



# INFORMATICA MUSICALE

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA**  
**LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA**  
**A.A. 2018/19**  
**Prof. Filippo L.M. Milotta**

**ID PROGETTO:** 0A

**TITOLO PROGETTO:** SOUND RECOVER: TRASPOSIZIONE FREQUENZIALE NON LINEARE

**AUTORE:** Napoli Spatafora Maria Ausilia

## Indice

<b>1. Obiettivi del progetto .....</b>	<b>2</b>
<b>2. Riferimenti Bibliografici .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Argomenti Teorici Trattati .....</b>	<b>5</b>
A. Importanza percettiva delle alte frequenze .....	5
B. Banda passante degli apparecchi acustici .....	5
C. Banda passante percettiva .....	6
D. Descrizione tecnica di SoundRecover e SoundRecover2.....	8
I. SoundRecover VS SoundRecover2 .....	9
II. Risultati .....	9
E. Studi e risultati clinici.....	10
F. Esempio di fitting e regolazione fine del SoundRecover2 .....	10

## 1. Obiettivi del progetto

- **Mostrare un'applicazione medica del suono**

*“Voi che mi credete invidioso, intrattabile o misantropo, e che come tale mi rappresentate, quanto siete ingiusti! Voi non conoscete la causa ingiusta per cui vi appaio tale. Sin dall’infanzia ero incline al sentimento della benevolenza, provavo anch’io il bisogno di fare buone azioni; ma pensate che da sei anni soffro un male terribile, aggravato dall’ignoranza dei medici; che, deluso di anno in anno nella speranza d’un miglioramento sono venuto nella prospettiva di essere incessantemente sotto l’influenza di un male duraturo, la cui guarigione sarà tarda e forse impossibile. Pensate che nato con un carattere ardente, impressionabile e suscettibile a tutti i piaceri che offre la società, io fui costretto a separarmene sì presto, ad allontanarmi dagli uomini e passare la mia vita nella solitudine. Se qualche volta cercai di dimenticare la mia infermità, eh come ne ero severamente punito dalla triste e dolorosa prova della difficoltà di udire! Tuttavia, mi era impossibile dire alla gente: - Parlate più forte; gridate, perché sono sordo! – Come risolvermi a confessare la debolezza di un senso che avrebbe dovuto in me essere più perfetto che in qualunque altro! Di un senso che io possedevo allo stato di tale perfezione che pochi dell’arte mia potevano vantare l’eguale! No, io non lo potevo!”*

Ludwing Van Beethoven, Testamento di Heiligenstadt (1802)

L’isolamento sociale – specialmente con la vecchiaia – aumenta il rischio di numerose malattie mentali e fisiche (depressione, disturbi cardiaci e immunitari, demenza e malattia d’Alzheimer). Secondo vari studi, l’isolamento sociale è associato alla “riduzione della durata di vita similmente a quella causata dal fumare 15 sigarette al giorno”. La ragione principale per la quale la persona si isola è la perdita d’udito. Spesso, per via della difficoltà a udire, gli ipoacusici evitano situazioni sociali, di business nelle quali l’interazione è la chiave e scelgono, invece, di chiudersi ed isolarsi.

- **Fornire cenni di audiologia**

Le frequenze (ottave e semi-ottave) controllate in un esame audiometrico tonale appartengono al range 125-8000 Hz e vengono classificate in:

- Basse: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz;
- Medie: 750 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz;
- Alte: 3000 Hz, 4000 Hz, 6000 Hz, 8000 Hz.

La perdita d’udito può verificarsi in una o più di queste macro-bande. Nella maggior parte dei casi, le frequenze alte sono

soggette ad un danno uditivo (figura 1).

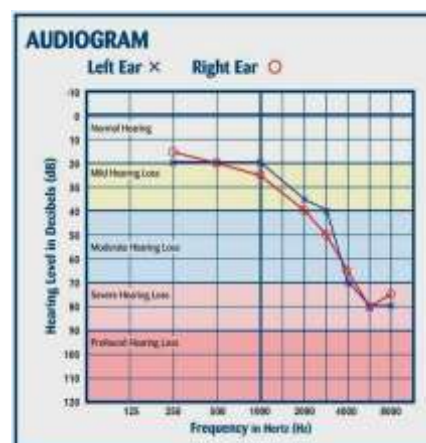


Figura 1 Audiogramma in discesa con perdita sulle alte frequenze.

- ***Comprendere l'importanza della banda passante percettiva e come la compressione può espanderla***

La banda passante uditiva umana è variabile tra 20 Hz e 20 kHz, ma quella di un apparecchio acustico è variabile tra 100 Hz e 8000/10000 Hz. Tuttavia, l'udibilità di un suono come tono puro dipende non solo dalla sua frequenza, ma anche dal suo livello. Per compensare la perdita uditiva, l'apparecchio deve fornire un'amplificazione tale al suono da farlo percepire e sulle alte frequenze accade che il massimo guadagno possibile non è sufficiente. La compressione permette un abbassamento frequenziale verso una zona meno danneggiata.

- ***Conoscere SoundRecover e SoundRecover2: algoritmi commerciali di compressione in frequenza dell'azienda audioprotesica Phonak***

Phonak è stata leader nella moderna tecnologia dell'abbassamento frequenziale con l'introduzione di SoundRecover nel 2008. Da allora studi effettuati in tutto il mondo ad adulti e bambini hanno riscontrato un aumento in rilevazione, distinzione e riconoscimento dei suoni ad alte frequenze, migliore comprensione del parlato e un significativo miglioramento nel timbro e nella qualità della voce per gli utenti. Per coloro con perdite da gravi a profonde, incluse quelle dall'audiogramma con ripida caduta sulle alte frequenze, i benefici sono stati limitati a causa del restringimento della banda passante udibile per le frequenze nelle quali la compressione potrebbe essere applicata. Il nuovo algoritmo SoundRecover2 mira a restaurare l'udibilità di suoni rilevanti ad alte frequenze lasciando intatte le strutture delle basse frequenze importanti per una buona qualità sonora.

## 2. Riferimenti Bibliografici

<sup>(1)</sup> Phonak Posters:

- 028-0952-02/V1.00/2013-06/cu Printed in XXXX © Phonak AG All rights reserved
- 028-1512-02/V1.00/2016-01/ © Phonak AG All rights reserved
- 028-1528-02/V1.00/2016-01/ © Phonak AG All rights reserved

<sup>(2)</sup> H. McDermott, D. Baldwin, M. Nyffeler: The importance of perceptual bandwidth and how frequency compression extends it. The Hearing Journal 2010, May

<sup>(3)</sup> Y. Mao, J. Yang, E. Hahn, L. Xu: Auditory perceptual efficacy of nonlinear frequency compression used in hearing aids: A review. Journal of Otology 2017, December

<sup>(4)</sup> U. Ambrosetti, F. Di Berardino, L. Del Bo. Audiologia Protesica. Edizioni Minerva Medica. Prima edizione, 2014

Per redigere questo elaborato, mi sono servita della documentazione tecnica della Phonak <sup>(1)</sup> per conoscere tutti gli aspetti dei due algoritmi. Ho raccolto informazioni sui parametri di un apparecchio acustico dai riferimenti <sup>(2)</sup> e <sup>(4)</sup>. L'articolo scientifico <sup>(3)</sup> è stato necessario per avere uno sguardo globale sui risultati clinici. Infine, ho aggiunto alla composizione la mia personale conoscenza, gli studi passati e l'esperienza.

### 3. Argomenti Teorici Trattati

#### A. Importanza percettiva delle alte frequenze

Per gli ipoacusici è cruciale percepire e discriminare i suoni ad alte frequenze con facilità e accuratezza. Ci sono tre principali aree ove le alte frequenze sono importanti:

- **Intelligibilità del parlato:** molti suoni come i fonemi che contribuiscono significativamente all'intelligibilità del parlato includono componenti ad alte frequenze (figura 2). Le vocali sono dominate da una grande energia sulle basse frequenze, bensì le consonanti fricative mute possiedono notevole energia sulle alte frequenze. Per esempio, il fonema /s/ viene usato nella lingua inglese per identificare i plurali e non solo; altri fonemi sono /sh/ e /f/. (Tali fonemi sono discriminativi e importanti anche nella lingua italiana). Sulla base dell'età e del sesso dello speaker, tale fonema ha un picco spettrale tra 4 e 10 kHz. Per gli uomini l'energia massima è solitamente tra 4 e 6 kHz, mentre per le donne tra 7 e 10 kHz. In ogni linguaggio ci sono molti suoni simili che possono essere distinti esclusivamente se le componenti alle alte frequenze risultano udibili. Inoltre, la percezione di questa banda frequenziale è particolarmente importante per l'apprendimento del linguaggio nei bambini poiché consente loro di comprendere il linguaggio ed imparare a riprodurlo correttamente.
- **Comprensione del parlato nel rumore:** la comprensione del parlato è particolarmente difficoltosa quando un ascoltatore è impegnato a comprendere un discorso in un ambiente rumoroso. Le componenti alle alte frequenze del segnale verbale sono piuttosto importanti dal momento che, a differenza delle componenti alle basse frequenze, sono meno suscettibili ad essere mascherate dalle basse frequenze dello spettro dei rumori più comuni. Quindi, è notevolmente significativo che in tali contesti ambientali i fonemi alle alte frequenze siano udibili e distinguibili.
- **Localizzazione:** la percezione di queste alte frequenze fornisce informazioni per l'identificazione e la localizzazione delle fonti sonore. Da notare che tale informazione sonora è necessaria da entrambe le orecchie.

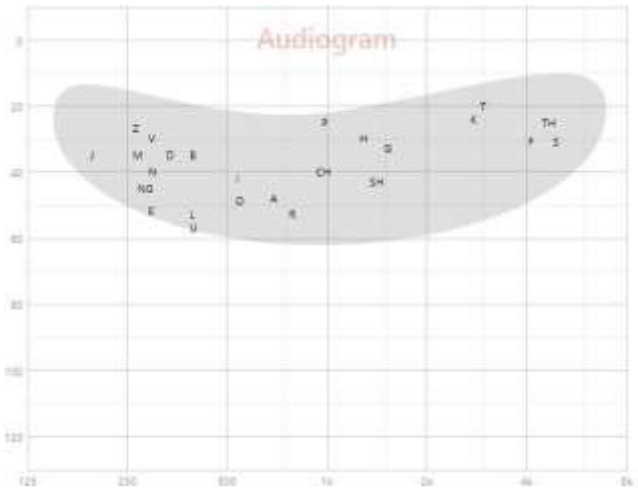


Figura 2 Audiogramma con il contenuto frequenziale dei fonemi inglesi.

#### B. Banda passante degli apparecchi acustici

In linea generale la banda passante si definisce in termini di range di frequenze trasportabili da un canale di comunicazione. Ampliando la banda passante si ottiene un aumento del range di frequenze, permettendo così di fornire più informazioni attraverso quel canale.

In passato il limite della banda passante ad alta frequenza di apparecchi acustici (AA) analogici era dovuto principalmente alla performance elettroacustica. Soprattutto con apparecchi ad alta potenza, a frequenze superiori a circa 4 kHz spesso era difficile ottenere livelli di uscita sonora adeguati. Negli ultimi anni la tecnologia dei ricevitori è migliorata ad un livello tale per cui la banda passante risulta limitata da altri fattori. In tutti gli AA digitali esiste un limite assoluto per la banda passante dovuto direttamente al

processo di campionamento. Il campionamento serve per convertire i segnali sonori all'ingresso dell'AA in un flusso di rappresentazioni digitali distinte. La frequenza di campionamento deve essere sufficientemente elevata per assicurare che nel processore digitale il segnale acustico in continua variazione possa essere rappresentato con una fedeltà adeguata. La scelta della frequenza di campionamento si basa sul principio fondamentale del trattamento digitale del segnale secondo il quale la frequenza massima rappresentabile adeguatamente dopo il campionamento è leggermente inferiore alla metà della frequenza di campionamento stessa. Per ascoltatori con udito normale si suppone in generale che il limite superiore di frequenza udibile sia 20 kHz per cui la frequenza di campionamento necessaria è superiore a 40 kHz. Sfortunatamente l'uso delle frequenze di campionamento relativamente elevate può avere effetti collaterali indesiderati. Il processore di segnali digitali incorporato in tutti gli AA moderni è programmabile per modificare i segnali sonori ad una frequenza uguale o proporzionale alla frequenza di campionamento. Un effetto pratico di questa relazione consiste nel fatto che frequenze di campionamento superiori causano un maggiore consumo di corrente: si riduce la durata della pila. I progettisti di tutti gli AA digitali si trovano ad affrontare un compito difficile: ampliare la banda passante acustica del dispositivo significa ridurre la durata della pila. È dunque comune che la frequenza di campionamento degli apparecchi acustici sia pari a circa 20 kHz anche se in alcuni casi può essere superiore. Questa scelta implica che il limite superiore della banda passante in termini di suono prodotto dall'AA debba essere di circa 10 kHz. In alcuni apparecchi la frequenza di campionamento può scendere fino a 16 kHz per cui la banda passante acustica scende a meno di 8 kHz.

### C. Banda passante percettiva

Una definizione pratica più utile di banda passante dovrebbe specificare il range di frequenze entro il quale i toni si fanno chiaramente udibili e confortevoli. Questa situazione è illustrata nella figura 3 in cui è mostrato il livello in dB SPL (asse verticale) necessario per produrre la stessa sensazione uditiva (loudness) per toni uditi in un intero range di frequenze (curva continua).

In questo grafico un tono a 1 kHz ha un livello di 60 dB SPL, range di comoda udibilità per un ascoltatore medio con udito normale. Per mantenere la stessa sensazione di intensità variando la frequenza, è necessario apportare delle variazioni in base alla frequenza stessa. A frequenze inferiori a 80 Hz, per mantenere la stessa intensità percepita, si dovrebbe aumentare il livello di pressione sonora SPL.

Ad esempio, un tono a 20 Hz per essere udito alla stessa intensità del tono a 1 KHz al livello di 60 dB SPL dovrebbe avere un'intensità di circa 100 dB SPL. Questo dimostra che

la banda passante udibile dipende in gran parte dal livello del suono, anche per i normoacusici. In linea generale, la banda passante percettiva effettiva può essere amplificata aumentando il livello dei suoni.

La figura 3 mostra anche i profili di loudness per soggetti intorno ai 60 anni che si suppone abbiano udito normale (curva tratteggiata).

Sebbene questi ascoltatori non manifestino sintomi di sordità, la loro sensibilità media per i toni ad alta frequenza è molto inferiore rispetto a quella di ascoltatori più giovani (curva continua).

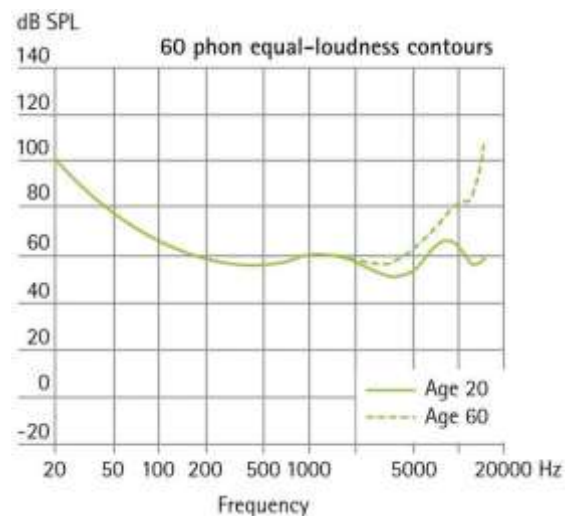


Figura 3 Profili di Loudness per ascoltatori giovani (curva continua) e anziani (curva tratteggiata) con udito normale. L'asse verticale mostra un livello moderato che è percepito ad intensità uguale in tutta la frequenza (asse orizzontale)

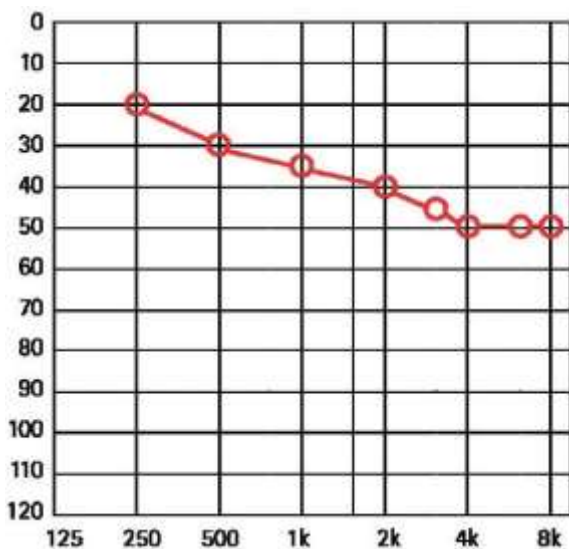


Figura 4 Audiogramma per un'ipoacusia in caduta sugli acuti tipica da lieve a moderata (orecchio destro)

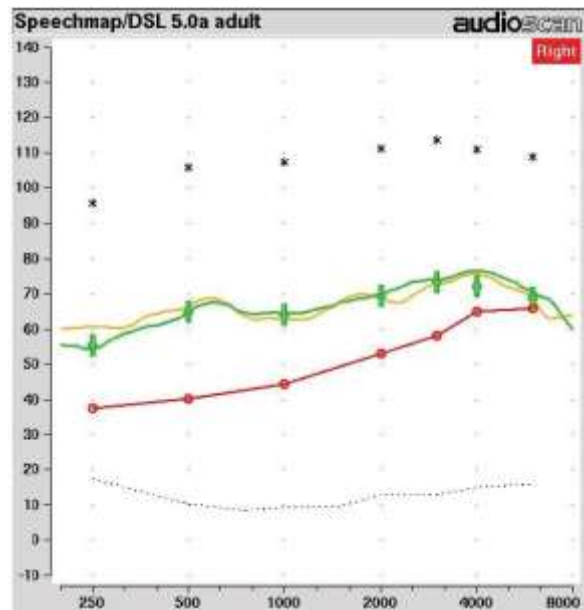


Figura 5 I risultati del fitting di due A per l'audiogramma (curva rossa) illustrato in figura 3. Il SoundRecover dell'AA Phonak (curva verde) è stato disabilitato. La curva gialla mostra i risultati comparabili dell'apparecchio acustico di un altro costruttore per il quale è dichiarata una banda passante ampliata.

A 10 kHz, ad esempio, la differenza di livello tra questi due gruppi è di quasi 20 dB per la stessa intensità di loudness. A frequenze superiori sono evidenti differenze ancora più importanti. L'età degli ascoltatori non influisce sui dati di uguale intensità per frequenze inferiori a circa 2 kHz. Queste misurazioni sono in linea con quanto rilevato da molti studi che hanno evidenziato che "la sensibilità uditiva alle alte frequenze tende a diminuire con l'aumentare dell'età, anche in assenza di patologie specifiche". Quindi, se la banda passante dell'udito si restringe in conseguenza dell'ipoacusia connessa all'età, il motivo va individuato nella variazione di sensibilità alle alte frequenze. Un tipo analogo di riduzione della banda passante può essere dovuto anche a molte cause comuni di ipoacusia tra cui l'esposizione a eccessivo rumore, effetti collaterali di farmaci ototossici, e altre eziologie.

Come si possono applicare queste considerazioni a una persona che utilizza un AA? La risposta è resa più complessa dalla presenza di due fattori interagenti. Il primo è la particolare configurazione di ipoacusia di ciascun utilizzatore di AA, come evidenziato dal proprio audiogramma. Il secondo fattore è la banda passante effettiva dell'AA che dipende dal suo guadagno e dal livello massimo di uscita, parametri che variano inevitabilmente in funzione della frequenza. Possono influire sulla banda passante percettiva anche alcune tecniche di trattamento del suono come l'abbassamento delle frequenze.

Un audiogramma tonale liminare registra la soglia uditiva di una persona ad un certo numero di frequenze rappresentative del parlato. La frequenza minima è in genere di 125 o 250 Hz, mentre la frequenza massima può arrivare a 8 kHz.

La figura 4 è un esempio di un'ipoacusia in caduta sulle frequenze acute di entità da lieve a moderata con soglie a 4 kHz di 50 dB HL e superiori. La figura 5 mostra il grafico Speechmap-DSL<sup>1</sup> nel quale l'audiogramma è quello della curva rossa; è illustrato anche un fitting di un AA Phonak con banda passante ampia. L'algoritmo SoundRecover è disabilitato (curva verde).

<sup>1</sup> Speechmap è un ambiente commerciale di fitting che consente di visualizzare quale regione frequenziale deve essere amplificata e con quale guadagno calibrando ciò mediante un segnale vocale. DSL è un algoritmo prescrittivo.

È evidente che l'AA Phonak senza SoundRecover è stato in grado di fornire un'udibilità utile del segnale del test (parlato ad un livello medio di 65 dB SPL) fino almeno a 6 kHz. La curva gialla della stessa figura mostra i risultati comparativi per un prodotto top di gamma di un altro costruttore che dichiara di ampliare la banda passante a 10 kHz. Le misurazioni riportate sul diagramma della figura 5 dimostrano che le bande passanti percepibili di questi due AA (Phonak e non) sono pressoché identiche, se adattate per soddisfare una configurazione comune dell'audiogramma. Nessuno dei due apparecchi fornisce un'udibilità utile per frequenze superiori a circa 6 kHz, nonostante che per quelle frequenze fosse stato selezionato il guadagno massimo disponibile. Si deve far notare che questa limitazione all'udibilità al di sopra di 6 kHz è presente anche in caso di ipoacusia da lieve a moderata.

Cosa si può fare per superare questo limite?

#### D. Descrizione tecnica di SoundRecover e SoundRecover2

L'obiettivo del SoundRecover è restaurare l'udibilità per gli input alle alte frequenze approssimativamente da 10 kHz in su. Questo approccio unico è delineato per comprimere il segnale al di sopra di una specifica e regolabile frequenza di taglio (cut-off frequency). Il fattore di compressione applicato a questa banda frequenziale è fornito dal rapporto di compressione. Tutte le frequenze al di sotto della frequenza di taglio rimangono invariate preservando la qualità dei suoni trasportati all'apparecchio acustico.

Le frequenze che sono più lontane dalla frequenza di taglio (nella direzione delle frequenze più alte) sono spostate su una regione più grande di frequenze più basse rispetto a quella di taglio. Per esempio, con una data configurazione di compressione la massima energia per il fonema femminile /s/ (generalmente attorno a 9 kHz) sarà spostata maggiormente verso la frequenza di taglio rispetto alla massima energia per lo stesso fonema, ma maschile (5 kHz) nonostante il corretto ordine delle frequenze venga mantenuto. Inoltre, la compressione lavora senza alcun ritardo e non introduce alcuna costante di tempo o artefatto.

La figura 6 mostra la curva di risposta di una compressione non lineare dove la frequenza di taglio è 1758 Hz e il rapporto di compressione è di 2,9:1.

È, quindi, possibile calcolare la massima frequenza in input  $f_{IN,max}$  che dipende dal tasso di campionamento della massima frequenza in output  $f_{OUT,max}$  usando la seguente formula:

$$f_{OUT,max} = f_{IN,max}^{\frac{1}{CR}} * f_{cutoff}^{1-\frac{1}{CR}}$$

Questa realizzazione del SoundRecover in tutti gli AA Phonak permette una regolazione individuale della frequenza di taglio sulla base della perdita uditiva tra 1.5 KHz e 6 KHz. Il rapporto di compressione viene automaticamente regolato ad un valore tra 1,5:1 e 4:1 sulla base della frequenza di taglio selezionata.

Frequenza di taglio e rapporto di compressione sono valori combinati all'interno del software di fitting Phonak e gli audioprotesisti possiedono la possibilità di regolarli finemente. Il SoundRecover può essere regolato come debole o forte. Per ottenere un SoundRecover forte occorrono una frequenza di taglio bassa e un elevato rapporto di compressione; alternativamente per un SoundRecover debole.

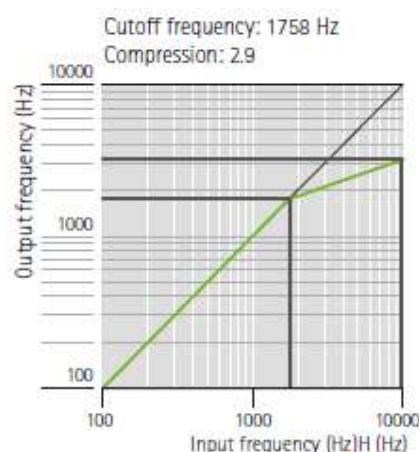


Figura 6 La curva di risposta di una compressione frequenziale non lineare, SoundRecover, per una frequenza di taglio di 1758 Hz con rapporto di compressione di 2,9.



## I. SoundRecover VS SoundRecover2

Con l'obiettivo di ampliare i risultati di SoundRecover, nel 2016 è stato sviluppato il nuovo algoritmo SoundRecover2 per permettere delle frequenze di taglio più basse e rapporti di compressione più deboli, estendendo in tal modo i suoi benefici a un pubblico più ampio di bambini e adulti.

La differenza significativa con il SoundRecover2 è che la regione dell'abbassamento frequenziale (ossia l'area di protezione e il punto di partenza della compressione) non è fissata, bensì viene regolata dinamicamente in funzione del segnale in input. Questa natura adattiva viene realizzata attraverso l'utilizzo di due frequenze di taglio di cui una sola è attiva in ogni momento. Sulla base della momentanea distribuzione di energia del segnale in input, il sistema determina istantaneamente quale delle due frequenze di taglio dev'essere applicata. I principi funzionali, quindi, di SoundRecover2 sono simili a quelli di SoundRecover, ma con una maggiore sofisticatezza che consente di cambiare automaticamente tra due possibili punti di partenza della compressione rispettivamente tra una frequenza di taglio più bassa e una più alta. Come nel precedente algoritmo, l'abbassamento frequenziale avviene sempre attraverso un rapporto di compressione predefinito incurante di quale frequenza di taglio è momentaneamente attiva.

SoundRecover2, dunque, istantaneamente associa le componenti in input all'output sulla base del loro contenuto energetico. Il processamento di questo abbassamento frequenziale adattivo viene realizzato tramite il semplice riconoscimento della differente distribuzione di energia nelle strutture tonali e di rumore del segnale in input. Nel caso di contenuto con molte frequenze basse la compressione frequenziale utilizza la frequenza di taglio più alta per "proteggere" le basse frequenze dalla compressione. Analogamente, nel caso di contenuto con tante frequenze alte viene attivata la frequenza di taglio più alta per ripristinare l'udibilità dei suoni alle alte frequenze. Questa strategia lascia invariate le vocali mentre agisce sulle fricative spostando queste ultime su un output frequenziale più basso.

## II. Risultati

La figura 7 raffigura lo spettrogramma della frase d'esempio "my name is asa" (a) senza abbassamento frequenziale, (b) con SoundRecover, (c) con SoundRecover2.

La figura 7(a) mostra strutture formanti pronunciate fino a 5,5 kHz da 0,2 secondi a 0,5 secondi e due alte frequenze dei fonemi /s/ a 1,2 secondi e 1,9 secondi.

Nella figura 7(b) che mostra SoundRecover con una frequenza di taglio di 1500 Hz e un rapporto di compressione di 2,1, l'ampiezza di banda udibile si estende fino a circa 4000 Hz. I fonemi /s/ a 1,2 e 1,9 secondi vengono compressi in un'area di frequenza tra 2,5 e 4 kHz. Si noti che le strutture spettrali di precisione al di sopra della frequenza di taglio di 1500 Hz all'inizio della frase, non sono completamente conservate con questa impostazione massima.

Nella figura 7(c) che mostra SoundRecover2 con una frequenza di taglio inferiore di 1479 Hz, una frequenza di taglio superiore di 3600 Hz e un rapporto di compressione di 1,4, l'ampiezza di banda udibile si estende anche a circa 4000 Hz. Si noti la conservazione delle strutture spettrali fino alla frequenza di taglio superiore di 3600 Hz all'inizio della frase da 0,2 a 0,5 secondi, e la rimappatura dei fonemi /s/ significativi ad alte frequenze a 1,2 e 1,9 secondi in un'area di frequenza bassa tra 2000 e 3000 Hz.

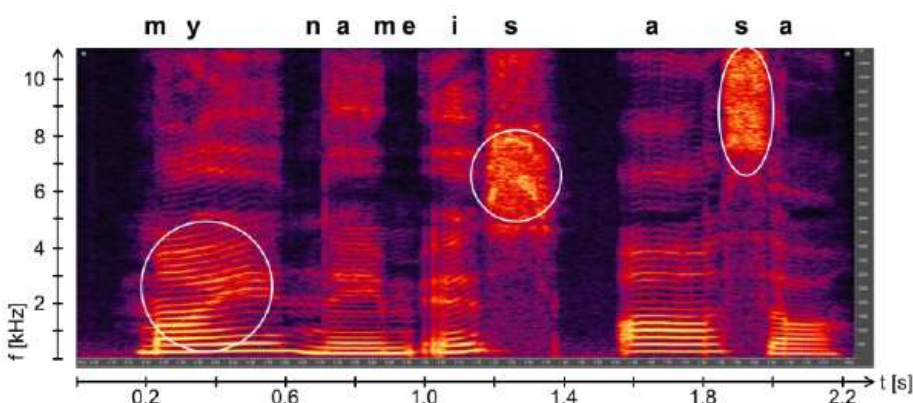


Figura 7(a) Spettrogramma della frase d'esempio "my name is asa" senza abbassamento frequenziale.

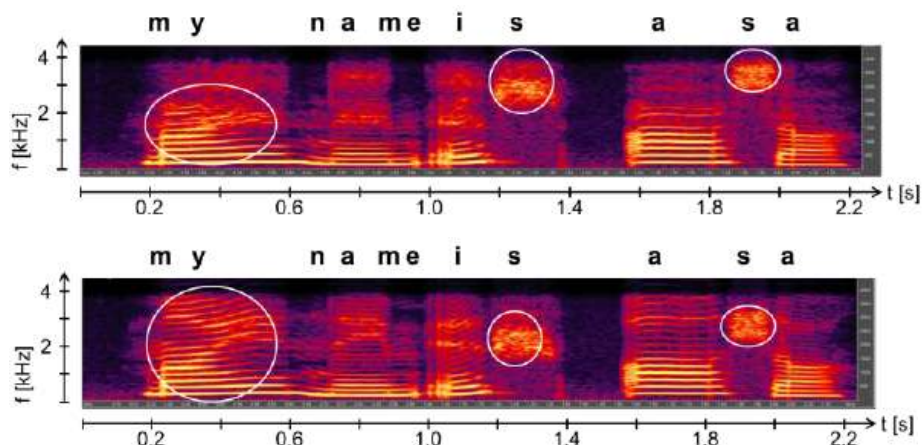


Figura 7(b) Spettrogramma della frase d'esempio "my name is asa" con SoundRecover (cut-off: 1500 Hz, rapporto di compressione: 2.1).

Figura 7(c) Spettrogramma della frase d'esempio "my name is asa" con SoundRecover2 (cut-off inferiore: 1479 Hz, cut-off superiore: 3600 Hz, rapporto di compressione: 1.4).

## E. Studi e risultati clinici

Lo studio<sup>(3)</sup> è un articolo sugli effetti di un algoritmo NLFC (Non-Linear Frequency Compression) sulla valutazione della percezione del parlato, della musica e della qualità del suono.

Sulla percezione delle vocali sembra che i benefici forniti da NLFC siano limitati; probabilmente ciò è correlato ai parametri di regolazione della compressione. Riguardo alla percezione delle consonanti, differenti studi hanno mostrato che NLFC consente una migliore percezione delle consonanti dalle alte frequenze come /s/ e /z/. Tuttavia, pochi altri studi hanno dimostrato risultati negativi a proposito di ciò. In merito al riconoscimento di frasi l'uso continuo di NLFC potrebbe comportare miglioramenti nelle performance. Dal confronto con il processo convenzionale NLFC non altera la qualità sonora del parlato e la percezione della musica purché la compressione non è regolata in maniera troppo aggressiva. I fattori rilevanti riguardanti la configurazione di NLFC sono il periodo di acclimatazione, le caratteristiche dell'utente e gli obiettivi d'ascolto.

Nonostante la letteratura mostri risultati misti sull'efficacia percettiva di NLFC, questa tecnica migliora certi aspetti della comprensione del linguaggio in alcuni tipi di utenti ipoacusici.

## F. Esempio di fitting e regolazione fine del SoundRecover2

Il software per la regolazione del SoundRecover2 è Phonak Target 5.1. La figura 8(a) mostra delle curve di risposta d'esempio con SoundRecover2 attivo; la figura 8(b), invece, mostra il pannello di controllo di questo algoritmo.

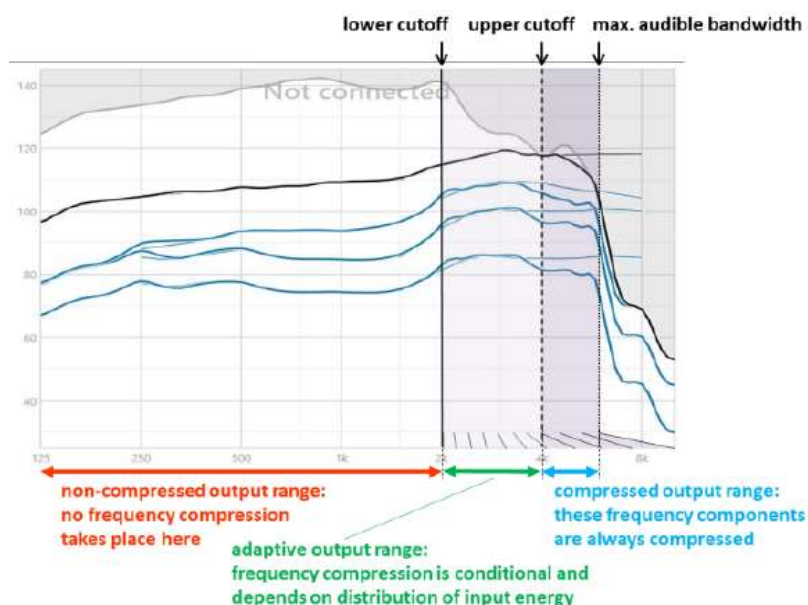


Figura 8(a) Esempio di curva di risposta per SoundRecover2. La compressione frequenziale inizia dalla frequenza di taglio inferiore o superiore a seconda della distribuzione di energia del segnale in input.

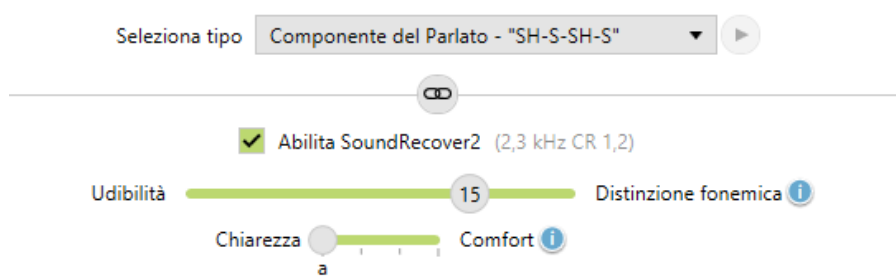


Figura 8(b) Il pannello di controllo per SoundRecover2 offerto da Phonak Target 5.1.