

METODOLOGIA PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ AUDIO DI APPARECCHI ACUSTICI

Lorenzo Picinali (1), Giancarlo Vercellesi (2), Antonio Mancuso (2)

1) Music, Technology and Innovation Research Centre, De Montfort University,
Leicester, UK

2) Laboratorio di Informatica Musicale, Università degli Studi di Milano

1. Sommario

Negli ultimi anni, le tecnologie in campo audiometrico ed audioprotesico si sono spostate piuttosto velocemente verso il digitale, grazie anche ad una crescente richiesta di qualità motivata dall'accresciuto livello culturale e sociale medio delle persone affette da ipoacusia.

In questo scritto, proponiamo una metodologia per la valutazione della qualità audio percepita attraverso un ascolto tramite protesi acustiche digitali. Come tecnologia si è fatto riferimento a quella fornita da ReSound Italia (ex GNReSound). La metodologia proposta presenta una serie di test che possono essere raggruppati in tre macrosezioni:

- Test analitici di tipo oggettivo: analisi di forma d'onda e spettro del segnale audio proveniente dalla protesi acustica, stima del rapporto segnale/rumore ed altri parametri selezionati ad hoc.
- Test oggettivi attraverso l'algoritmo di valutazione oggettiva della qualità audio percepita denominato PESQ [3] [4].
- Test soggettivi effettuati su soggetti normoudenti e soggetti affetti da ipoacusia. La programmazione di questi test è già stata effettuata e verrà descritta nelle pagine seguenti, mentre i test veri e propri sono ancora in fase di svolgimento presso la Clinica Universitaria di Audiologia dell'Ospedale di Ferrara, con la collaborazione del Prof. Silvano Prosser.

I risultati dei test (prime due macrosezioni) sono stati successivamente paragonati tra loro, con l'obiettivo di validare il sistema di valutazione proposto, evidenziando le performance qualitative della protesi testata. Tale valutazione ha permesso di produrre quello che abbiamo chiamato una "prova su strada", ovvero un documento complessivo sulla qualità audio percepita della protesi acustica, valutata simulando condizioni di utilizzo vicine a quelle che si manifestano nella vita di tutti i giorni.

2. Introduzione

È possibile affermare che, con l'evoluzione delle tecnologie hardware e software nel campo del *Digital Signal Processing* (DSP), il mondo delle protesi acustiche è notevolmente cambiato: da una protesi acustica analogica, che poteva modificare il segnale apportando poco più di una amplificazione relativa a determinate frequenze, si è passati ad una protesi digitale, con tutti i vantaggi legati alla gestione digitale dei segnali sonori. Questi vengono prelevati da capsule microfoniche (nelle protesi testate sono presenti due capsule) e, dopo essere stati convertiti nel dominio digitale, vengono processati attraverso diverse tipologie di algoritmi che consentono, ad esempio, un miglioramento del rapporto segnale/rumore (algoritmi di *Noise Reduction*), una direzionalità flessibile nella scelta dei diagrammi polari (algoritmi per la gestione della direzionalità), un'enfaticizzazione di determinate frequenze legate alla tipologia della perdita uditiva del soggetto in questione, una compressione multibanda del segnale basata su scala di Bark [2], e diverse altre tipologie di processamento del segnale.

ReSound Italia e il Dipartimento di Informatica e Comunicazione dell'Università di Milano hanno avviato, dal 2005, un progetto di ricerca riguardante la valutazione della qualità di nuovi apparecchi acustici, con l'obiettivo di sperimentare le funzionalità introdotte dalla tecnologia digitale in relazione ai contesti acustici più significativi per l'ascolto. I primi test, quelli oggetto di questo articolo, sono stati effettuati su materiale fornito da ReSound Italia: le protesi testate sono le GNReSound Metrix.

3. Metodologia di valutazione

3.1 Obiettivi e metodologia

A fronte della presenza negli apparecchi acustici di algoritmi sempre più potenti e raffinati, è necessario disporre di un quadro di riferimento sperimentale che ne illustri l'efficacia nelle reali condizioni di utilizzo. Le metodiche in uso finora non hanno tenuto in considerazione questo aspetto che invece risulta essere particolarmente rilevante per la valutazione e l'applicazione degli apparecchi. L'obiettivo è quindi quello di disporre di valutazioni che, oltre a verificare la qualità dell'apparecchio stesso, ne indichino l'efficacia nelle reali situazioni di utilizzo e le possibilità di adattamento, da parte dell'audioprotesista, alle esigenze di vita dei singoli soggetti.

Per questo motivo, la metodologia sviluppata, oltre a definire il protocollo di test ed i paradigmi di valutazione, cerca di standardizzare la rappresentazione dei dati, al fine di renderli comprensibili e confrontabili.

Attualmente gli apparecchi acustici tendono a individuare alcune situazioni *target* (parlato, parlato+rumore, rumore, musica, etc...) verso cui orientare i miglioramenti introdotti dalle nuove tecnologie. Il primo elemento di attenzione è la comprensione del parlato, vista l'importanza che questo ricopre nella vita di tutti i giorni. Uno degli aspetti più rilevanti della metodologia riguarda pertanto la valutazione del miglioramento della qualità del segnale parlato nelle diverse situazioni di spazializzazione e competizione con le fonti di disturbo.

Per quanto riguarda il parlato, si è scelto di utilizzare il linguaggio italiano e le frasi di riferimento per l'audiometria vocale contenute nel CD di Audiometria Vocale [1], in modo da contestualizzare ulteriormente le valutazioni rispetto alla nostra lingua. La metodologia pertanto risulta essere composta dai seguenti *frames* :

- I. Metodologia e standard: comprende anche la descrizione degli standard di visualizzazione e reportistica dei risultati.
- II. Esperimenti per l'acquisizione dei dati: attraverso *dummy head* e protesi.

- III. Test tecnici: misure sulle prestazioni delle protesi con metodi DSP tradizionali.
- IV. TEST oggettivi: confronto fra segnali reali (*dummy head*) e output delle protesi, per mezzo di algoritmi PESQ, STI, STIPA ecc.
- V. Validazione con metodi soggettivi su soggetti normoudenti: somministrazione di batterie di test su soggetti normoudenti al fine di validare i test oggettivi.
- VI. Validazione con metodi soggettivi su ipoudenti: somministrazione di batterie di test su soggetti ipoudenti al fine di validare il comportamento della protesi nelle situazioni di test.
- VII. Analisi e comparazione: confronto critico dei risultati delle varie indagini e di eventuali varie tipologie della stessa protesi (Open, ITC, ITE, CIC).
- VIII. Reportistica: tutti i dati e i commenti vengono presentati analiticamente e sinteticamente con modalità standardizzate.

3.2 Metodica operativa

La metodica sulla quale si basa la valutazione consiste nel confrontare i segnali in output dalle protesi con quelli in output da una *dummy head*: quest'ultima viene posta al centro di un campo sonoro multifonico, generato da un array di altoparlanti, e le protesi acustiche vengono posizionate sulla *dummy head* stessa. Attraverso gli altoparlanti, posizionati attorno alla *dummy head*, vengono riprodotte diverse situazioni, accomunate dalla presenza di un segnale parlato di riferimento e di un rumore mascherante quadrifonico. I segnali, prelevati direttamente all'imboccatura del dotto uditivo della *dummy head* e al termine del tubicino delle protesi acustiche (posizionando il ricevitore dove solitamente si trova il peduncolo), vengono quindi confrontati attraverso un'analisi oggettiva delle principali caratteristiche del segnale, e attraverso test oggettivi basati su algoritmi di valutazione oggettiva della qualità audio percepita (test soggettivi sono programmati e in fase di svolgimento, vedi paragrafo 7).

Uno degli aspetti più innovativi di questa ricerca sta nel fatto che i rumori mascheranti utilizzati rappresentano una simulazione sonora bidimensionale (e non monodimensionale, come invece accade durante una riproduzione stereofonica), il più possibile realistica, di situazioni di ascolto critiche. Come rumori mascheranti, oltre ai rumori sintetizzati, quali rumore rosa e rumore bianco, sono stati usati segnale "*babble*" (o "*cocktail party*", ovvero un segnale composto da vari parlati provenienti da varie direzioni) e segnale "traffico" (ovvero un segnale composto dai tipici rumori del traffico cittadino provenienti da varie direzioni): questi rumori sono stati registrati in multicanale (per la precisione utilizzando 4 microfoni posizionati sul piano orizzontale, per una ripresa bidimensionale del paesaggio sonoro) da situazioni reali (in una strada e in un locale pubblico), quindi compressi in dinamica e calibrati in modo da poter essere utilizzati durante le accurate misurazioni effettuate nei test.

Ovviamente, gli esperimenti vengono programmati in maniera differente a seconda dell'algoritmo da testare, così come le protesi vengono calibrate differentemente a seconda della tipologia di esperimento (vedi paragrafo 6).

4. Gli apparecchi acustici digitali

Gli apparecchi digitali hanno introdotto una serie di algoritmi volti al miglioramento delle prestazioni in particolari situazioni di ascolto. Anche se con nomi diversi e prestazioni differenti, i principali campi di azione di questi algoritmi riguardano l'identificazione della provenienza delle fonti sonore, con particolare riguardo al

linguaggio parlato, la focalizzazione del campo d'azione microfónico, l'eliminazione delle fonti di rumore e la gestione automatica del *feedback*. I vari algoritmi possono essere adattati alle situazioni di ascolto usuali per il paziente in questione.

In fase di test, si cerca di verificare prima il comportamento di un algoritmo per volta, poi di algoritmi combinati in funzione delle varie situazioni di utilizzo ipotizzate. In queste pagine vengono riportati, come riferimento, i test effettuati sulla protesi digitale GNReSound Metrix, che sono serviti per sviluppare il *kernel* della metodologia.

La protesi Metrix è stata lanciata sul mercato nella seconda metà del 2005: le sue caratteristiche in termini di miglioramento dell'intelligibilità del parlato e di direzionalità fanno sì che la protesi venga posizionata in cima alla gamma di protesi GNReSound. Oltre alla possibilità di compensare, attraverso filtri ed amplificazioni, le curve di sensibilità uditiva di soggetti ipoacusici, la protesi Metrix presenta una serie di funzioni, altamente customizzabili, che permettono di risolvere numerosi problemi legati a situazioni di ascolto critico. Ecco, qui di seguito, un elenco ed una breve spiegazione delle suddette funzioni.

4.1 Direzionalità Adattiva

In situazioni critiche di ascolto ci si trova spesso a dover comprendere un parlato frontale con rumore mascherante a 360°, e questo risulta essere sicuramente più difficile, se non impossibile, per persone affette da ipoacusia: è proprio in queste situazioni che una protesi acustica con una spiccata direzionalità frontale può risultare indispensabile.

La direzionalità adattiva delle protesi Metrix agisce direttamente sui diagrammi polari del microfono della protesi; nel caso specifico, l'algoritmo lavora sui ritardi ed il mixaggio dei segnali provenienti da due microfoni posti, ad una certa distanza l'uno dall'altro, sulla parte posteriore della protesi stessa. Viene quindi scelta, in base alla direzione di provenienza del segnale, la risposta polare più adatta alla situazione, in modo ovviamente da "privilegiare" i segnali frontali. I diagrammi polari della risposta direzionale della protesi sono decisamente più "stretti" sul frontale rispetto ad un classico diagramma cardioide o ipercarioide: questo viene appunto ottenuto grazie all'adattività della risposta polare della protesi.

Le protesi Metrix sono anche in grado di applicare una direzionalità adattiva multipla per diverse sorgenti sonore mascheranti (ovviamente questo è possibile solo nel campo frequenziale, ovvero quando le sorgenti mascheranti hanno componenti in frequenza sufficientemente diverse tra loro). Il rumore mascherante viene suddiviso in bande frequenziali utilizzando la scala di Bark, e per ogni banda viene scelto il diagramma polare adeguato, in modo da evidenziare i suoni frontali ed eliminare i rumori a 360°. Nelle varie situazioni di ascolto, i ritardi tra i due microfoni presenti sulla protesi vengono automaticamente regolati in maniera differente a seconda della frequenza, generando quindi diversi diagrammi polari "*frequency dependent*".

4.2 Direzionalità Adattiva con *Soft Switching*

La funzione *IAD SS* (Direzionalità Adattiva con *Soft Switching*) serve per gestire in modalità dinamica la direzionalità delle protesi in funzione della situazione in cui si trova il soggetto protesizzato; questo significa che la protesi è in grado di decidere dinamicamente se avere una risposta polare direzionale o omnidirezionale a seconda dell'ambiente in cui è effettuato l'ascolto (la sola direzionalità adattiva fa sì che questa scelta sia determinata unicamente in base alla direzione di provenienza dello stimolo). In una situazione di rumore costante tutto intorno all'ascoltatore, i microfoni della

protesi lavorano in modalità omnidirezionale; alla comparsa di un segnale di parlato frontale, i microfoni diventano direzionali e si focalizzano sulla parte frontale.

4.3 *Noise Tracker*

Noise Tracker è il nome che GNReSound ha dato alla funzione di riduzione del rumore implementata nelle protesi Metrix. È composta da un algoritmo di *Noise Estimation* e da un algoritmo di *Noise Reduction*: il primo ha il compito di identificare il rumore (ovviamente dopo averlo distinto dal parlato), di analizzarne la ciclicità e le componenti frequenziali e di “inviare” questi dati al secondo algoritmo, che si occuperà di cancellare il rumore attraverso complesse elaborazioni basate su fasi e controfasi.

L'algoritmo di *Noise Reduction* è basato su un compressore *Warp* multicanale [2]: si tratta di una tecnica che permette di avere una rappresentazione frequenziale logaritmica ed un'alta efficienza a livello computazionale. La tecnica *Human Resolution Warp* di GNReSound utilizza infatti parametri che corrispondono precisamente alla scala di Bark (rappresentazione frequenziale in bande critiche). Lo spettro FFT di un segnale "*frequency warped*" è quindi rappresentato da 17 bande in frequenza parzialmente sovrapposte (overlapping), separate approssimativamente da 1.3 Bark; questa struttura in bande con overlapping consente di eliminare le distorsioni non lineari (distorsioni che compaiono molto spesso in un'analisi FFT standard). Nelle protesi Metrix questo è implementato in un processore che utilizza la tecnica di *frequency warping* sia per il filtro, sia per il percorso di analisi frequenziale del segnale (sistema di processamento parallelo).

5. Valutazione della qualità audio percepita (PESQ)

5.1 Panoramica PESQ (ITU-T P.862)

ITU-T (International Telecommunication Union) fornisce la raccomandazione [3] come metodo per la valutazione oggettiva della qualità audio percepita di segnali vocali: tale sistema è anche noto con il nome di "Perceptual Evaluation of Speech Quality" (PESQ). La ITU-T [3] raccomanda PESQ per valutare la qualità vocale di sistemi telefonici handset e codec vocali da 300Hz a 3100 Hz, ovvero sistemi che applicano filtri IRS-type narrowband. Esiste un'estensione di PESQ narrow band, descritta in [4], e nota come "*PESQ Wideband*". Questo sistema è raccomandato per la valutazione di sistemi vocali con banda da 50Hz a 7000Hz. PESQ Wideband si differenzia dal PESQ descritto in [3] per l'input filter (che lavora su un range frequenziale maggiore) e per la mappatura dell'output.

Per calcolare la qualità oggettiva di un segnale vocale, PESQ compara il segnale originale $X(t)$ (detto *reference file*) con il segnale degradato $Y(t)$ (detto *degraded file*) ottenuto dal segnale $X(t)$ passato attraverso il sistema di comunicazione da testare. PESQ fornisce in output un punteggio che varia da -0.5 a 4.5 (PESQ MOS in [1] o MOS-LQO in [4]), come indice (predizione) della qualità percepita (MOS – Mean Opinion Score) ottenuta dall'ascolto comparativo dei segnali $X(t)$ e $Y(t)$ in sessioni di test soggettivo, secondo la raccomandazione [5].

L'algoritmo PESQ calcola i disallineamenti temporali tra $X(t)$ e $Y(t)$ per permetterne un successivo riallineamento, trasformando poi $X(t)$ e $Y(t)$ in una rappresentazione interna di carattere psicoacustico attraverso un calcolo in termini di frequenze e *loudness* percepito (scala di Bark e *Phon*). Questa trasformazione avviene eseguendo diverse operazioni quali: *time alignment*, *level alignment* per la calibrazione del livello di ascolto, *time-frequency mapping*, *frequency warping* e *compressive loudness scaling*.

Infine, PESQ elabora opportunamente i segnali così trasformati per misurarne il livello di effetti ed artefatti di degradazione introdotti nel segnale $Y(t)$ rispetto al segnale $X(t)$. Viene così ottenuta una serie di indicatori che permettono di modellare le diverse tipologie di degradazione, percepite in maniera soggettiva, dalle quali è poi possibile calcolare il *PESQ score* (PESQ MOS).

5.2 PESQ e le protesi acustiche

In [3], ITU-T raccomanda PESQ per la valutazione oggettiva di sistemi *voice-based*, considerando i diversi fattori di qualità caratterizzanti il sistema vocale considerato. Tali fattori sono di seguito elencati:

- 1) Diversi livelli di *speech input* forniti al sistema vocale;
- 2) Diversi livelli di listening emessi dal sistema vocale;
- 3) Presenza di due o più *talkers* nel test (anche simultanei);
- 4) Errori di rete durante la trasmissione di canale tra sistema di trasmissione e sistema di ricezione;
- 5) Diversi valori o tipologie di *bit rates* utilizzati, diversi livelli di *speech input* forniti al sistema vocale, nel caso che tale parametro fosse previsto dal sistema sotto test (esempio: codec vocale);
- 6) Diverse transcodifiche effettuate dal sistema vocale;
- 7) Presenza di rumore ambientale in fase di acquisizione nel sistema vocale.

PESQ è in grado di valutare correttamente sistemi con fattori di qualità 1, 4, 5, 6 e 7. Per maggiori approfondimenti sui punti elencati, consultare [5].

In questo articolo, consideriamo le protesi acustiche come un sistema *voice-based* caratterizzato dal fattore di qualità 7); è perciò ragionevole effettuare i test per la valutazione della qualità oggettiva con presenza di rumore di fondo in fase di acquisizione come mostra la Figura 1.

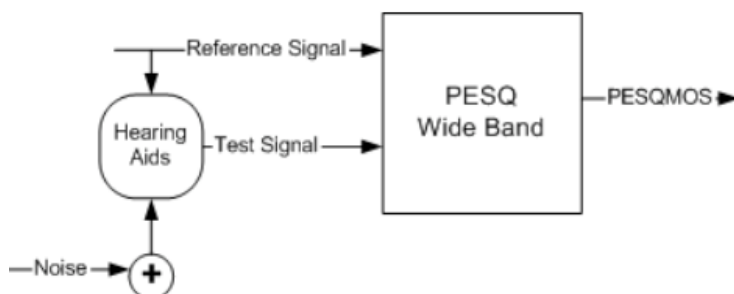


Figura 1 - Utilizzo di PESQ in presenza di rumore di fondo

Gli apparecchi acustici considerati operano su range frequenziali tra 50 Hz e circa 8.000 Hz: per questo motivo è stato impiegato PESQ *Wideband* [4] per la valutazione oggettiva.

6. I test effettuati sulle protesi

Come descritto nella paragrafo 3, le protesi Metrix dispongono di una serie di algoritmi per il miglioramento delle condizioni di ascolto in situazioni critiche: sono quindi stati programmati ed eseguiti dei test specifici per ogni tipologia di algoritmo (vedi paragrafo 4). I test effettuati possono essere riassunti nel seguente elenco:

- Test *FLAT*: nessun algoritmo attivato, curva di sensibilità uditiva standard, nessun fattore di compressione. Questo test è stato particolarmente utile per la verifica della risposta in frequenza della protesi con tutti gli algoritmi *bypassati*, in modo da avere un'idea sul comportamento generale dell'apparecchio.
- Test Direzionalità Adattiva: attivo unicamente l'algoritmo per la Direzionalità Adattiva, curva di sensibilità uditiva standard, nessun fattore di compressione. Durante questo test sono stati estratti i diagrammi polari delle protesi utilizzando dei segnali sweep seno-logaritmici, in modo da avere dati sulla risposta differenziata per frequenza. È stato effettuato anche un test per verificare la funzione della protesi per la selezione automatica di diagrammi polari differenti, in modo da eliminare sorgenti sonore mascheranti a diverse frequenze e diverse posizioni rispetto alla *dummy head*.
- Test Direzionalità Adattiva con *Soft Switching*: attivo unicamente l'algoritmo per la Direzionalità Adattiva con *Soft Switching*, curva di sensibilità uditiva standard, nessun fattore di compressione. Durante questo test si è verificata la capacità della protesi di cambiare diagramma polare, da omnidirezionale a direzionale, a seconda della scena uditiva, quindi della presenza o meno di parlato frontale.
- Test *Noise Tracker*: attivo unicamente l'algoritmo di *Noise Tracker*, curva di sensibilità uditiva standard, nessun fattore di compressione. Durante questo test si è verificata la capacità della protesi di cancellare rumore mascherante, lasciando invariato il parlato.
- Test *ALL*: tutti gli algoritmi attivati, curva di sensibilità uditiva standard, nessun fattore di compressione. Questo test è stato utile per avere un'idea della risposta della protesi con tutti gli algoritmi attivati, in modo da avere una valutazione globale sul miglioramento della qualità audio percepita dopo il trattamento.

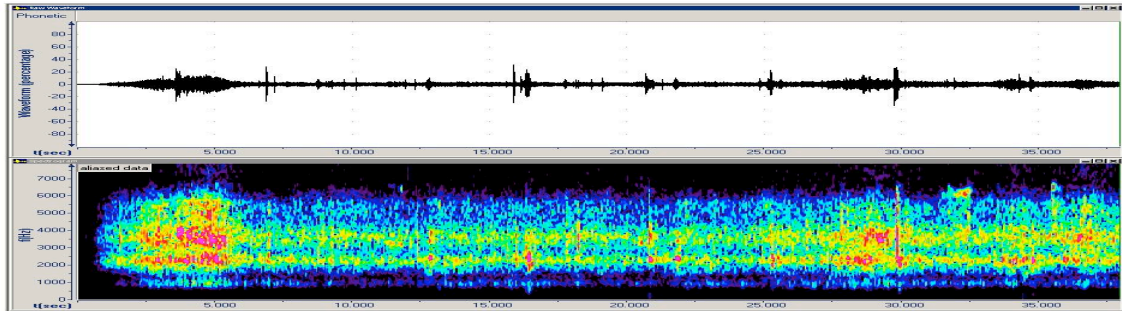
Per esemplificare, si riportano di seguito le analisi dei dati relativi al test *Noise Tracker*.

6.1 Valutazione analitica test *Noise Tracker*

Durante questo test, dagli altoparlanti si è prima riprodotto del rumore mascherante in quadrifonia (rumore rosa, *babble* e traffico); dopo 7 secondi si è riprodotto del segnale parlato frontale per 30 secondi, dopodichè si è tornati al solo rumore mascherante. Come esempio, nella Figura 2 si riporta prima l'oscillogramma poi il sonogramma dei segnali registrati dalle protesi utilizzando come segnale mascherante il rumore di traffico in quadrifonia. Si può notare come a partire dal secondo 4 sia in atto una riduzione dell'ampiezza del segnale: dopo il tempo necessario a riconoscere ed analizzare il rumore mascherante (i primi 4 secondi), l'algoritmo inizia a ridurre quello che ha identificato come rumore mascherante, apportando riduzioni fino a 9 dB rispetto allo stesso segnale registrato dalla *dummy head* (quindi senza algoritmo di *noise reduction*).

Nella Figura 3 è rappresentata in maniera analitica la curva del livello in dBfs RMS dei segnali in output da protesi e *dummy head*. Si può notare come, mentre all'inizio i due segnali hanno la stessa intensità, dopo i primi 3-4 secondi il segnale in output dalle protesi viene ridotto a circa -8/-9 dB rispetto al segnale della *dummy head*: i picchi di intensità (sec 18 e sec 28) sono dovuti alla discontinuità del segnale mascherante. È poi possibile osservare anche le curve del livello in dBfs RMS del solo parlato in output da

protesi e *dummy head* (ovviamente ci si riferisce allo stesso esperimento, quindi la curva del solo parlato è stata calcolata con il rumore mascherante attivato). Si può



notare come i livelli del segnale parlato siano molto simili tra protesi e *dummy head*. Questo dato indica che la riduzione viene applicata unicamente al segnale mascherante, lasciando il segnale parlato più o meno invariato.

Figura 2 – Oscillogramma e Sonogramma del segnale in output dalle protesi con *Noise Tracker* attivato, rumore mascherante di traffico e parlato frontale

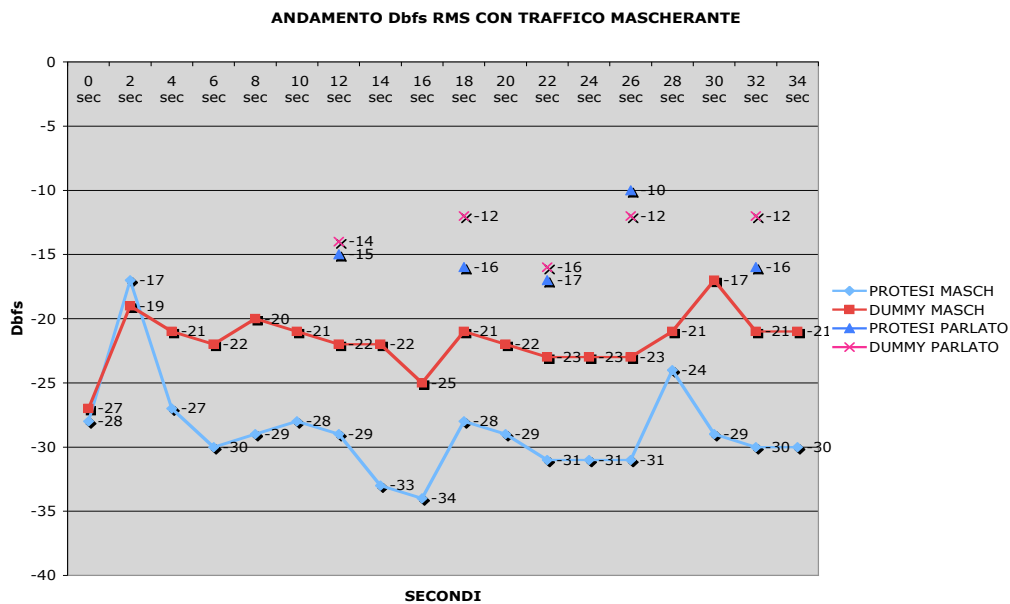


Figura 3 – Rappresentazione analitica dell’andamento delle curve di dBfs RMS per rumore mascherante e parlato nei segnali provenienti dalle protesi e dalla *dummy head*

6.2 Valutazione oggettiva test *Noise Tracker* utilizzando PESQ Wideband

Come segnale di riferimento (*reference file*) si è registrato il solo parlato frontale acquisendolo direttamente dalla Dummy Head. Questo segnale è stato poi confrontato con i *test signal* acquisiti sia dalla dummy head che dalle protesi acustiche, con *noise tracker* attivato, utilizzando tre diversi rumori di mascheramento (*cocktail party*, traffico e rumore rosa), alle diverse angolazioni previste (0, 90°, 180°, 270°).

Per ogni angolazione prevista, PESQ riceve perciò in input le seguenti coppie di segnali:

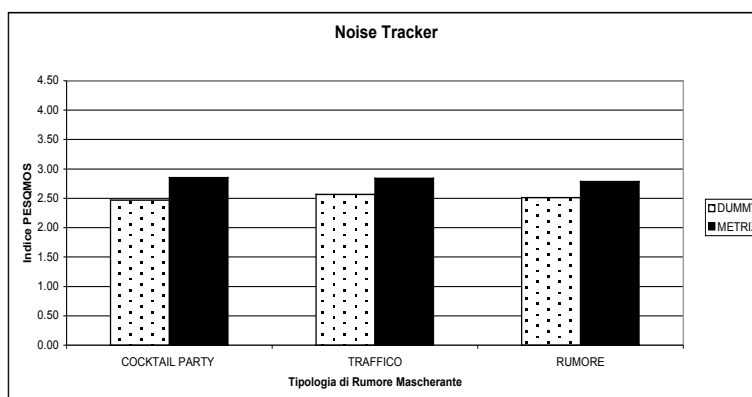
ID	REFERENCE FILE	TEST FILE <i>Dummy Head</i>
1	dummy head solo voce frontale	dummy head con <i>babble</i>

2	dummy head solo voce frontale	dummy head con traffico
3	dummy head solo voce frontale	dummy head con rumore rosa
4	dummy head solo voce frontale	protesi con noise tracker e <i>babble</i>
5	dummy head solo voce frontale	protesi con noise tracker e traffico
6	dummy head solo voce frontale	protesi con noise tracker e rumore rosa

Tabella 1: coppie dei segnali forniti in input al sistema PESQ

Successivamente, si sono comparate le valutazioni PESQ tra le coppie di segnali 1-4, 2-5, 3-6, in modo da verificare il miglioramento della qualità percepita del segnale introdotto all'algoritmo *noise tracker* della protesi Metrix.

La figura 4 mostra i risultati di queste comparazioni, suddividendoli per tipologia di rumore mascherante. È possibile vedere come, per ogni tipologia di rumore mascherante, i segnali delle protesi Metrix con *Noise Tracker* attivato abbiano ottenuto una migliore valutazione PESQ rispetto agli analoghi registrati dalla Dummy Head. Ciò indica inequivocabilmente che l'algoritmo di *noise tracker* fornito dalle protesi Metrix introduce un miglioramento nella qualità audio vocale percepita.

Figura 4 – Grafico con le valutazioni PESQ sul test *Noise Tracker*

7. Piattaforma per il testing soggettivo

Sono stati programmati degli specifici test soggettivi su individui protesizzati (in questo caso con protesi Metrix), in modo da avere dei dati da paragonare alle valutazioni analitiche ed oggettive tramite PESQ. È stata programmata una piattaforma per l'esame di audiometria vocale per l'estrazione della curva SRT (*Speech Reception Threshold*) utilizzando un sistema pentafonico di altoparlanti: in questo modo, risulta possibile effettuare dei test su pazienti ipoacusici protesizzati, cosa impossibile utilizzando le normali procedure per l'audiometria vocale in cuffia. Inoltre, utilizzando campi sonori bidimensionali si cerca di effettuare dei test che simulino nel miglior modo possibile situazioni critiche di ascolto reali.

I test sono tuttora in fase di svolgimento presso Clinica Universitaria di Audiologia dell'Ospedale di Ferrara, con la collaborazione del Prof. Silvano Prosser.

8. Conclusioni e lavori futuri

I test effettuati sulle protesi GNReSound Metrix, oltre che dare un giudizio sulla qualità delle protesi stesse, sono stati utili per la formalizzazione di un metodo di valutazione oggettiva e soggettiva della qualità percepita attraverso un ascolto tramite protesi acustiche; i test devono ancora essere completati (per la parte riguardante i test soggettivi), e solo una volta in possesso di tutti i dati sarà possibile effettuare paragoni

fra le diverse tipologie di test (analitico, oggettivo, soggettivo), e avere un'idea più chiara di come questi dati potranno essere utilizzati per migliorare le modalità di applicazione sui soggetti e, in futuro, la tecnologia nel campo audioprotesico. La metodica di valutazione viene continuamente aggiornata e migliorata, nonché customizzata a seconda dall'apparecchio, effettuando ulteriori test su protesi acustiche fornite da ReSound Italia.

Allo stato attuale si prospettano alcune aree di sviluppo sulle quali stiamo concentrando attenzione e risorse: l'implementazione di modelli delle perdite uditive, da utilizzare sia in fase di taratura della protesi sia nel *tuning* degli algoritmi di valutazione oggettiva, e la proiezione dei risultati rispetto ad una visione più ampia dell'interpretazione del panorama acustico, quale quella fornito dalle teorie dell'Analisi della Scena Uditiva.

9. Acknowledgement

Il progetto di ricerca descritto in questo articolo è stato finanziato da ReSound Italia, in collaborazione con l'Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Informatica e Comunicazione.

10. Bibliografia

- [1] Cutugno, F.; Prosser, S.; Turrini, M.; "Audiometria Vocale", ReSound - Hearing Innovation for Life
- [2] Franz, Stefan; Mitra, Sanjit K.; Doblinger, Gerhard; "Frequency estimation using warped discrete Fourier transform", Signal Processing, No. 82, pp. 1661-1671, 2003
- [3] International Telecommunication Union, Telecommunication standardization sector of ITU, "ITU-T P.862: Methods for objective and subjective assessment of quality", series P: telephone transmission quality telephone installations local line networks, 2001. 17th International Congress on Acoustics. Roma, 2-7 Settembre 2001
- [4] International Telecommunication Union, Telecommunication standardization sector of ITU, "ITU-T P.862.2: Wideband extension to Recommendation P.862 for the assessment of wideband telephone networks and speech codecs", series P: telephone transmission quality telephone installations local line networks, Methods for objective and subjective assessment of quality, 2005
- [5] International Telecommunication Union, Telecommunication standardization sector of ITU, "ITU-T P.830: Subjective performance assessment of telephone-band and wideband digital codecs", series P: telephone transmission quality, methods for objective and subjective assessment of quality, 1996
- [6] Rix, A.W.; Beerends, J.G.; Hollier, M.P.; Hekstra, A.P.; "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)-a new method for speech quality assessment of telephone networks and codecs", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, pp: 749-752 vol.2, USA, 2001
- [7] Rix, A.W.; Reynolds, R.; Hollier, M.P.; "Perceptual measurement of end-to-end speech quality over audio and packet-based networks", 106th AES Convention, pre-print No. 4873, May 1999