

Direzionalità Binaurale III: lo strumento direzionalità che assiste l'elaborazione uditiva naturale

Jennifer Groth, MA

SOMMARIO

Le differenze e le somiglianze fra i suoni in arrivo a ciascun orecchio, possono essere usate per incrementare o sopprimere a piacimento i suoni ambientali e ci consentono di spostare facilmente la nostra attenzione fra tali suoni. A seconda di quale sia il suono di interesse in un particolare momento, noi usiamo in via innata strategie di ascolto diverse e possiamo passare inconsciamente da una strategia che si affida alla percezione ambientale ad un'altra che fa affidamento sull'orecchio con la migliore rappresentazione del suono di interesse. Direzionalità Binaurale III offre la soluzione più equilibrata per assistere l'udito naturale: un miglioramento del rapporto segnale-rumore simile ai microfoni direzionali bilaterali e un beneficio significativo nella facilità di ascolto in confronto ad altre strategie con microfoni direzionali. Questo studio passa in rassegna il fondamento logico della Direzionalità Binaurale III e il modo in cui viene conseguito tale equilibrio.

Un supercomputer può battere un essere umano a scacchi, ma sa che cosa vorrebbe mangiare a pranzo quell'essere umano? Un computer che avesse seguito nel tempo le preferenze alimentari di una persona potrebbe forse provare a indovinare, ma il più delle volte continuerebbe a sbagliare previsione. Vi sono molti esempi di come l'intelligenza incorporata nei computer e nei dispositivi evoluti stia apprendendo le nostre abitudini e cercando di facilitarci la vita. Gli apparecchi acustici non fanno eccezione. Sebbene gran parte della capacità di elaborazione degli apparecchi acustici sia dedicata all'amplificazione e al trattamento del suono, vi sono anche algoritmi che gestiscono l'elaborazione acustica in base all'elaborazione dei suoni in ingresso. E proprio come nel caso del supercomputer e delle abitudini alimentari, un apparecchio acustico può effettuare una previsione sbagliata riguardo al segnale che l'utilizzatore desidera ascoltare. Tali previsioni sbagliate possono far sì che gli utilizzatori di apparecchi acustici trovino più difficile ascoltare ciò che vogliono ascoltare. Ecco perché ReSound da un decennio a questa parte si è concentrata sul modo di sfruttare la tecnologia per consentire agli utilizzatori di apparecchi acustici di ascoltare meglio in presenza di rumore, pur continuando a percepire tutti i suoni circostanti, analogamente a come li percepirebbe una persona normoudente.

Un tipo di comando automatico posseduto da ogni apparecchio acustico moderno è l'elaborazione direzionale, che indica la decisione da parte del sistema dell'apparecchio acustico di modificare la modalità microfono dell'apparecchio in modo da fornire una risposta omnidirezionale oppure direzionale. Col comando automatico della modalità microfonica l'utilizzatore di apparecchi acustici può trarre beneficio potenzialmente dall'elaborazione direzionale senza dover stabilire quando sia vantaggiosa e senza dover selezionare manualmente la modalità direzionale. Ma proprio come un computer potrebbe non

sapere che cosa vogliamo per pranzo, un apparecchio acustico non saprà sempre se per una data situazione sia migliore l'elaborazione direzionale oppure omnidirezionale. Questo perché l'intelligenza dell'apparecchio acustico non può conoscere le intenzioni dell'utilizzatore; i suoni importanti per la persona in un dato momento sono individuali e non prevedibili in base soltanto all'ambiente acustico. Applicare la direzionalità in certe situazioni può impedire all'utilizzatore di udire suoni che in realtà vuole ascoltare.

Come è possibile realizzare la direzionalità e la gestione della direzionalità rispettando le intenzioni dell'utilizzatore di apparecchi acustici? Per offrire un'esperienza di ascolto naturale e senza discontinuità, che offra i benefici della direzionalità senza i relativi svantaggi, sono importanti tre fattori. In primo luogo, è di grande rilevanza l'algoritmo decisionale. Il fondamento logico per selezionare una particolare modalità microfonica influenza le informazioni che in definitiva vengono trasmesse all'utilizzatore. In secondo luogo, è cruciale l'analisi dell'ambiente sonoro, che fornisce le informazioni per la decisione su come adattare l'elaborazione dell'apparecchio acustico. Infine, è importante l'elaborazione direzionale in sé, che dovrebbe fornire un migliore rapporto segnale-rumore senza creare problemi di udibilità o di qualità del suono.

ReSound ha messo a punto la Direzionalità Binaurale III prestando grande attenzione a ciascuno di questi tre fattori. In base a un'accurata analisi dell'ambiente sonoro, la Direzionalità Binaurale III applica in maniera straordinaria la tecnologia del microfono direzionale in modo da assistere strategie di ascolto differenti, consentendo all'utilizzatore di concentrarsi sui suoni per lui importanti. A seconda della particolare modalità microfonica, le tecnologie dedicate servono a fornire la migliore esperienza di ascolto. Una qualità del suono naturale è

ReSound GN
.....

fondamentale per la Direzionalità Binaurale III e il Directional Mix garantisce transizioni trasparenti fra le modalità microfono. Inoltre, Ascolto Naturale preserva le importanti informazioni di localizzazione che consentono di avere una percezione dello spazio e una qualità del suono più aderente all'ascolto naturale. Infine, i diagrammi polari delle diverse modalità microfoniche sono progettati minuziosamente, tenendo conto delle proprietà acustiche della testa, per garantire che l'ascoltatore possa concentrarsi o disconnettersi agevolmente dai suoni circostanti. La Direzionalità Binaurale III ottimizza le configurazioni di sensibilità per conseguire il migliore abbinamento fra parlato frontale e percezione spaziale.

QUANDO ATTIVARLA? L'IMPORTANZA DEL FONDAMENTO LOGICO

Non vi è dubbio che la direzionalità negli apparecchi acustici sia un modo efficace e misurabile di incrementare il rapporto segnale-rumore, e pertanto il riconoscimento del parlato, in situazioni rumorose^{1,2,3,4,5}. In ambienti di laboratorio si sono evidenziati miglioramenti tipici di 4 o 5 dB quando la sorgente di rumore è spazialmente separata dal parlato⁶ e il parlato proviene dalla direzione frontale ed è collocato vicino all'ascoltatore^{2,5}. Tuttavia in molte interazioni quotidiane gli ascoltatori devono prestare attenzione a suoni provenienti da luoghi diversi. Gran parte del tempo di ascolto attivo nel corso della giornata di una persona non sarà trascorsa di fronte a ciò che vuole sentire. Cord e collaboratori⁷ hanno riscontrato che gli utilizzatori di apparecchi acustici giudicano il segnale di interesse provenire da una direzione diversa da quella frontale in più del 30% del tempo. In questo studio i partecipanti hanno anche indicato che in certe situazioni di ascolto la direzione delle sorgenti sonore era "molteplice", a indicare che il suono di interesse si spostava oppure che vi erano più suoni di riferimento, o entrambe le cose. Pertanto un sistema che in situazioni rumorose passi automaticamente alla direzionalità su entrambi gli orecchi – anche se il sistema comprende una modalità di rilevazione del parlato – il più delle volte ridurrà l'udibilità di sorgenti sonore desiderate. Anche se le persone voltano la testa di continuo e con naturalezza verso il suono di interesse, gli ambienti del mondo reale sono imprevedibili e i suoni salienti in un dato momento possono provenire da ogni direzione. Le ricerche sull'alternarsi delle conversazioni in 10 lingue diverse del mondo indicano che le persone che parlano si alternano in meno di mezzo secondo, indipendentemente dalla cultura e dalla lingua. Per tenere il passo di tale comportamento è necessaria attenzione da parte degli ascoltatori⁸. La memoria di lavoro di una persona è limitata e, se si spendono risorse nei comportamenti di ricerca e orientamento, ne restano disponibili di meno per l'effettivo ascolto e la comprensione. In considerazione di ciò, l'uso della direzionalità può anche risultare svantaggioso, poiché non può fornire la stessa udibilità e la stessa percezione dei suoni circostanti di cui hanno naturalmente esperienza le persone normoudenti.

Da quasi un decennio, mentre l'industria degli apparecchi acustici si è concentrata sullo sviluppo della tecnologia dei microfoni direzionali in grado di fornire il massimo beneficio nel rapporto segnale-rumore in ambienti artificiali e controllati, ReSound ha seguito un percorso separato nell'applicazione della tecnologia dei microfoni direzionali. Ispirandosi a indagini che studiavano l'uso nella vita reale e le preferenze per le modalità microfoniche omnidirezionale e direzionale, i ricercatori di

ReSound hanno operato con collaboratori esterni per studiare e convalidare un modo diverso di applicare la direzionalità in grado di consentire agli utilizzatori di apparecchi acustici di udire meglio in situazioni rumorose senza essere privati della percezione dell'ambiente circostante⁹. Poiché gli ascoltatori in ambienti rumorosi si affidano all'orecchio con la migliore rappresentazione di ciò che vogliono udire, un'idea che è stata studiata è quella di fornire direzionalità a un orecchio e omnidirezionalità all'altro. Si è dimostrato che in tal modo si fornisce un beneficio della direzionalità quasi equivalente alla direzionalità su entrambi gli orecchi¹⁰, mentre l'orecchio omnidirezionale offre all'ascoltatore una maggiore udibilità dell'ambiente rispetto alla direzionalità su entrambi gli orecchi. Sorprendentemente, le differenti informazioni provenienti dai due orecchi a cui veniva applicata una strategia microfonica asimmetrica venivano percepite come un'unica immagine uditiva integrata e consentivano all'ascoltatore di concentrarsi sui suoni, monitorarli e spostare a piacimento l'attenzione verso suoni differenti. I problemi di questa strategia di fitting della modalità microfono erano che si potevano incontrare situazioni in cui la direzionalità bilaterale avrebbe fornito un beneficio leggermente migliore e che il parlato di interesse per l'ascoltatore poteva presentarsi sul lato dell'orecchio direzionale e non essere sufficientemente udibile. Alla fine, lo sviluppo della comunicazione da orecchio a orecchio con la piattaforma digitale wireless a 2,4 GHz di ReSound ha consentito ai due apparecchi acustici di operare in sinergia e risolvere tali questioni.

ReSound affina continuamente il suo metodo per utilizzare la tecnologia direzionale in modo da tener conto di quale esperienza avranno gli ascoltatori nella vita reale. Un utilizzatore di apparecchi acustici non è solo un paio di orecchi. Pertanto nella progettazione viene considerato l'intero apparato uditivo umano, dagli effetti acustici della forma e dell'ubicazione degli orecchi esterni sulla testa fino alla potenza di elaborazione binaurale da parte del cervello. Il fine ultimo non è di offrire agli utilizzatori di apparecchi acustici un udito "migliore del normale" in situazioni limitate; piuttosto che gli utilizzatori di apparecchi acustici adottino senza fatica i comportamenti sociali legati all'udito allo stesso modo di una persona normoudente e pertanto abbiano un'esperienza di ascolto naturale e trasparente.

Come implica il nome, la Direzionalità Binaurale III è la terza generazione della strategia di gestione della modalità microfonica a conseguire lo scopo di fornire un'esperienza di ascolto naturale. Al pari della Direzionalità Binaurale II¹¹, regola la configurazione microfonica di due apparecchi acustici per assistere il cervello nell'elaborazione del suono binaurale. È l'unica strategia veramente binaurale, che sfrutta strategie di ascolto dimostrate scientificamente in cui si incorporano effetti acustici e strategie uditive di attenzione spaziale^{12,13,14,15,16}.

La Direzionalità Binaurale III utilizza la tecnologia wireless a 2,4 GHz per coordinare le modalità microfoniche fra i due orecchi per una risposta binaurale ottimale. Viene rilevata la presenza e l'ubicazione del parlato frontale e posteriore su ciascun apparecchio acustico in presenza o assenza di rumore. Mediante la comunicazione wireless Ear-to-Ear viene presa la decisione di commutare la modalità microfonica in uno o in entrambi gli apparecchi acustici in base ai segnali in ingresso ricevuti dai quattro microfoni nella coppia di apparecchi binaurali. Fra gli esiti possibili vi sono una risposta omnidirezionale bilaterale

con Ascolto Naturale, una risposta direzionale bilaterale e una risposta direzionale asimmetrica. Tali esiti sono stati tratti da ricerche esterne riguardanti le risposte microfoniche ottimali di due apparecchi acustici in ambienti sonori diversi.

ANALISI AMBIENTALE: IL MIGLIORE RICONOSCIMENTO DEL PARLATO NEL RUMORE

Gli apparecchi acustici sono sempre più tecnologici e sono in grado di adattare l'amplificazione fornita negli ambienti acustici in cui vengono usati. Tutti questi apparecchi acustici, indipendentemente dalla ditta produttrice, cercano di riconoscere i suoni che probabilmente saranno importanti o non importanti per l'utilizzatore. Il metodo per conseguire questo obiettivo è definito da ciascuna ditta produttrice, anche se tutti i sistemi cercheranno come minimo di identificare gli ambienti silenziosi, quelli che contengono il parlato e quelli che contengono rumore. Alcuni potranno anche cercare di caratterizzare ulteriormente i tipi di rumore o di identificare la musica. Poiché le decisioni su come adattare i settaggi degli apparecchi acustici dipendono dal modo in cui il sistema di classificazione ambientale identifica i vari suoni, è di grande interesse considerare fino a che punto la classificazione corrisponda ad ambienti ben definiti. In tal modo si può fornire un'indicazione della probabilità che il sistema apporti modifiche appropriate.

Il sistema di riconoscimento ambientale di ReSound usa sofisticati algoritmi di rivelazione del parlato e del rumore basati sul livello di ingresso, sul contenuto di frequenze e sull'equilibrio dello spettro, nonché sulle proprietà temporali del suono in arrivo, per determinare la natura dell'ambiente acustico. Inoltre la classificazione non avviene secondo rigidi criteri prestabiliti, ma piuttosto in base a modelli probabilistici. Per valutare la precisione di questo sistema in confronto ad altri sistemi di classificazione ambientale per apparecchi acustici, si è testato l'apparecchio acustico più avanzato di sei ditte produttrici in una camera di prova Otometrics Aurical, esponendolo a suoni differenti e ben definiti per periodi che andavano da 2 a 22 ore. Le registrazioni sonore venivano ripetute ciclicamente durante il periodo di esposizione per garantire la coerenza dei segnali in ingresso. Dopo ciascun periodo di esposizione, l'apparecchio acustico veniva collegato al software di fitting della ditta produttrice e il risultato della classificazione ambientale veniva letto sullo schermo per la rilevazione dati.

Gli ambienti sonori erano i seguenti. Tutte le registrazioni sonore tranne "Silenzio" fanno parte del repertorio acustico del software Otometrics OtoSuite:

- *Silenzio*: nessun segnale
- *Rumore*: frullatore a 75 dB SPL
- *Rumore*: rumore bianco a 75 dB SPL
- *Rumore*: cocktail party a 75 dB SPL
- *Parlato nel rumore*: conversazione in un caffè, rumore di fondo a 75 dB SPL
- *Parlato nel rumore*: conversazione in una stazione ferroviaria, rumore di fondo a 75 dB SPL
- *Parlato nel rumore*: conversazione a una festa, rumore di fondo a 75 dB SPL
- *Parlato nel rumore*: conversazione in un supermercato, rumore di fondo a 75 dB SPL
- Musica pop a 65 dB SPL

- Musica classica a 65 dB SPL

Tutti i sistemi hanno identificato il silenzio, il parlato e il rumore bianco con un altissimo grado di precisione. Almeno il 96% delle ore di esposizione a tali ambienti è stato classificato correttamente dagli apparecchi di tutte le ditte produttrici. Si sono notate alcune differenze per il cocktail party e il rumore del frullatore, come si vede nella Figura 1. Un sistema ha identificato il 60% delle ore di esposizione al frullatore come "parlato nel rumore", mentre un altro ha classificato come musica il 96% delle ore di esposizione al cocktail party.

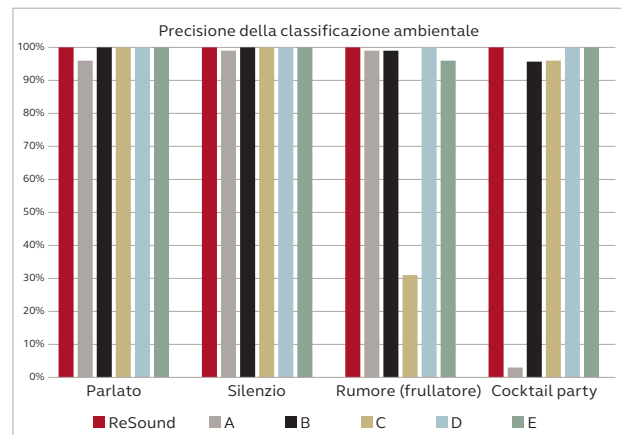


Figura 1. I sistemi di classificazione ambientale in esame sapevano identificare accuratamente il silenzio e il parlato in ambiente silenzioso. Quasi tutti sapevano anche identificare rumori differenti e cocktail party, anche se sono stati osservati alcuni gravi errori di identificazione.

Gli ambienti sonori che presentano le massime difficoltà per gli utilizzatori di apparecchi acustici sono quelli con rumore di fondo. Gli algoritmi che gestiscono la direzionalità mirano a fornire beneficio in particolare in situazioni in cui vi è parlato in un ambiente rumoroso. Gli ambienti del mondo reale possono comporsi di ogni genere di rumore di fondo differente, e spesso il parlato costituisce sia il suono di interesse sia il rumore in competizione. Pertanto in questa prova sono stati usati quattro differenti ambienti con rumore di fondo. In ciascun caso il "parlato" era costituito dalle stesse voci maschili e femminili impegnate in una conversazione. La Figura 2 presenta i risultati complessivi per tutti e quattro gli ambienti con parlato nel rumore. Il sistema ReSound si è rivelato preciso nel 98% dei casi nell'identificare il parlato nel rumore, il grado di precisione più elevato fra i sei sistemi in esame. Anche un altro sistema ha dimostrato un'elevata precisione, col 91% delle ore di esposizione classificate correttamente. Gli altri sistemi erano meno precisi, col 60% o meno di ore di esposizione classificate correttamente.

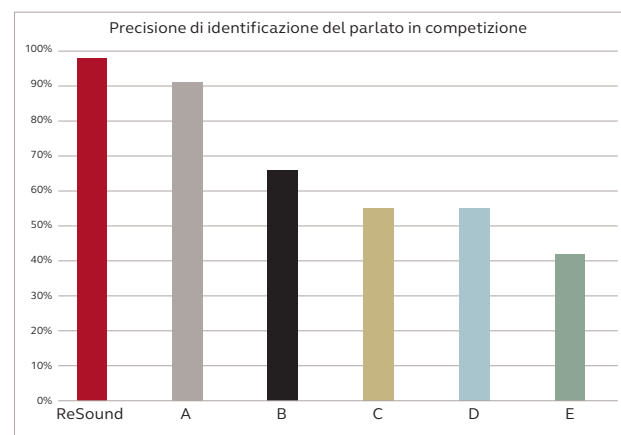


Figura 2. Il sistema ReSound si è rivelato preciso nel 98% dei casi nell'identificare il parlato nel rumore con vari rumori di fondo. Nessun altro sistema è stato altrettanto preciso, e per tali sistemi la difficoltà maggiore era creata da rumori di fondo con musica o rumori altamente modulati. L'identificazione precisa del parlato nel rumore e di altri ambienti è importante per regolare accuratamente i parametri dipendenti dall'ambiente.

Un risultato interessante è stato che i sistemi differivano significativamente in merito al rumore di fondo che li rendeva imprecisi nella classificazione. Tutti erano precisi almeno nel 75% dei casi nell'identificare il parlato nel rumore con i rumori di fondo "festa" e "stazione ferroviaria", mentre i rumori di fondo "caffè" e "supermercato" ponevano difficoltà. Il rumore in competizione sia per "caffè" sia per "festa" è costituito da persone che parlano in sottofondo. Tuttavia "caffè" include anche il tintinnio di tazzine e piattini tipico di tale ambiente. Gli errori di classificazione compiuti in tale ambiente erano costituiti dal fatto di assegnare molte ore alla categoria "parlato". Può darsi che i sistemi venissero ingannati dai suoni transitori e modulati causati da tazzine e piattini, identificandoli erroneamente come parlato senza rumore.

I risultati del rumore di fondo "supermercato" erano imprecisi per i quattro sistemi che hanno nel metodo di classificazione la categoria musica. Tale rumore di fondo comprende della musica di sottofondo oltre ad altri suoni tipici di un supermercato. Dei quattro sistemi con classificazione musica, due hanno assegnato alla categoria musica il 100% delle ore di esposizione, uno l'84% delle ore e uno il 37%. Sommando l'imprecisione della classificazione quando tali apparecchi acustici sono stati esposti alla musica (Figura 3), si mette in dubbio l'opportunità di far identificare la musica agli apparecchi acustici. Per esempio, mentre il sistema E ha identificato accuratamente il 100% delle ore sia di musica classica sia di musica pop, ha anche identificato come musica il 100% del parlato nell'ambiente con rumore di fondo supermercato. È un risultato che fa riflettere e illustra come l'intelligenza dell'apparecchio acustico non possa prevedere accuratamente le intenzioni dell'utilizzatore. La presenza di musica in un ambiente non significa che l'utilizzatore voglia ascoltarla, e potrebbe in effetti considerare la musica un rumore in competizione, a seconda della situazione.

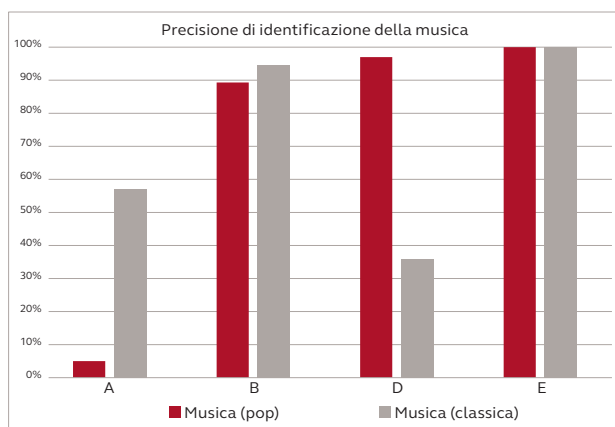


Figura 3. Quattro dei sistemi in esame identificavano la musica, presumibilmente per regolare in modo automatico i settaggi per l'ascolto della musica. I sistemi B ed E hanno evidenziato i risultati migliori nell'identificare due diversi generi di musica. Il sistema E, pur identificando correttamente sia la musica classica sia la musica pop, ha anche classificato come musica il 100% del parlato con il rumore di fondo supermercato. Probabilmente passare a un settaggio di ascolto di musica in un ambiente di supermercato non è molto in linea con le intenzioni dell'ascoltatore.

EQUILIBRIO TRA BENEFICIO DELLA DIREZIONALITÀ ED ESPERIENZA DI ASCOLTO NATURALE

È ampiamente accettato che un unico insieme di parametri degli apparecchi acustici non potrà soddisfare le esigenze di ascolto di una persona in tutte le situazioni. Questo è il fondamento logico degli apparecchi acustici a memoria multipla nonché dell'adattamento automatico delle funzioni negli apparecchi acustici. Sebbene lo scopo delle prescrizioni di fitting sia fornire amplificazione per una comprensione ottimale del parlato pur garantendo un ascolto confortevole dei suoni forti, in varie situazioni gli utilizzatori di apparecchi acustici vorranno comunque potenziare o ridurre alcuni aspetti del suono amplificato. Un esempio semplice è che l'utilizzatore di apparecchi acustici desideri un volume maggiore di quello prescritto durante un'importante riunione di lavoro, ma preferisca un volume inferiore quando si rilassa col giornale tornando a casa in treno diverse ore dopo. La transizione automatica fra i settaggi degli apparecchi acustici è un modo per tener conto delle preferenze situazionali senza comportare alcuno sforzo da parte dell'utilizzatore. Se in teoria questo appare ideale, in pratica può non essere così. Gli apparecchi acustici che compiono transizioni brusche o percepibili nell'elaborazione del suono possono essere fonte di distrazione o di fastidio. Certi utilizzatori potranno perfino pensare che la commutazione automatica percepibile indichi un cattivo funzionamento dell'apparecchio. Pertanto ReSound si sforza di progettare una funzionalità automatica in modo che sia trasparente per gli utilizzatori, i quali non dovrebbero sapere quando gli apparecchi acustici sono in una data modalità. Dovrebbero soltanto poter udire e concentrarsi su ciò che desiderano. Questo principio guida è uno dei motivi per cui gli apparecchi acustici ReSound sono ai vertici delle classifiche per qualità del suono¹⁷.

IMPORTANZA DELL'ELABORAZIONE DIREZIONALE

Lo scopo di fornire un'esperienza di ascolto trasparente ha implicazioni per l'elaborazione del suono negli apparecchi acustici. La direzionalità con doppio microfono è un esempio di elaborazione del suono che può attirare l'attenzione su di sé quando viene attivata e disattivata automaticamente. Per via della breve distanza fra i microfoni negli apparecchi acustici in rapporto alla lunghezza d'onda dei suoni a bassa frequenza, l'elaborazione direzionale tenderà a cancellare le basse frequenze indipendentemente dalla direzione di arrivo del suono. La risultante attenuazione delle basse frequenze nella risposta crea una qualità del suono metallica che è diversa dalla qualità del suono di una risposta omnidirezionale. Se l'attenuazione è compensata da un aumento del guadagno sulle basse frequenze, viene incrementato anche il rumore di fondo dell'apparecchio, il che può rendere la modalità direzionale più rumorosa di quella omnidirezionale. Ciò significa che, qualunque metodo si scelga, la risposta direzionale avrà una qualità del suono diversa rispetto alla risposta omnidirezionale. L'utilizzatore può percepire questa differenza e può perfino esserne infastidito. Un metodo per aggirare questo problema di qualità del suono è applicare l'elaborazione direzionale solo alle alte frequenze dei suoni in ingresso. È ciò che fa il Directional Mix, che fornisce una qualità del suono equivalente fra le modalità microfono direzionale e omnidirezionale¹⁸.

Dato che la direzionalità è l'unica tecnologia comprovata per migliorare la comprensione del parlato nel rumore¹⁹, il metodo "di più è meglio" con cui si fornisce la massima direzionalità su tutte le frequenze potrebbe indurre ad aspettarsi migliori prestazioni di riconoscimento del parlato nel rumore con la direzionalità completa, rispetto al Directional Mix. D'altro canto, la teoria dell'indice di articolazione dovrebbe prevedere una differenza trascurabile fra i due tipi di elaborazione, poiché la maggiore udibilità sulle basse frequenze dovrebbe rappresentare solo un contributo modesto all'intelligibilità²⁰. La Figura 4 illustra i risultati di un'indagine clinica che corrobora quest'ultima opinione²¹. In tale studio ai partecipanti sono stati applicati fitting di tipo open oppure chiuso e settaggi variabili di Directional Mix. Per tutte le situazioni si è valutato il riconoscimento del parlato. Indipendentemente dal settaggio del Directional Mix e dal fatto che il fitting fosse open o chiuso, il beneficio della direzionalità era significativo in confronto all'omnidirezionalità (Figura 4). Per gli open fitting, il miglioramento del rapporto segnale-rumore in confronto alla risposta omnidirezionale era uguale per tutti i settaggi di Directional Mix. Era un risultato atteso, poiché l'open fitting consente l'ingresso nel canale uditivo dei suoni a bassa frequenza che saranno udibili da parte di persone con soglie di udibilità lievi sulle basse frequenze. Ciò limita naturalmente il potenziale beneficio della direzionalità che si può fornire sulle basse frequenze ed è coerente con altre testimonianze sul beneficio della direzionalità per apparecchi acustici con open fitting^{22,23,24}. Per i partecipanti con fitting occluso, l'aumento del settaggio di Directional Mix forniva un miglioramento graduale dei punteggi di riconoscimento del parlato nel rumore all'aumentare del Directional Mix. Per questo motivo il settaggio del Directional Mix viene prescritto in base all'ipoacusia per garantire il migliore equilibrio fra il massimo beneficio della direzionalità e la qualità del suono trasparente fra le modalità microfono. Questi risultati corroborano l'idea secondo cui fornire direzionalità nella gamma di frequenze con le informazioni cruciali sul parlato apporta la massima differenza in termini di miglioramento del rapporto segnale-rumore.

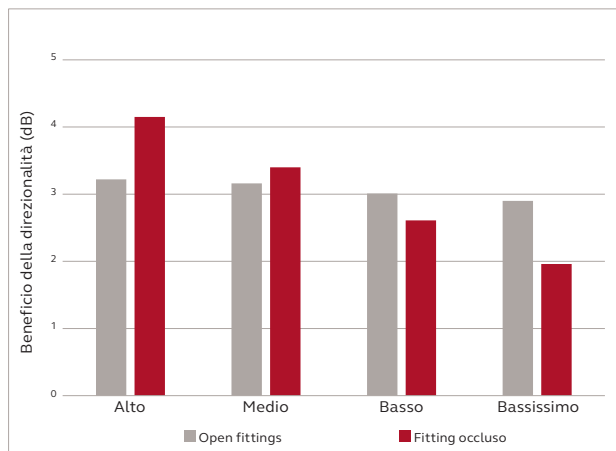


Figura 4. Il beneficio della direzionalità determinato dal test di riconoscimento del parlato nel rumore è influenzato perlopiù dall'amplificazione sulle alte frequenze. Per chi è affetto da ipoacusia più grave e ha fitting occluso, si osserva un beneficio supplementare all'aumentare del Directional Mix. Per questo motivo il Directional Mix viene prescritto individualmente.

ANCHE L'OMNIDIREZIONALITÀ È UN TIPO DI DIREZIONALITÀ

Non è inconsueto parlare di microfoni direzionali e omnidire-

zionali come se in qualche modo fossero opposti. In realtà non è così. Questi termini descrivono i diagrammi polari di ciascun tipo di microfono. Un microfono direzionale amplifica il suono proveniente da una particolare direzione più dei suoni provenienti da altre direzioni, mentre un microfono omnidirezionale amplifica i suoni nello stesso modo indipendentemente dalla direzione di provenienza. I sistemi con microfoni direzionali nei moderni apparecchi acustici digitali sono di solito sistemi a doppio microfono, dove sull'apparecchio sono collocati due microfoni omnidirezionali e a uno dei microfoni vengono applicati ritardi digitali per creare il diagramma di direttività spaziale desiderato. Con questa tecnologia si può creare praticamente ogni tipo di configurazione direzionale, comprese le configurazioni omnidirezionali se lo si desidera.

Ma che cosa avviene ai diagrammi polari quando si porta un apparecchio acustico? La Figura 5 illustra il diagramma polare per un microfono omnidirezionale misurato sulla testa. Le basse frequenze aggirano facilmente un ostacolo come la testa umana, con scarsa attenuazione. Sono piuttosto omnidirezionali anche con l'apparecchio acustico collocato sull'orecchio destro, vale a dire che vi è scarsa attenuazione di tali frequenze indipendentemente dalla direzione di arrivo. Tuttavia, per i suoni ad alta frequenza in arrivo dal lato sinistro vi è una forte attenuazione causata dall'effetto ombra della testa. Se l'effetto ombra della testa è utile sia per la localizzazione in ambiente silenzioso sia per aiutarci a udire meglio in una situazione rumorosa, la strategia della Direzionalità Binaurale III cerca di equilibrare l'accesso a un migliore rapporto segnale-rumore con l'accesso ai suoni dell'ambiente. Ciò significa che l'effetto ombra della testa è in un certo senso controproducente quando i microfoni degli apparecchi acustici sono commutati in modalità asimmetrica. Di conseguenza vi saranno dei "punti ciechi" in cui alcuni suoni da certe direzioni avranno un'udibilità ridotta. Se l'effetto ombra della testa è altamente desiderabile sull'orecchio direzionale per incrementare al massimo il rapporto segnale-rumore, sull'orecchio opposto sarebbe desiderabile una risposta completamente omnidirezionale per aumentare al massimo l'accesso ai suoni dell'ambiente.

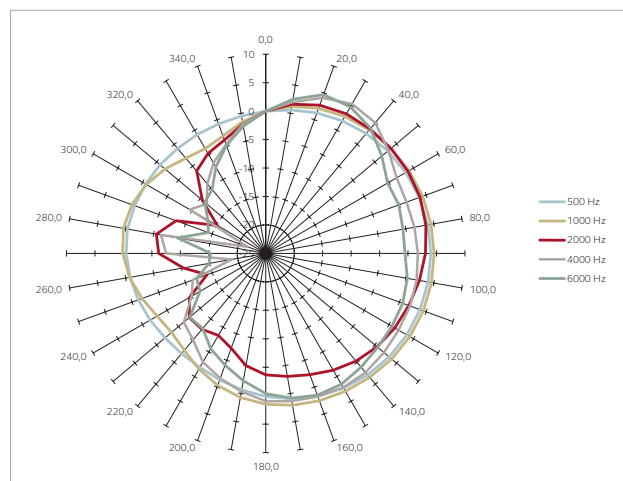


Figura 5. Diagramma polare di un microfono omnidirezionale misurato sull'orecchio destro di un KEMAR. Il diagramma sulle alte frequenze è fortemente influenzato dall'effetto ombra della testa, al punto che la risposta non è omnidirezionale.

Poiché l'effetto ombra della testa è un effetto che non può essere modificato dall'elaborazione dell'apparecchio acustico, gli ingegneri di ReSound hanno di nuovo cercato ispirazione nell'orecchio naturale per regolare le caratteristiche direzionali del

diagramma polare sia direzionale sia omnidirezionale, in modo da conseguire l'equilibrio più naturale fra un udito migliore in situazioni rumorose e la percezione dell'ambiente.

UN NUOVO METODO PER OTTIMIZZARE IL SISTEMA

Come indicato in precedenza, l'apparato uditivo umano fa affidamento sui suoni in ingresso ai due orecchi e i benefici binaurali derivano dal confronto e dall'integrazione dei differenti suoni in ingresso ai due orecchi. Nel progettare un sistema direzionale che assista i processi uditivi naturali, ha senso pertanto esaminare prima di tutto gli effetti acustici complessivi dei due orecchi e della loro collocazione sul capo. Queste informazioni possono quindi essere usate per definire i valori di riferimento nella progettazione del sistema. Gli audioprotesisti conoscono bene l'indice di direttività, una misura che quantifica l'amplificazione relativa dei suoni provenienti da un azimut a zero gradi rispetto ai suoni provenienti da altri azimut. L'indice viene comunemente usato per descrivere l'effetto dell'elaborazione direzionale negli apparecchi acustici. Tuttavia l'indice di direttività è un indicatore inadeguato del modo in cui gli effetti binaurali contribuiscono a migliorare il rapporto segnale-rumore, poiché descrive le caratteristiche di un solo apparecchio. Inoltre l'indice è soltanto un'indicazione di come si possa migliorare il rapporto segnale-rumore per i suoni provenienti dalla direzione frontale rispetto all'ascoltatore. Poiché il fondamento logico della Direzionalità Binaurale III è consentire agli ascoltatori di usare l'orecchio migliore oppure la strategia di ascolto con percezione dell'ambiente, per valutare la progettazione del sistema è cruciale anche inserire una misura di tale percezione.

Per facilitare la creazione di una struttura ottimale, i ricercatori di ReSound hanno proposto un metodo per mappare acusticamente le configurazioni spaziali abbinando gli orecchi destro e sinistro e, sulla base delle configurazioni in direzionalità dei due orecchi, quantificare sia come il sistema contribuisca al miglioramento del rapporto segnale-rumore sia la percezione situazionale²⁵. Sostanzialmente sono stati introdotti due nuovi concetti di indice di direttività. Uno è tener conto degli effetti di entrambi gli orecchi anziché di un orecchio soltanto per calcolare l'indice di direttività. L'altro è calcolare una sorta di indice di direttività "inversa" che pure tenga conto di entrambi gli orecchi, fornendo così un'indicazione della percezione ambientale. La Figura 6 illustra tali concetti per l'orecchio libero sulla testa. Si noti come questo "indice dell'orecchio migliore", che è l'indice di direttività calcolato in modalità binaurale, segnali un miglioramento del rapporto segnale-rumore più elevato rispetto all'indice di direttività del singolo orecchio. Con lo stesso criterio, l'"indice di percezione situazionale" è molto più basso rispetto all'indice di direttività del singolo orecchio, illustrando come gli effetti acustici binaurali possano fornire una maggiore udibilità dei suoni indipendentemente dalla direzione di arrivo. Questi due indici sono stati usati come valori di riferimento per la progettazione dei diagrammi polari per la Direzionalità Binaurale III. L'obiettivo della progettazione era aumentare al massimo l'indice dell'orecchio migliore, pur preservando un indice di percezione situazionale simile all'orecchio libero. Per le persone ipoacusiche, ciò consente un migliore rapporto segnale-rumore, pur mantenendo l'accesso ai suoni ambientali non provenienti dalla direzione frontale.

Gli studi aziendali con ascoltatori reali hanno convalidato il fatto che queste misure siano fortemente correlate con la percezione. Ossia un indice dell'orecchio elevato migliore è in relazione con un migliore riconoscimento del parlato nel rumore per segnali presentati frontalmente rispetto all'ascoltatore, mentre un basso indice di percezione situazionale è correlato con una migliore udibilità dei suoni fuori asse.

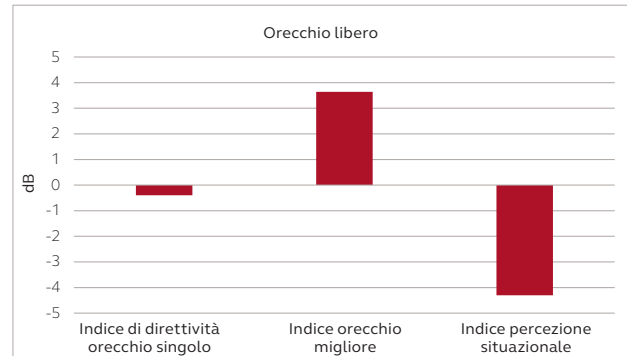


Figura 6. L'indice dell'orecchio migliore e l'indice di percezione situazionale rispecchiano i diagrammi di direttività spaziale acustica binaurali. Un indice di direttività tradizionale tiene conto degli effetti di un solo orecchio. L'indice dell'orecchio migliore e l'indice di percezione situazionale insieme possono fungere da valori di riferimento per valutare la progettazione del sistema.

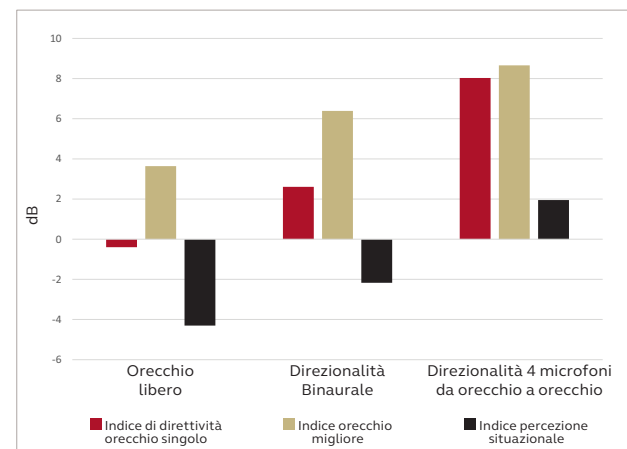


Figura 7. La Direzionalità Binaurale III fornisce un migliore rapporto segnale-rumore in confronto all'orecchio libero, ma mantiene la percezione del suono ambientale, come indicato dalle nuove misurazioni. In tal modo si apre la strada a un'esperienza d'ascolto naturale. Una soluzione con una direzionalità ristretta mediante l'uso di una serie di 4 microfoni, fornisce un elevato indice di direttività per il singolo orecchio, ma uno scarso beneficio binaurale supplementare e riduce l'udibilità dei segnali fuori asse. La conseguenza è un'esperienza di ascolto innaturale.

COME ASSISTERE L'UDITO SPAZIALIZZATO

L'udito spazializzato indica la capacità dell'ascoltatore di separare il flusso dei suoni in arrivo in oggetti di ascolto, col risultato di una rappresentazione interna della scena uditiva, compreso l'aspetto di spazialità. Un oggetto di ascolto è una stima percettiva degli ingressi sensoriali provenienti da un oggetto fisico particolare del mondo esterno²⁶. Per esempio, tra gli oggetti di ascolto in una scena uditiva di cucina vi possono essere il suono dell'apertura dello sportello del frigorifero, il suono dell'acqua che scorre nel lavandino e il suono di una cipolla che viene affettata. La capacità di capire questi oggetti dell'ascolto e collocarli nello spazio, consente all'ascoltatore di operare scelte in maniera rapida e fluida e spostare l'attenzione fra tali oggetti.

Inoltre la formazione di una scena uditiva fornisce un'esperienza di ascolto naturale.

L'apparato uditivo deve costruire tale rappresentazione spaziale mettendo insieme molteplici informazioni provenienti dai segnali acustici ambientali. Fra queste vi sono le differenze nel tempo di arrivo dei suoni a ciascun orecchio (differenze di tempo interaurali – ITD), le differenze nel livello dei suoni in arrivo a ciascun orecchio (differenze di livello interaurali – ILD), nonché le informazioni spettrali dovute al padiglione auricolare. Anche i movimenti della testa offrono contributi importanti poiché l'apparato uditivo analizza rapidamente come cambino i rapporti fra tali informazioni. L'interruzione di una qualsiasi di tali informazioni interferisce con la percezione dello spazio, ed è noto che gli apparecchi acustici possono distorcerle parzialmente o totalmente.

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 sopra il padiglione auricolare nei modelli retroauricolari (BTE) e con ricevitore nell'orecchio (RIE) elimina le informazioni spettrali del padiglione auricolare^{27,28}.
2. la collocazione dei microfoni sopra il padiglione auricolare nei modelli BTE e RIE distorce le ILD²⁹.
3. la compressione di ampia gamma dinamica a funzionamento indipendente in due apparecchi acustici con fitting bilaterale può distorcere le ILD³⁰.

Ascolto Naturale¹¹ è modellato sull'orecchio naturale e comprende il ripristino dell'effetto pinna per una stima accurata delle ILD, lo scambio di informazioni wireless per emulare l'intersecarsi dei segnali fra gli orecchi e la correzione delle ILD in base all'orecchio con il segnale meno intenso per emulare gli effetti inibitori degli efferenti uditivi. Preservando le informazioni di localizzazione, Ascolto Naturale contribuisce all'esperienza di ascolto naturale e alla qualità del suono superiore offerte dalle tecnologie Surround Sound by ReSound.

RIEPILOGO

Un'esperienza d'ascolto naturale dipende dal fatto che il cervello riceva segnali distinti, in grado di essere confrontati e contrastati per separare il flusso di informazioni acustiche in un quadro significativo dell'ambiente sonoro. Le differenze e le somiglianze fra i suoni in arrivo a ciascun orecchio possono essere usate per potenziare o sopprimere a piacimento i suoni ambientali e ci consentono di spostare facilmente la nostra attenzione fra tali suoni. A seconda di quale sia il suono di interesse in un particolare momento, noi usiamo in maniera innata strategie di ascolto differenti e inconsciamente alterniamo fra una strategia che si affida alla percezione ambientale e un'altra che si affida all'orecchio con la migliore rappresentazione del suono di interesse. La persona modifica la propria strategia di ascolto da "percezione" a "orecchio migliore" quando si avvicina al suono che vuole udire, rivolge l'orecchio in direzione del suono o mette la mano a coppa attorno all'orecchio. Quasi tutti gli apparecchi acustici più avanzati usano una tecnologia per creare un "cortocircuito" fra queste strategie di ascolto naturali

nel tentativo di potenziare un suono particolare che l'intelligenza artificiale considera il più importante. In netto contrasto, la Direzionalità Binaurale III applica in maniera straordinaria la tecnologia dei microfoni direzionali per assistere sia la strategia di percezione sia quella di ascolto con l'orecchio migliore. La comunicazione wireless da orecchio a orecchio facilita l'analisi dell'ambiente, che viene usata per selezionare automaticamente quella ottimale fra 4 modalità microfono bilaterali a sostegno di entrambe le strategie di ascolto. A seconda della particolare modalità microfonica, tecnologie dedicate servono a fornire l'esperienza di ascolto migliore. La qualità del suono naturale è fondamentale per la Direzionalità Binaurale III, e il Directional Mix garantisce transizioni trasparenti fra le modalità microfono. Inoltre Ascolto Naturale preserva le importanti informazioni di localizzazione che contribuiscono all'udito spazializzato e alla qualità del suono più fedele alla natura. Infine, i diagrammi di direttività delle varie modalità microfono sono progettati minuziosamente, tenendo conto delle proprietà acustiche della testa, per garantire che l'ascoltatore possa concentrarsi o disconnettersi senza fatica dai suoni circostanti. La Direzionalità Binaurale III ottimizza le configurazioni di sensibilità per conseguire il migliore abbinamento fra parlato frontale e percezione spaziale. La Direzionalità Binaurale III offre la soluzione più equilibrata per assistere l'udito naturale: un miglioramento del rapporto segnale-rumore simile ai microfoni direzionali bilaterali e un beneficio significativo in termini di facilità di ascolto in confronto ad altre strategie con microfoni direzionali.

BIBLIOGRAFIA

1. Amlani AM. Efficacy of Directional Microphone Hearing Aids: A Meta-Analytic Perspective. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2001; 12: 202-214.
2. Best V, Mejia J, Freeston K, van Hoesel RJ, Dillon H. An evaluation of the performance of two binaural beamformers in complex and dynamic multitalker environments. *International Journal of Audiology*. 2015; 54(10): 727-735.
3. Desjardins JL. The effects of hearing aid directional microphone and noise reduction processing on listening efforts in older adults with hearing loss. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2016; 27(1): 29-41.
4. Magnusson L, Claesson A, Persson M, Tengstrand T. Speech recognition in noise using bilateral open fit hearing aids: the limited benefit of directional microphones and noise reduction. *International Journal of Audiology*. 2013; 52(1): 29-36.
5. Ricketts TA, Picou EM. Speech recognition for bilaterally asymmetric and symmetric hearing aid microphone modes in simulated classroom environments. *Ear and Hearing*. 2013; 34(5): 601-609.
6. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Olson L. Performance of directional microphone hearing aids in everyday life. *Journal of American Academy of Audiology*. 2002; 13:295-307.
7. Cord MT, Surr RK, Walden BE, Dittberner A. Ear asymmetries and asymmetric directional microphone hearing aid fittings. *American Journal of Audiology*. 2011. 20: 111-122.
8. Stivers T, Enfield NJ, Brown P, Englert C, Hayashi M, Heinemann T, Hoymann G, Rossano F, de Ruiter JP, Yoon K, Levinson SC. Universals and cultural variation in turn-taking in conversation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2009; 106(26): 10587-10592.
9. Groth J. ReSound Azure: The audiological background. ReSound white paper. 2007
10. Bentler RA, Egge JLM, Tubbs JL, Dittberner AB, Flamme GA. Quantification of directional benefit across different polar response patterns. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2004; 15:649-659.
11. Groth J. Binaural Directionality II with Spatial Sense. ReSound white paper. 2014.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Simon H, Levitt H. Effect of dual sensory loss on auditory localization: Implications for intervention. *Trends Amplif*. 2007;11; 259-72.
17. Jespersen CT. Independent study identifies a method for evaluating hearing instrument sound quality. *Hear Rev*. 2014: 21(3); 36-40.
18. Groth J, Laureyns M, Piskosz M. Double-blind study indicates sound quality preference for surround sound processor. *Hearing Review*. 2010; 17(3):36-41.
19. Bentler RA. Effectiveness of directional microphones and noise reduction schemes in hearing aids: a systematic review of the evidence. *Journal of the American Academy of Audiology*. 2005; 16:473-484.
20. Kryter K. Methods of calculation and use of the articulation index. *J Acoust Soc Am*. 1962; 34:1689-1697.
21. Moeller K, Jespersen C. The Effect of Bandsplit Directionality on Speech Recognition and Noise Perception. *Hearing Review Products*. June 2013:8-10.
22. Magnusson L, Claesson A, Persson M, Tengstrand T. Speech recognition in noise using bilateral open fit hearing aids: the limited benefit of directional microphones and noise reduction. *International Journal of Audiology*. 2013; 52(1): 29-36.
23. Valente M, Mispagel KM. Unaided and aided performance with a directional open-fit hearing aid. *International Journal of Audiology*. 2008; 47:329-336.
24. Bentler RA, Wu Y, Jeon J. Effectiveness of directional technology in open canal hearing instruments. *The Hearing Journal*. 2006; 59(11): 40,42, 44, 46-47.
25. Dittberner A, Ma C, Gran F. Binaural directivity patterns of binaural hearing and implications on hearing prosthetic design. Presentation at American Auditory Society Scientific & Technology Meeting, Scottsdale, AZ, March 5-7, 2015.
26. Shinn-Cunningham BG, Best V. Selective attention in normal and impaired hearing. *Trends Amplif*. 2008:

12(4): 283-299.

27. Orton JF, Preves D. Localization as a function of hearing aid microphone placement. *Hearing Instruments*. 1979; 30(1); 18-21.
28. Westerman S, Topholm J. Comparing BTEs and ITEs for localizing speech. *Hearing Instruments*. 1985; 36(2); 20-24.
29. 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 auditory and Audiological Research. August 2013, Nyborg, Denmark.* Dau T, Santurette S, Dalsgaard JC, Tanebjaerg L, Andersen T, Poulsen T eds.
30. Kollmeier B, Peissig J, Hovmann V. Real-time multi-band dynamic range compression and noise reduction for binaural hearing aids. *Journal of Rehabilitation Research and Development*. 1993; 30(1): 82-94.

Sede Centrale

GN Hearing A/S
Lautrupbjerg 7
DK-2750 Ballerup, Denmark
Tel.: +45 4575 1111
Fax: +45 4575 1119
resoundpro.com

Italia

GN Hearing Srl
Via Nino Bixio 1/B
Montegrotto Terme (PD)
Italia
Tel.: +39 049 8911511
Fax: +39 049 8911450
resound.com

