall'angolo di incidenza e dalle caratteristiche direzionali del sistema. Quando i segnali fuori asse sono segnali di interesse, l'effetto dell'elaborazione direzionale diventa un "deficit della direzionalità", vale a dire che è nocivo all'udibilità del suono desiderato.

Per ridurre il deficit della direzionalità e la natura limitante di questo tipo di elaborazione binaurale degli apparecchi acustici, gli ascoltatori normalmente adottano strategie di orientamento tramite movimenti della testa. Si tratta di piccoli movimenti della testa che gli ascoltatori eseguono naturalmente per trarre un senso dall'ambiente acustico e favorire la localizzazione e la concentrazione sui segnali di interesse. I movimenti della testa offrono informazioni acustiche supplementari che il cervello può utilizzare efficacemente a questo scopo. Nel caso in cui sia applicata una tecnologia agli apparecchi acustici che potenzi un segnale particolare, e l'effettivo segnale di interesse provenga da una direzione diversa, si presume che i movimenti compensatori della testa consentano all'utilizzatore di orientarsi rapidamente verso il suono desiderato. Così, nell'esempio del ristorante rumoroso, si presume che questo comportamento consenta all'utilizzatore di seguire la conversazione in corso nelle sue vicinanze.

Brimijoin e colleghi (2) hanno seguito i movimenti della testa di ascoltatori provvisti di microfoni direzionali che offrivano una direzionalità locale forte oppure debole, per mettere alla prova l'idea secondo cui la direzionalità potrebbe complicare il comportamento naturale di orientamento. Hanno chiesto ai partecipanti di localizzare una persona che parla su uno sfondo di conversazioni diffuse. I risultati indicano che gli ascoltatori provvisti di apparecchi acustici a forte direzionalità non solo impiegavano più tempo a localizzare il parlato di interesse per l'ascolto, ma evidenziavano anche maggiori movimenti del capo e perfino allontanavano la testa rispetto alla sorgente prima di localizzare il segnale di riferimento. Ciò costituisce una netta differenza nella strategia adottata quando si portano apparecchi acustici fortemente direzionali in confronto a quelli che offrono una direzionalità scarsa o nulla. Invece di un semplice movimento di orientamento, gli ascoltatori che portavano microfoni fortemente direzionali adottavano un comportamento di ricerca più complesso. Gli autori ipotizzano che il comportamento di ricerca più lungo e più complesso comporti una maggiore perdita del nuovo segnale di riferimento in situazioni come una conversazione con più persone che parlano in un

ristorante rumoroso. Nel complesso, questo cambiamento di strategia conduce a un ascolto più faticoso, il che è totalmente in contrasto con l'effetto desiderato da tale elaborazione.

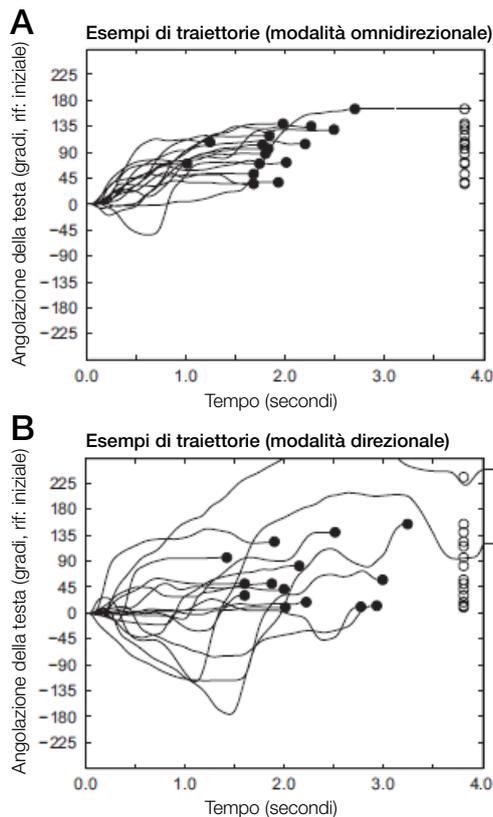


Figura 2. Esempi di traiettorie di movimenti della testa per localizzare come riferimento una persona che parla con l'uso di microfoni omnidirezionali (diagramma in alto) o direzionali (diagramma in basso). Il tracciato dei movimenti della testa è più complesso e i partecipanti impiegano più tempo a localizzare il segnale di riferimento se portano microfoni direzionali. Ciò illustra un cambiamento di strategia da semplice comportamento di orientamento a una ricerca attiva più faticosa (2).

## CONSENTIRE LA VERA ELABORAZIONE BINAURALE

Surround Sound by ReSound™ è un sistema brevettato di elaborazione del segnale, fondato sulla filosofia di creare un'esperienza d'ascolto naturale. Le tecnologie di Surround Sound by ReSound traggono ispirazione dai processi uditivi naturali e cercano di sfruttare la tecnologia per aiutare - non sostituire- l'udito naturale. Direzionalità Binaurale™II con Ascolto Naturale esemplifica questa filosofia. Include una strategia binaurale di regolazione dei microfoni che consente agli utilizzatori di apparecchi acustici di adottare strategie d'ascolto molto differenti, e la incrementa con un'elaborazione volta a potenziare il senso uditivo dello spazio, progettata in base alle conoscenze riguardo la fisiologia uditiva e all'acustica dell'orecchio libero.

## STRATEGIE DI ASCOLTO BINAURALI

Come indicato in precedenza, una strategia adottata dagli ascoltatori è definita "strategia dell'orecchio migliore". Con tale strategia, gli ascoltatori modificano la loro posizione in relazione al suono desiderato per massimizzare l'udibilità di tale suono, e si affidano all'orecchio con la migliore rappresentazione (rapporto segnale-rumore) di tale suono. I diagrammi di direzionalità di entrambi gli orecchi contribuiscono a questa capacità di concentrazione (3), dove un ruolo cruciale è svolto dall'effetto ombra della testa. La combinazione delle caratteristiche di direzionalità dei due orecchi formano un fascio concentrato dal punto di vista percettivo che l'ascoltatore può sfruttare a seconda dell'ubicazione del segnale di interesse. Un'estensione del modello di strategia dell'orecchio migliore comprende gli effetti della direzionalità omnidirezionale nell'ascolto binaurale per descrivere la capacità dell'ascoltatore di rimanere connesso e percepire il paesaggio sonoro circostante. La dove l'effetto ombra della testa svolge un ruolo nel migliorare il rapporto segnale-rumore in uno dei due orecchi, la strategia della percezione si basa sul fatto che i due orecchi, per via della loro collocazione geometrica sulla testa, consentono alla testa di essere trasparente dal punto di vista acustico e mantengono l'ascoltatore connesso all'ambiente di ascolto. L'ascoltatore può sfruttare a piacere la strategia dell'orecchio migliore oppure la strategia della percezione.

Una analogia di queste due strategie è presente nella sfera visiva. Con l'occhio destro chiuso, le persone con un'elaborazione visiva normale vedranno un'immagine solida del lato sinistro del naso, dove il naso stesso blocca le informazioni visive provenienti dalla destra del naso. Il contrario avviene se si chiude l'occhio sinistro. Il naso è analogo all'ombra della testa nella sfera uditiva, dove alcune informazioni acustiche provenienti da un lato della testa non sono disponibili per l'orecchio opposto. Con entrambi gli occhi aperti, i due lati del naso sono visibili ma trasparenti, cosicché è pure visibile un'immagine fusa dell'intero campo visivo di ciascun occhio. È possibile scegliere di concentrarsi sul naso oppure di ignorare questa informazione visiva e concentrarsi su qualcos'altro nel campo visivo. Nella sfera uditiva, le strategie di ascolto binaurali consentono di concentrarsi su un suono particolare, sfruttando il migliore rapporto segnale-rumore o di tenere sotto controllo l'intera scena uditiva per mezzo della trasparenza acustica della testa.

## DIREZIONALITÀ BINAURALE II

Con Direzionalità Binaurale II il cervello riceve tutti i suoni in ingresso e può scegliere di prestare attenzione a certi segnali della scena uditiva, facendo uso tanto della strategia dell'orecchio migliore quanto di quella della percezione. Tali strategie possono essere utilizzate dall'ascoltatore provvisto di apparecchi acustici solo quando l'ambiente sonoro viene reso completamente accessibile tramite gli apparecchi acustici. Direzionalità Binaurale II regola la configurazione dei microfoni di due apparecchi acustici per consentire l'elaborazione del suono binaurale da parte del cervello. È l'unica strategia davvero binaurale, che sfrutta strategie di ascolto scientificamente dimostrate che includono gli effetti acustici e le strategie uditive di attenzione spaziale(3,4,5,6,7).

Direzionalità Binaurale II utilizza la tecnologia wireless di quarta generazione a 2,4 GHz della ReSound sulla piattaforma SmartRange™ per coordinare le modalità microfono nei due orecchi per una risposta binaurale ottimale. I rilevatori del parlato anteriori e posteriori su entrambi gli apparecchi acustici valutano la localizzazione del parlato rispetto all'ascoltatore. Viene inoltre analizzato l'ambiente per stabilire la presenza o assenza di rumore. Grazie alla trasmissione wireless, la decisione di commutare la modalità microfono per uno o entrambi gli apparecchi viene presa sulla base delle informazioni in ingresso ricevute dai quattro rilevatori del parlato nel sistema di apparecchi binaurali. Gli esiti possibili sono costituiti da una risposta omnidirezionale binaurale con Ascolto Naturale, una risposta direzionale bilaterale oppure una risposta direzionale asimmetrica. Tali esiti derivano da ricerche esterne riguardo alle risposte microfono ottimali dei due apparecchi acustici in differenti ambienti sonori. La Tabella 1 illustra la giustificazione di ciascuna possibile risposta microfonica binaurale.

Diagramma di direzionalità binaurale	Risultati delle ricerche
<b>Omnidirezionale bilaterale con Ascolto Naturale</b>	In ambienti silenziosi, la risposta omnidirezionale bilaterale risulta nettamente preferita dagli utilizzatori (8,9).
<b>Direzionale bilaterale</b>	La risposta direzionale bilaterale offre il massimo dei benefici quando il segnale del parlato si trova prevalentemente davanti all'ascoltatore (10).

<b>Direzionale e omnidirezionale asimmetrico</b>	La risposta direzionale per un apparecchio acustico e la risposta omnidirezionale per l'altro apparecchio possono migliorare la facilità di ascolto e la percezione dell'ambiente in confronto al fitting direzionale fisso bilaterale, (11) senza degradare in maniera significativa il beneficio della direzionalità (11,12). Inoltre, quando il parlato si trova di fianco all'ascoltatore in un ambiente rumoroso, si può conseguire la massima intelligibilità se l'apparecchio acustico sullo stesso lato del parlato è in modalità omnidirezionale e l'apparecchio acustico opposto è in modalità direzionale (13,14).
--	---

Tabella 1. I risultati degli studi sulla risposta microfonica binaurale ottimale sono stati fondamentali per lo sviluppo delle quattro risposte microfoniche bilaterali con la Direzionalità Binaurale II.

I dati interni sugli esercizi di riconoscimento del parlato in competizione corroborano i fondamenti logici delle diverse modalità microfoniche. Ascoltatori audiolesi sono stati sottoposti a prove con differenti configurazioni di modalità microfono in condizioni che teoricamente favorirebbero una particolare risposta. Quando il parlato viene presentato frontalmente e il rumore dietro l'ascoltatore, si ritiene che la risposta direzionale bilaterale fornisca il massimo beneficio, e la Direzionalità Binaurale in tali condizioni si commuterà sulla direzionalità bilaterale. La Figura 3 illustra come questa modalità microfono offra il miglioramento massimo nel rapporto segnale-rumore.

#### Condizioni di prova

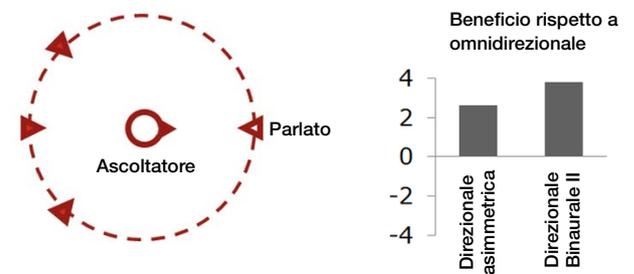


Figura 3. Con parlato davanti all'ascoltatore e rumore dietro, la risposta direzionale bilaterale offre il massimo beneficio della direzionalità. Direzionalità Binaurale II in queste condizioni si commuta sulla modalità microfono direzionale bilaterale.

Invece il parlato che si presenti da una direzione diversa dal davanti può dare origine a un deficit della direzionalità. Quando il parlato veniva presentato alla destra dell'ascoltatore e il rumore alla sinistra, si evidenziava un deficit della direzionalità per la condizione direzionale asimmetrica fissa. In tale condizione l'orecchio destro era sempre direzionale e l'orecchio sinistro era sempre omnidirezionale. Anche Direzionalità Binaurale II fornisce in tali condizioni una risposta asim-

metrica, con l'eccezione che il sistema viene regolato in modo da fornire in una tale situazione direzionalità all'orecchio sinistro e omnidirezionalità all'orecchio destro. In tal modo si garantisce l'udibilità del parlato, permettendo all'utilizzatore di far uso della strategia di ascolto della percezione. Come previsto, le prestazioni con Direzionalità Binaurale II in tale situazione non erano significativamente diverse da quelle omnidirezionali, come dire che il deficit della direzionalità era eliminato.

#### Condizioni di prova

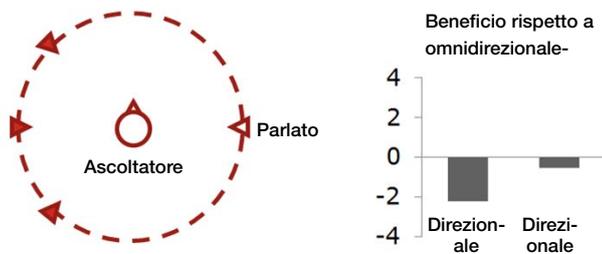


Figura 4 Quando il parlato viene presentato da un lato e il rumore dall'altro, si nota un deficit della direzionalità per la condizione asimmetrica, in cui l'orecchio destro è sempre direzionale. Anche Direzionalità Binaurale II offre una risposta asimmetrica in tale situazione, ma con direzionalità all'orecchio sinistro. In tal modo si cancella il deficit della direzionalità, col risultato di una prestazione non significativamente diversa dall'omnidirezionalità.

Con una strategia di regolazione dei microfoni, è cruciale che in ciascun ambiente di ascolto venga selezionata la modalità ottimale. I risultati della rilevazione dati per ventinove partecipanti alla prova che portavano gli apparecchi acustici per un periodo di quattro settimane corroborano il fatto che la regolazione delle modalità microfono offra la risposta desiderata in situazioni di ascolto variabili. Tali risultati indicano che gli apparecchi acustici si trovavano in modalità Omnidirezionale Bilaterale con Ascolto Naturale nel 78% del tempo, e in qualche forma di modalità direzionale (Direzionale Bilaterale o Direzionale Asimmetrica) nel 22% del tempo di uso. Ciò è grossomodo concorde con le ricerche pubblicate, secondo cui l'elaborazione omnidirezionale risulta appropriata nel 70% del tempo e l'elaborazione direzionale è benefica nel rimanente 30% del tempo. Inoltre è esattamente concorde con i risultati di sondaggi fra utilizzatori di apparecchi acustici provvisti di direzionalità commutabile, i quali conoscevano e utilizzavano la funzione direzionale. Tali utilizzatori riferivano in media di trascorrere il 78% del tempo di uso con una configurazione microfono omnidirezionale bilaterale e il restante 22% del tempo con una configurazione direzionale bilaterale (15)

#### Distribuzione delle risposte Bilaterali del microfono per Direzionalità Binaurale™

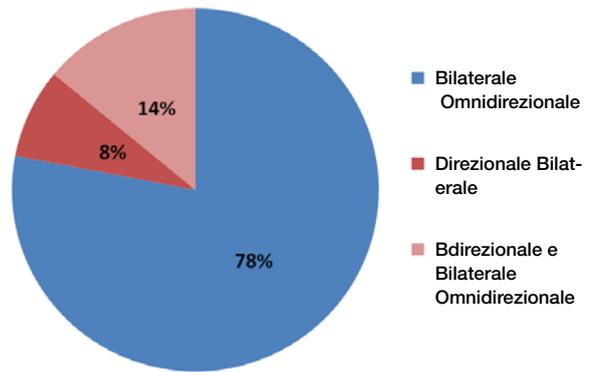


Figura 5 Risultati della rilevazione dati che indicano il tempo di uso medio in differenti configurazioni di modalità microfono con Direzionalità Binaurale II.

### POTENZIAMENTO DELLA LOCALIZZAZIONE E DELLA QUALITÀ DEL SUONO CON ASCOLTO NATURALE

Come indicato, gli utilizzatori che dispongono di Direzionalità Binaurale II probabilmente trascorreranno gran parte del tempo di uso degli apparecchi acustici in situazioni relativamente tranquille dove verrà selezionata una risposta omnidirezionale bilaterale. Si è inoltre dimostrata una forte preferenza per l'omnidirezionalità in situazioni di ascolto silenziose, e tale preferenza probabilmente è dovuta alla qualità del suono. Surround Sound by ReSound™ si è dimostrato di prim'ordine in termini di qualità del suono,(16) ma potrebbe forse migliorare ancora?

Si consideri la qualità sonora del suono riprodotto, per esempio quando si ascolta musica o parlato tramite cuffie stereo. Se è una registrazione stereo, vi è la possibilità che l'ascoltatore percepisca il suono più verso sinistra, verso destra o al centro. Tuttavia sembrerà che tali suoni si presentino direttamente nella testa. Anche se la qualità della riproduzione sonora è giudicata molto elevata, all'ascoltatore non sembrerà di trovarsi nella reale situazione di ascolto. Pertanto al suono mancherà un aspetto di naturalezza così come mancherà la spazialità di una reale situazione di ascolto.

Con udito spazializzato si indica la capacità dell'ascoltatore di separare il flusso sonoro in arrivo in oggetti dell'ascolto, col risultato di una rappresentazione interna della scena uditiva. Un oggetto dell'ascolto è una valutazione percettiva delle informazioni sensoriali in ingresso provenienti da un particolare oggetto fisico del mondo esterno (17). Per esempio, gli oggetti dell'ascolto in una scena sonora di cucina possono includere il rumore della porta del frigorifero che si apre, il suono dell'acqua che scorre nel lavello, il

rumore di una cipolla che viene tritata. La capacità di creare questi oggetti dell'ascolto e collocarli nello spazio consente all'ascoltatore di scegliere e spostare l'attenzione in maniera rapida e fluida da un oggetto all'altro. Inoltre la formazione di una scena uditiva offre un'esperienza di ascolto dal suono naturale.

L' apparato uditivo deve costruire questa rappresentazione spaziale associando molteplici informazioni acustiche in ingresso. Tra queste vi sono le differenze nel tempo di arrivo dei suoni per arrivare a ciascun orecchio (Differenza interaurale di tempo – IDT), le differenze di livello dei suoni che giungono a ciascun orecchio.(Differenza interaurale di intensità – ILD) nonché le informazioni spettrali al padiglione auricolare. Anche i movimenti della testa apportano contributi importanti poiché l'apparato uditivo spazializzato analizza rapidamente come si modificano i rapporti fra tali informazioni. Intralciando una qualunque di tali informazioni si interferisce con l'udito spazializzato, ed è ben noto che gli apparecchi acustici possono distorcere alcune o tutte.

Ascolto Naturale è una straordinaria tecnologia di Surround Sound by ReSound™ che affronta le tre questioni relative agli apparecchi acustici in grado di interferire con le informazioni spaziali:

1. La collocazione dei microfoni al di sopra del padiglione auricolare nelle tipologie retroauricolare (BTE) e ricevitore nell'orecchio (RIE) elimina le informazioni spettrali al padiglione auricolare (18,19).
2. La collocazione dei microfoni al di sopra del padiglione auricolare nelle tipologie BTE e RIE distorce la ILD (20).
3. La Compressione di gamma dinamica ampia a funzionamento indipendente in due apparecchi acustici con fitting bilaterale può distorcere la ILD (21).

### COME FUNZIONA ASCOLTO NATURALE

Ascolto Naturale integra due tecnologie al fine di preservare le informazioni acustiche per l'udito spazializzato: il ripristino dell'effetto pinna e la compressione binaurale. Il ripristino dell'effetto pinna compensa la perdita delle informazioni spettrali al padiglione auricolare e consente una stima accurata della reale ILD al timpano dell' utilizzatore di apparecchi acustici. Questo tipo di elaborazione utilizza due microfoni e si basa sullo stesso principio dell'elaborazione direzionale. Mentre l'obiettivo dell'elaborazione direzionale è di massimizzare il miglioramento del rapporto seg-

nale- rumore per i suoni provenienti da una particolare direzione, il ripristino dell' effetto pinna è offrire caratteristiche di direzionalità che assomigliano a quelle del canale uditivo libero per i suoni provenienti da ogni angolazione. Un esempio di come operi in Ascolto Naturale l'algoritmo di ripristino dell'effetto pinna è illustrato nella Figura 6. Queste misurazioni sono state eseguite all'orecchio destro. I diagrammi superiori indicano l'attenuazione (rosso = nessuna attenuazione; blu = forte attenuazione) nel canale uditivo libero per suoni che giungono al canale uditivo da tutte le angolazioni attorno alla testa. Si noti che l'attenuazione minima ha luogo sul lato destro e quella massima sul lato sinistro. Ciò è dovuto principalmente all'effetto ombra della testa. Per le angolazioni da davanti a dietro la testa sul lato destro, il tracciato dell'attenuazione è per lo più dovuto al padiglione auricolare. Il diagramma in basso a sinistra indica il tracciato di attenuazione quando il microfono dell'apparecchio acustico è collocato al di sopra del padiglione auricolare come avviene per gli apparecchi BTE e RIE.

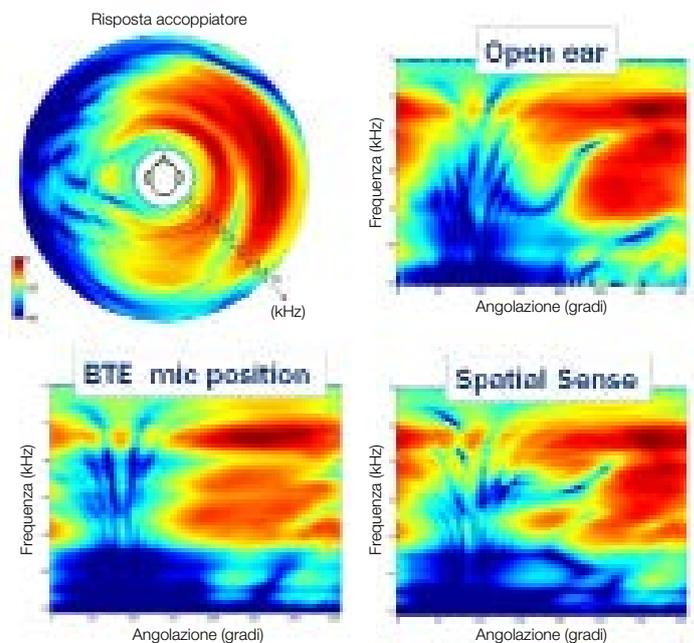


Figura 6. Attenuazione a ciascuna angolazione per orecchio destro libero, posizione microfono BTE e ripristino dell'effetto pinna con Ascolto Naturale. Il rosso scuro indica un'attenuazione scarsa o nulla. Si noti come il caratteristico tracciato di attenuazione dell'orecchio libero sia imitato da Ascolto Naturale.

Il tracciato caratteristico sullo stesso lato della testa

è radicalmente mutato rispetto alla situazione con l'orecchio libero. Lo si confronti col diagramma in basso a destra, dove le misurazioni sono state effettuate con posizione del microfono sopra il padiglione auricolare e Ascolto Naturale attivato. Il caratteristico tracciato dell'attenuazione sul lato destro della testa è ben preservato.

L'altra componente dell'Ascolto Naturale è un algoritmo di compressione binaurale. Questo tipo di elaborazione cerca di preservare le informazioni sulla ILD che possono ridursi quando si applica la compressione di gamma dinamica ampia in maniera indipendente in una coppia di apparecchi con fitting bilaterale. Poiché i suoni che giungono all'orecchio più lontano dalla sorgente sonora saranno meno intensi rispetto ai suoni che giungono all'orecchio più vicino alla sorgente sonora, la compressione applicherà un guadagno relativamente maggiore al suono più debole nell'orecchio lontano. Sebbene le informazioni sulla ILD, particolarmente rilevanti alle alte frequenze, svolgano un ruolo minore nella capacità di localizzazione rispetto alle informazioni sulla ITD, preservare il rapporto naturale tra le informazioni su ITD e ILD è comunque un fattore importante per un'accurata spazializzazione (22,23)

La componente di compressione binaurale di Ascolto Naturale si basa in parte sulla precisione del ripristino dell'effetto pinna e in parte sullo scambio wireless di dati fra i due apparecchi acustici. L'entità della pressione sonora al timpano è fortemente influenzata dall'angolazione della sorgente sonora, col risultato di una ILD fino a 20 dB in funzione dell'angolo di incidenza sulle alte frequenze (24,25). Udesen e colleghi (20) riferiscono gli effetti sulla ILD di 46 diverse collocazioni del microfono nell'orecchio esterno o attorno a questo. Sebbene gli esseri umani siano sensibili a variazioni della ILD di appena 0,5 dB, gli autori hanno rilevato errori di 30 dB e oltre a seconda dell'interazione fra angolazione del suono incidente e posizione del microfono. Alcuni fra gli errori maggiori si verificavano con posizioni tipiche degli apparecchi acustici BTE e RIE. Poiché un algoritmo di compressione binaurale cerca di preservare la ILD, è cruciale poter stimare la ILD che possa corrispondere a quella dell'orecchio libero. Come illustrato in Figura 6, il ripristino dell'effetto pinna consente tale capacità.

Coerente con la filosofia ReSound alla base di Surround Sound by ReSound™, la compressione binaurale è ispirata alla fisiologia dell'orecchio con funzionamento normale. Molti audioprotesisti conoscono

bene gli effetti dell'innervazione efferente dell'apparato uditivo. Tali effetti possono essere dimostrati tramite la misurazione delle otoemissioni acustiche (OAE). Se si stimola un orecchio, nell'orecchio opposto si osserva l'inibizione dell'attività delle cellule cigliate esterne (riflessa nella ridotta ampiezza delle OAE) (26,27). Tale comportamento lascia supporre una riduzione di sensibilità per l'orecchio più lontano dai suoni salienti, indicando che l'attenuazione rumore può essere vantaggiosa. Questo tipo di attività uditiva efferente ha luogo quando il segnale viene trasportato dall'orecchio stimolato al cervello, e il cervello quindi invia un segnale di controllo all'orecchio opposto. Si basa sull'intersecarsi delle informazioni da entrambi gli orecchi a entrambi i lati del cervello. Nel caso di ipoacusia dovuta a danneggiamento delle cellule cigliate, si può presumere che l'attività uditiva efferente sia ridotta. Il metodo ReSound di compressione binaurale è straordinario nel senso che utilizza la comunicazione wireless da orecchio a orecchio degli apparecchi acustici per imitare l'intersecarsi dei segnali da orecchio a orecchio attraverso il cervello (28). La correzione del guadagno dell'apparecchio acustico per preservare la ILD sarà effettuata nell'orecchio col segnale meno intenso. Questo serve a imitare gli effetti inibitori degli efferenti uditivi. Altri sistemi di apparecchi acustici wireless eseguono la compressione binaurale correggendo il guadagno in entrambi gli apparecchi di una quantità che dovrebbe contrastare soltanto gli effetti di sommatoria dell'intensità sonora binaurale.

La Figura 7 illustra come Ascolto Naturale sia modellato sull'orecchio naturale includendo il ripristino dell'effetto pinna per una stima accurata della ILD, lo scambio di informazioni wireless per imitare l'intersecarsi dei segnali fra gli orecchi, e la correzione della ILD sulla base dell'orecchio col segnale meno intenso per imitare gli effetti inibitori degli effetti uditivi efferenti.

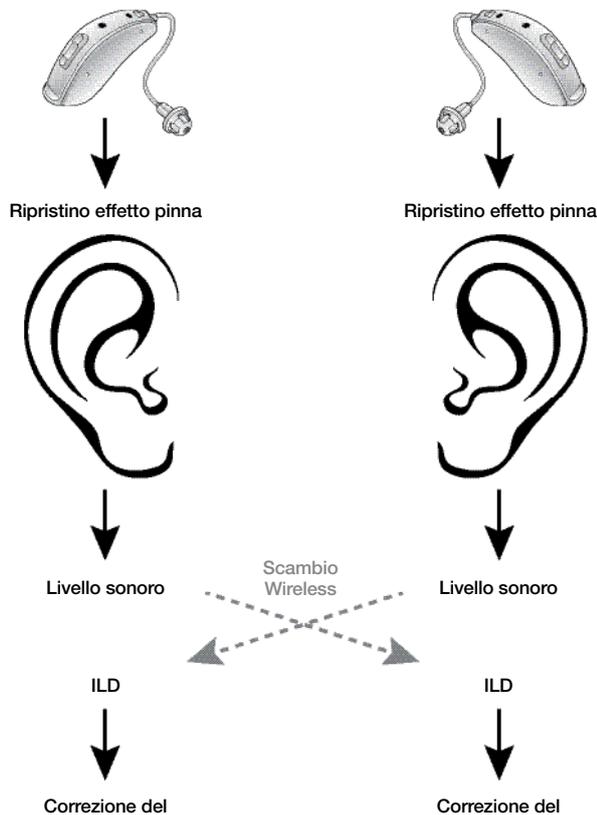
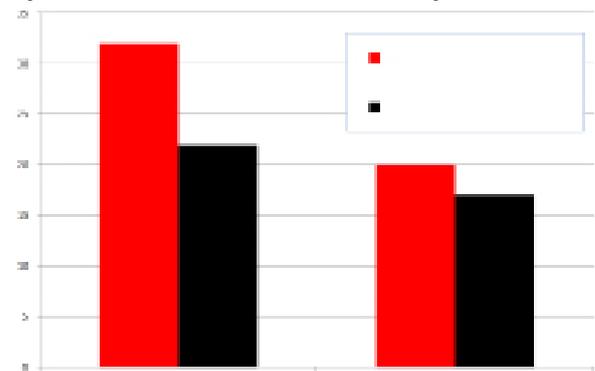


Figura 7: Il collegamento wireless fra gli apparecchi acustici è analogo all'intersecarsi dei segnali fra gli orecchi nell'apparato uditivo. Ciò contribuisce a preservare i livelli di ILD, imitando e rispondendo in maniera molto simile ai normali processi uditivi.

### PROVE A SOSTEGNO DI ASCOLTO NATURALE

Gli esperimenti di laboratorio sulle prestazioni di localizzazione da parte di ascoltatori audiolesi hanno evidenziato un netto beneficio di Ascolto Naturale rispetto all'elaborazione omnidirezionale. La Figura 8 illustra il miglioramento per dieci partecipanti in termini sia di riduzione della confusione davanti-dietro sia di errori complessivi di localizzazione per i suoni provenienti da molteplici angolazioni attorno all'ascoltatore. Sebbene il miglioramento della localizzazione davanti-dietro possa essere attribuito al solo ripristino dell'effetto pinna, il miglioramento complessivo della localizzazione si basa sulla combinazione di algoritmi di Ascolto Naturale.

Figura 8. Gli errori di localizzazione davanti-dietro e gli errori di localizzazione



complessivi per suoni provenienti da molteplici angolazioni si riducono con Ascolto Naturale.

Nove partecipanti inoltre portavano apparecchi acustici programmati con Direzionalità Binaurale e Direzionalità Binaurale II con Ascolto Naturale in un esperimento di crossover a singolo cieco. Per ognuno dei due casi i partecipanti hanno risposto a un questionario su parlato, spazialità e qualità dell'udito (SSQ) (29) e a un questionario di valutazione soggettiva. Un esito generale è stato che le valutazioni si raggruppavano nella direzione positiva indipendentemente dal fatto che i partecipanti valutassero Direzionalità Binaurale o Direzionalità Binaurale II con Ascolto Naturale. Questo avvalorava le prestazioni eccezionali e l'ottima qualità sonora di prodotti esistenti come ReSound LiNX™ e ReSound Verso™, provvisti di Direzionalità Binaurale. Non si sono osservate differenze significative tra le situazioni, tranne la "facilità di ascolto" nel questionario SSQ e la qualità tonale nel questionario di valutazione soggettiva. In entrambi i casi a Direzionalità Binaurale II con Ascolto Naturale veniva assegnata la valutazione significativamente più elevata.

## REFERENCES

1. Bronkhorst AW, Plomp R. The effect of head induced interaural time and level differences on speech intelligibility in noise. *J Acoust Soc Am*. 1988;83: 1508 – 1516.
2. Brimijoin WO, Whitmer WM, McShefferty D, Akeroyd MA. The effect of hearing aid microphone mode on performance in an auditory orienting task. *Ear Hear*. 2014; 35(5); e204-e212.
3. Zurek PM. Binaural advantages and directional effects in speech intelligibility. In G. Studebaker & I. Hochberg (Eds.), *Acoustical Factors Affecting Hearing Aid Performance*. Boston: College-Hill, 1993.
4. Akeroyd MA. The across frequency independence of equalization of interaural time delay in the equalization cancellation model of binaural unmasking. *J Acoust Soc Am*. 2004;116;1135–48.
5. Edmonds BA, Culling JF. The spatial unmasking of speech: evidence for within-channel processing of interaural time delay. *J Acoust Soc Am*. 2005;117;3069–78.
6. Shinn-Cunningham B, Ihlefeld A, Satyavarta, Larson E. Bottom-up and Top-down Influences on Spatial Unmasking. *Acta Acustica united with Acustica*. 2005;91; 967-79.
7. Simon H, Levitt H. Effect of dual sensory loss on auditory localization: Implications for intervention. *Trends Amplif*. 2007;11;259-72.
8. Walden B, Surr R, Cord M, Dyrland O. Predicting hearing aid microphone preference in everyday listening. *J Am Acad Audiol*. 2004;15;365-96.
9. Walden B, Surr R, Cord M, Grant K, Summers V, Dittberner A. The robustness of hearing aid microphone preferences in everyday environments. *J Am Acad Audiol*. 2007;18;358-79.
10. Hornsby B. Effects of noise configuration and noise type on binaural benefit with asymmetric directional fittings. Seminar presented at: 155th Meeting of the Acoustical Society of America; June 30-July 4, 2008; Paris, France.
11. Cord MT, Walden BE, Surr RK, Dittberner AB. Field evaluation of an asymmetric directional microphone fitting. *J Am Acad Audiol*. 2007;18;245-56.
12. Bentler RA, Egge JLM, Tubbs JL, Dittberner AB, Flamme GA. Quantification of directional benefit across different polar response patterns. *J Am Acad Audiol*. 2004;15;649-59.
13. Hornsby B, Ricketts T. Effects of noise source configuration on directional benefit using symmetric and asymmetric directional hearing aid fittings. *Ear Hear*. 2007;28;177-86.
14. Coughlin M, Hallenbeck S, Whitmer W, Dittberner A, Bondy J. Directional benefit and signal-of-interest location. Seminar presented at: American Academy of Audiology 20th Annual Convention; 2008; Charlotte, NC.
15. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Olson L. Performance of directional microphone hearing aids in everyday life. *J Am Acad Audiol*. 2002; 13; 295-307.
16. Jespersen CT. Independent study identifies a method for evaluating hearing instrument sound quality. *Hear Rev*. 2014; 21(3); 36-40.
17. Shinn-Cunningham BG, Best V. Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends Amplif*. 2008; 12(4): 283-299
18. Orton JF, Preves D. Localization as a function of hearing aid microphone placement. *Hearing Instruments*. 1979: 30(1); 18-21.
19. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hearing Instruments*. 1985: 36(2); 20-24.
20. Udesen J, Piechowiak T, Gran F, Dittberner A. Degradation of spatial sound by the hearing aid. *Proceedings of ISAAR 2013: Auditory Plasticity – Listening with the Brain*. 4th symposium on audiology and Audiological Research. August 2013, Nyborg, Denmark. Dau T, Santurette S, Dalsgaard JC, Tanebjaerg L, Andersen T, Poulsen T eds.
21. Kollmeier 1993 check this
22. Weinrich SG. Improved externalization and frontal perception of headphone signals. Presentation at the 92nd Convention of the Audio Engineering Society, March 24-27, 1992, Vienna.
23. MacPherson EA, Middlebrooks. Binaural weighting of monaural spectral cues for sound localization. *J Acoust Soc Am*. 2007: 121 (6); 3677-3688.
24. Shaw EAG. Transformation of sound pressure level from the free field to the eardrum in the horizontal plane. *J Acoust Soc Am*. 1974: 56; 1848-1861.
25. Shaw EAG, Vaillancourt MM. Transformation of sound pressure level from the free field to the eardrum presented in numerical form. *J Acoust Soc Am*. 1985: 78; 1120-1123.
26. Berlin CI, Hood LJ, Hurley AE, Wen H, Kemp DT. Binaural noise suppresses linear click-evoked otoacoustic emissions more than ipsilateral or contralateral noise. *Hearing Research*. 1993: 87; 96-103.
27. Maison S, Micheyl C, Collet L. contralateral frequency-modulated tones suppress transient-evoked otoacoustic emissions in humans. *Hearing Research*. 1998: 117; 114-118.
28. Kates JM. Binaural compression system. US Patent Application 20040190734 A1, Published Sept. 30, 2004.
29. Gatehouse S, Noble W. The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale. *Int J Audiol*. 2004: 43(2); 85-99.





**Sede centrale**

ReSound A/S

Lautrupbjerg 7

DK-2750 Ballerup

Danimarca

Tel.: +45 45 75 11 11

Fax: +45 45 75 11 19

[www.resound.com](http://www.resound.com)