



Istituto di Scienza e Tecnologie
dell'Informazione "A. Faedo"
Consiglio Nazionale delle Ricerche



ISTI Technical Reports

Introduzione al trattamento del rumore nelle protesi acustiche

Marco Righi, CNR-ISTI, Pisa, Italy

Graziano Bertini, CNR-ISTI, Pisa, Italy

ISTI-TR-2021/020



Introduzione al trattamento del rumore nelle protesi acustiche

Righi M.; Bertini G.

ISTI-TR-2021/020

Abstract

La presente nota, prende spunto da un argomento oggetto di un seminario effettuato in DAD per gli studenti del 3° anno del corso di laurea in Tecniche Audioprotesiche (aa 2020 - '21), nel quale sono state trattate le varie strategie adottate nelle protesi acustiche per diminuire gli effetti del rumore acustico sul parlato. Ultimamente alcune di tali tecniche adottano soluzioni basate su reti neurali e criteri di intelligenza artificiale. Prima di illustrare le varie soluzioni viene anteposta una breve descrizione delle varie tipologie di rumore, la modalità della sua stima e gli effetti che può provocare sull'apparato uditivo umano. Viene dato un cenno anche ai tentativi proposti per rendere udibili alcuni particolari segnali non verbali, cioè vari tipi di allarmi, che invece è bene non vengano attenuati.

Analisi del segnale, Protesi acustiche, Soppressione del rumore, Psicoacustica

Citation

Righi M.; Bertini G. *Introduzione al trattamento del rumore nelle protesi acustiche* ISTI Technical Reports 2021/020. DOI: 10.32079/ISTI-TR-2021/020

Istituto di Scienza e Tecnologie dell'Informazione "A. Faedo"

Area della Ricerca CNR di Pisa

Via G. Moruzzi 1

56124 Pisa Italy

<http://www.isti.cnr.it>

Introduzione al trattamento del rumore nelle protesi acustiche

Tecnical Report

Marco Righi* e Graziano Bertini†

20 dicembre 2021

keyword: analisi del segnale, protesi acustiche, soppressione del rumore, psicoacustica

DOI:10.5281/zenodo.5792649

**marco.righi@isti.cnr.it*, Istituto di Scienza e Tecnologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 56124 Pisa, Italia

†*graziano.bertini@isti.cnr.it*, Istituto di Scienza e Tecnologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche, 56124 Pisa, Italia

Indice

1	Sommario	3
2	Introduzione	3
3	Suono e rumore	4
3.1	Differenze e analogie tra suono e rumore	4
3.2	Classificazione e caratteristiche del rumore	5
4	Il rumore acustico e la sua stima - <i>cenni di Psicoacustica</i>	6
5	La riduzione del rumore nelle protesi acustiche	8
5.1	Metodo di sottrazione spettrale	8
5.2	Metodo di cancellazione di fase	9
5.3	Metodo della sottrazione spaziale	10
5.4	Algoritmo MMSE	10
5.5	Tecniche basate su reti neurali	10
5.6	Altri metodi	11
6	Esempi di metodi di riduzione del rumore	12
7	Conclusioni	13

1 Sommario

La presente nota, prende spunto da un argomento oggetto di un seminario effettuato in DAD per gli studenti del 3° anno del corso di laurea in Tecniche Audioprotesiche (aa 2020 – '21), nel quale sono state trattate le varie strategie adottate nelle protesi acustiche per diminuire gli effetti del rumore acustico sul parlato. Ultimamente alcune di tali tecniche adottano soluzioni basate su reti neurali e criteri di intelligenza artificiale. Prima di illustrare le varie soluzioni viene anteposta una breve descrizione delle varie tipologie di rumore, la modalità della sua stima e gli effetti che può provocare sull'apparato uditivo umano. Viene dato un cenno anche ai tentativi proposti per rendere udibili alcuni particolari segnali non verbali, cioè vari tipi di allarmi, che invece è bene non vengano attenuati.

2 Introduzione

Come noto lo scopo principale delle protesi acustiche è quello di permettere/migliorare la comprensione del parlato in soggetti ipoacusici e la maggior parte dei modelli in commercio consentono ottime performance in ambiente silenzioso.

Le difficoltà nascono quando nelle situazioni di vita reale siano **presenti suoni disturbanti**, quello che genericamente si definisce **rumore**.

In effetti le forti amplificazioni fornite dagli apparecchi, se non accompagnate da una gestione efficace del rumore si sono infatti dimostrate, nel corso del tempo, una concausa del **mancato utilizzo** delle protesi in gran parte di soggetti affetti da ipoacusia.

In passato argomenti presi in considerazione dal gruppo di lavoro all'ISTI impegnato sui segnali audio sono stati quelli di sviluppare: prototipi di stazioni audiometriche basate su schede DSP [1], sistemi hw/sw per il migliore ascolto della musica per i portatori di apparecchi acustici [2, 3].

Nella presente relazione, diamo un cenno alle varie tipologie di rumore, alla sua stima e agli effetti sull'udito umano. Seguono la descrizione di alcune tipiche strategie applicate per diminuirne gli effetti sul parlato e anche recenti proposte basate su AI (reti neurali); ovviamente il livello dell'esposizione dei temi trattati nel seminario (e anche in questa nota) è poco più che divulgativo e comunque rapportato ai curriculum dei corsi effettuati dagli studenti. Daremo un cenno anche alle soluzioni proposte per rendere udibili alcuni **segnali non verbali** (vari tipi di allarmi) che invece è bene non vengano attenuati, ma anzi preservati: sembra questa una delle tematiche su cui si stanno impegnando attualmente molte case costruttrici di apparecchi acustici.

Si ricorda che il problema della riduzione degli effetti del rumore è stato preso in considerazione tra gli argomenti trattati nel 4° gruppo di slide del modulo di "**Metodi di elaborazione del segnale sonoro**" svolto nel 2° anno del corso di Tecniche Audio-protesiche (aa dal 2015 fino al 2020) e riguardanti le principali funzioni svolte dagli apparecchi acustici; in questa nota ne viene ampliata la trattazione, pur rimanendo il livello adeguato alla preparazione degli studenti.

Si ricorda che nel succitato corso sono descritti :

- i componenti elettronici che eseguono funzioni di interfaccia tra il mondo analogico e il nucleo di calcolo numerico, specie il filtraggio in frequenza;
- le caratteristiche nel dominio del tempo e della frequenza dei segnali sonori necessarie alla corretta gestione nel dominio numerico;
- le tecniche ed i dispositivi di conversione da analogico a digitale e viceversa necessari alla corretta acquisizione-restituzione dei segnali sonori onde permettere la loro elaborazione da parte di processori (DSP) specializzati per il loro trattamento in tempo reale.

La figura 1 riporta lo schema a blocchi di un generico sistema di elaborazione dei segnali. A livello funzionale una qualsiasi protesi digitale, è costituita almeno dai blocchi descritti in figura 1.

Nelle protesi miniaturizzate le funzioni sono accentrate in un unico chip integrato contenente i convertitori ADC e DAC, il DSP (Digital Signal Processor) e così via. Ogni ditta in genere ha il suo chip proprietario ed i propri programmi software che permettono di espletare le funzioni previste per quel particolare modello di protesi .

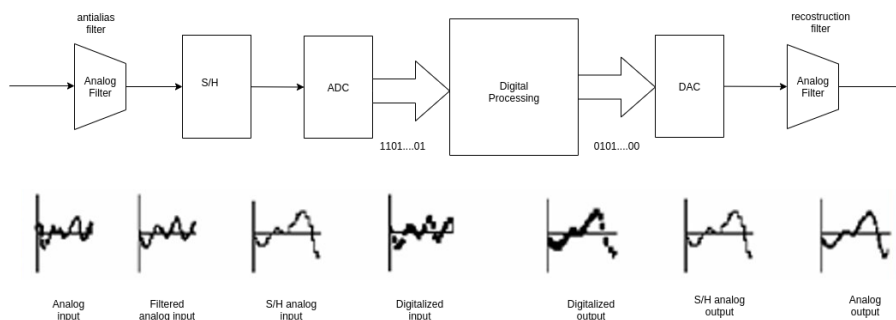


Figura 1: Architettura di un generico sistema di elaborazione digitale di segnali

3 Suono e rumore

3.1 Differenze e analogie tra suono e rumore

Dal punto di vista fisico, suono e rumore risultano essere equivalenti poiché possono essere descritti utilizzando le stesse grandezze. Tuttavia, specie a livello soggettivo, vi sono delle differenze che permettono di classificare un fenomeno sonoro come suono o rumore.

Molti studi, in maniera forse anche troppo semplice, ritengono che ciò che permette di operare una distinzione tra suono e rumore sia il fatto che il primo possa essere descritto in termini di onda periodica, ovvero un segnale con uno spettrogramma che presenta solo toni puri di frequenza multipla di una frequenza fondamentale: al contrario, che il rumore sia caratterizzato da un'onda irregolare e disordinata ed il suo spettro sia un addensamento continuo di componenti (vedi figura 2).

Sappiamo che non è sempre così. Si pensi, ad esempio, a molti *suoni prodotti da strumenti a percussione che hanno una andamento aperiodico (ne consegue uno spettrogramma denso)*, ma pur sempre percepiti come musica e viceversa a suoni con anche solo due frequenze ma troppo vicine che non permettono al nostro sistema uditivo di discriminarne l'altezza, facendo risultare il suono come ruvido, sgradevole come un rumore.

il **rumore**, quindi, indipendentemente da come venga generato, sia come tipologia di spettro in frequenza e di andamento della forma d'onda nel tempo, è *un suono percepito come disturbante* rispetto alla normalità dei suoni abituali (vocen musica, ecc).

Tra l'altro sappiamo che una delle cause principali di ipoacusia è il rumore di **intensità superiori a certi limiti e di durata di esposizione prolungata** (e questo **vale anche per la musica**). I livelli di rumore elevato generano fenomeni quali TTS (Temporary Threshold Shift), PTS (Permanent Threshold Shift) e/o gli acufeni che con il prolungarsi del tempo causano l'ipoacusia; la figura 3 riporta una stima del verificarsi dei danni in funzione del tempo di esposizione.

Oltre lo scopo di questo documento, ci preme consigliare, quando si frequentano locali notturni, discoteche, bar, eventi sportivi e altri posti rumorosi, di fare brevi pause durante l'ascolto per aiutare a limitare l'impatto all'esposizione al rumore, e allontanarsi dai suoni troppo forti recandosi in zone più silenziose.

Nel caso di trattamento dell'ipoacusia con protesi acustiche il rumore, pur a livelli di intensità **non dannosi**, può essere comunque **disturbante** per la comprensione dei messaggi vocali di interesse.

Per ridurre gli effetti sul segnale utile sono state studiate diverse strategie per la comprensione delle quali è utile definire prima alcune caratteristiche del rumore.

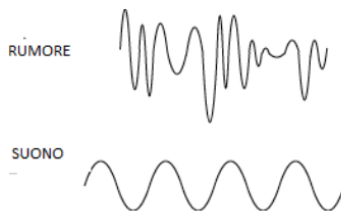


Figura 2: Un suono e un rumore

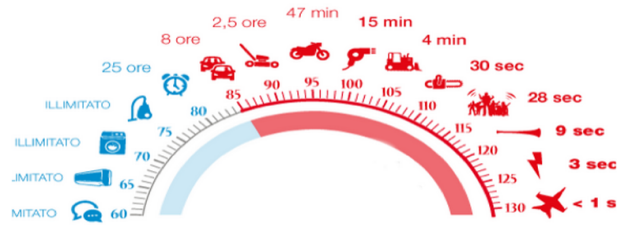


Figura 3: Livelli ammessi di esposizione quotidiana al rumore

3.2 Classificazione e caratteristiche del rumore

Nel descrivere le strategie di riduzione degli effetti provocato dal rumore in vari ambiti dell'acustica in particolare quelli riferiti all'apparato uditivo umano, è utile avere conoscenza delle caratteristiche del rumore.

La **classificazione del rumore** può essere effettuata in base:

1. alla sorgente naturale o artificiale (in dipendenza alla civilizzazione o all'industrializzazione)
 - (a) vari tipi di Traffico: veicolare, aereo, ferroviario
 - (b) apparecchi di uso domestico ed attività umane
 - (c) impianti idraulici, termici, elettrici, ascensori, ecc. connessi con l'edificio abitativo
 - (d) laboratori artigiani, industrie inserite nel contesto urbano o nelle vicinanze
 - (e) altre sorgenti di rumore non incluse nel precedente elenco come, rumori generati da animali, da eventi meteorologici, dall'uso di campi di tiro, da macchine agricole, dai concerti e locali pubblici, etc.
2. alla sua intensità e alle sue caratteristiche spettrali
 - (a) In figura 4 vediamo due esempi caratteristici di rumore nel dominio della frequenza: il rumore bianco e il rumore rosa.
 - (b) Il **rumore bianco** è costituito da uno spettrogramma sostanzialmente "piatto" con onde di tutte le frequenze e di intensità simili ad ogni frequenza. Un esempio di rumore bianco è il rumore che si sente quando una radio non è sintonizzata su nessuna stazione. È usato per scopi di misura e risulta efficace per mascherare altri suoni.
 - (c) Nel **rumore rosa** nel passaggio da un'ottava all'altra l'ampiezza decresce come l'inverso della frequenza. La decrescita è di 3dB per ottava. È usato in ambito musicale.
 - (d) Esistono ancora altre definizioni che definiscono il rumore ma essendo di minore importanza per l'argomento trattato non sono qui elencate.
3. I rumori sono classificabili anche in base alla **variazione di intensità in funzione del tempo**. I rumori si dicono:
 - (a) *stabili o stazionari* quando le variazioni di intensità non superano i 3 dB.
 - (b) *fluttuanti* quando le variazioni di intensità superano i 3 dB.
 - (c) *intermittenti* quando un rumore di durata superiore a 1 secondo cade bruscamente in più riprese durante il periodo di osservazione.
 - (d) *impulsivi* quando i rumori sono caratterizzati da brusche variazioni di forte intensità e con durata da pochi millisecondi fino ad 1 secondo.

Particolarmente pericoloso è quello **impulsivo** che spesse volte ha durata inferiore al tempo di attivazione del riflesso *stapediale* non potendo così svolgere la sua funzione protettiva.

La problematica delle valutazioni dei livelli di rumore è regolata da normative e apposite leggi emanate negli anni da organi nazionali e internazionali ed esula dal nostro discorso e per inciso rientra nelle branca dell'acustica relativa alle tecniche fonometriche. Per completezza diamo di seguito solo un cenno alle cose ai punti essenziali.

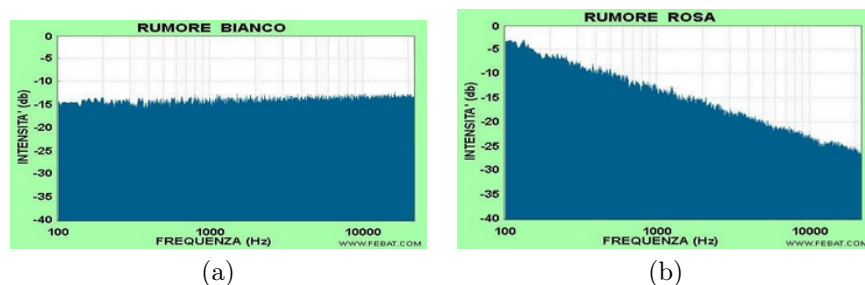


Figura 4: In (a) lo spettro di un rumore bianco, in (b) lo spettro di un rumore rosa

4 Il rumore acustico e la sua stima - *cenni di Psicoacustica*

Lo strumento usato normalmente per misurare l'intensità di un suono è il fonometro.

Il fonometro è composto essenzialmente da un microfono di precisione, da un amplificatore elettronico del segnale, da un nucleo di elaborazione del segnale, varie interfacce e uno strumento di lettura diretta, che **esprime i livelli misurati in decibel**. La gamma di misura di un fonometro di precisione è compresa di solito fra 24 dB e 140 dB per un intervallo di frequenza compreso tra 16 e 20.000 Hz. Esistono vari modelli con diverse prestazioni e costi da decine a migliaia di Euro (in figura 5 un fonometro).



Figura 5: Un fonometro

Come noto l'apparato uditivo umano è fortemente non lineare, specie per valori medio-bassi della pressione e alle basse frequenze del suono, come mostrato nelle curve isofoniche proposte da Fletcher e Munson negli anni '30, figura 6). Si osserva come un certo livello di sensazione sonora (loudness in phon) presa come riferimento a 1000Hz, richieda una eccitazione diversa per le altre frequenze del suono (pressione in pascal, o SPL in dB) . Le curve furono ricavate con misure e statistiche effettuate su molti soggetti normoudenti; in tempi più recenti sono state aggiornate, specie nei valori della curva di udibilità (curva MAF - Minimum Audible Field), anche aumentando il numero dei soggetti esaminati.

Nel caso ci interessi misurare i livelli SPL di disturbo sull'uomo, sono applicate apposite curve di ponderazione che tengono conto della differente sensibilità alle varie frequenze e dell'ambiente nel quale si trova un soggetto.

Nel caso ci interessi misurare livelli di rumore in ambiente abitativo e in un tipico ambito lavorativo viene utilizzata la curva A; in ambienti con rumori di disturbo più elevati sono necessarie curve diverse (B, C). La curva D è usata per la misura nell'ambito del rumore aeroportuale. Per la misura dei livelli di pressione emessi da una sorgente di rumore basta lasciare ovviamente il modo di misura lineare (vedi figura 7).

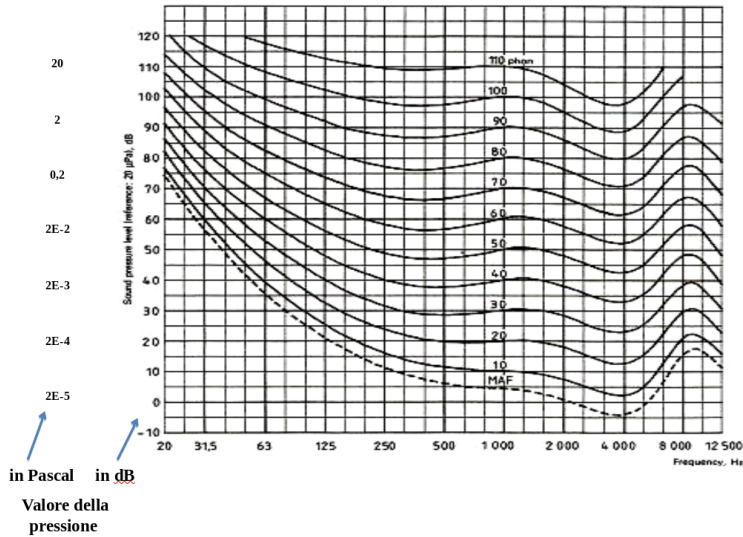


Figura 6: Curve isofoniche di Fletcher e Munson

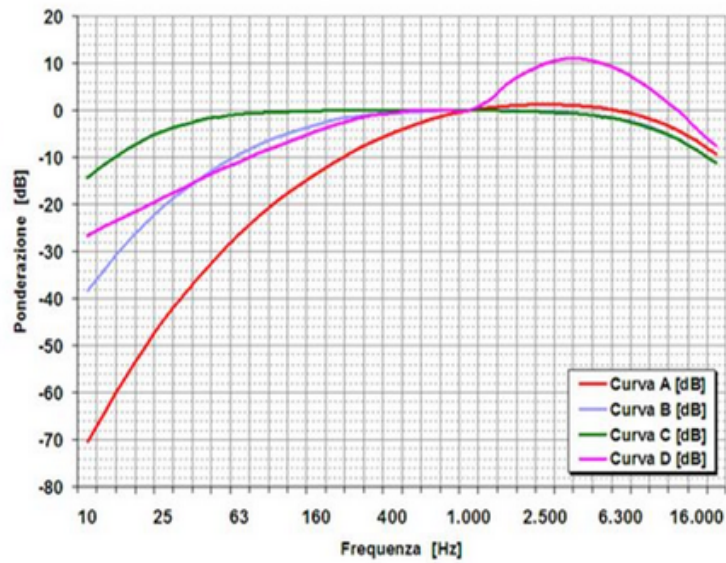


Figura 7: Curve di ponderazione

Come noto, al fine di valutare correttamente l'esposizione al rischio, è stato introdotto il livello equivalente continuo (L_{eq}), che rappresenta il livello di un ipotetico rumore costante, della stessa durata e energeticamente equivalente al rumore variabile misurato. Il L_{eq} è in pratica la media del fenomeno complessivo come espresso nella formula 1.

$$L_{eq} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{1}{T} \cdot \int \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \right) \quad (1)$$

Dove:

- T è il tempo di rilevazione
- $P_A(t)$ è la pressione sonora in $dB(A)$ in funzione del tempo
- P_0 è la pressione sonora di riferimento pari a $2 \cdot 10^{-5} Pa$

Nonostante esista una legislazione ponderosa, insorgono numerosi contenziosi sui problemi riguardanti le emissioni rumorose (infortuni sul lavoro, condomini, spettacoli, ecc).

Per completezza dell'argomento può essere utile visualizzare come sono situati i valori di frequenza e ampiezza dei suoni nei vari ambiti di utilizzo: parlato, musica, canale telefonico, ecc. Una stima approssimata delle differenze nei range di variabilità dei suddetti parametri nei vari campi di impiego sono evidenziate nella figura 8), inserite opportunamente nel diagramma delle curve isofoniche.

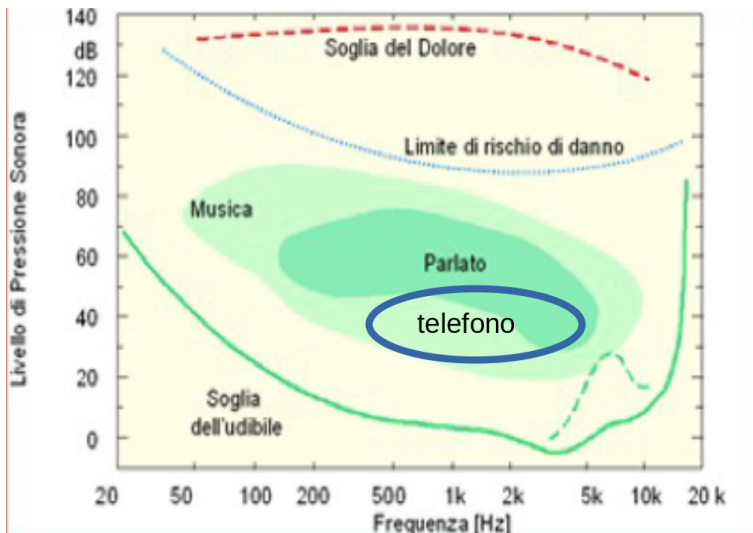


Figura 8: Sovrapposizione di suoni sulle curve isofoniche di Fletcher e Munson

5 La riduzione del rumore nelle protesi acustiche

L'efficacia degli algoritmi di soppressione del rumore dipendono ovviamente dalla sua effettiva distribuzione spettrale. Sappiamo che la banda del parlato è compresa all'incirca tra 200 Hz e 5000 Hz e una maggiore concentrazione di informazioni si ha approssimativamente nell'intervallo 1000 Hz – 3000 Hz. Gli algoritmi per la riduzione del rumore si basano su diverse strategie: sottrazione spettrale, cancellazione di fase, sottrazione spaziale, algoritmo MMSE, algoritmi basati su reti neurali e altri sono descritti di seguito.

5.1 Metodo di sottrazione spettrale

Metodo di **sottrazione spettrale** tiene di conto delle seguenti situazioni:

- se le componenti del disturbo sono **al di fuori della gamma** del parlato, la sua eliminazione è "facilitata" con l'uso di filtri digitali passa basso ad elevata pendenza (vedremo di seguito un esempio)
- se il rumore è all'interno del parlato ma ha **una banda ristretta** (quasi "tonale" o comunque più piccola di un'ottava) è possibile ancora filtrare questa parte di spettro, distorcendo un po' il segnale ma consentendo ancora un buon riconoscimento del messaggio verbale
- se la banda del rumore è **più estesa** in frequenza, deve essere accettato un compromesso dato che un semplice filtraggio pur moderato, rimuoverà anche parte di energia del parlato (caso del brusio nei locali pubblici, del traffico ecc)

Per quest'ultimo caso sono attualmente in sviluppo tecniche innovative (a oggi non rilasciate sugli apparecchi commerciali). In figura 9 un esempio di risposta in frequenza: a sinistra in figura 9 (a) lo spettro dei suoni registrati da un microfono e in figura 9 (b) lo spettro dei suoni dopo l'elaborazione di una protesi con controllo del rumore.

Una variante del metodo della **sottrazione spettrale** è stata sviluppata per ridurre il rumore additivo da un segnale vocale (Short Time Spectral Subtraction): in questo caso si parla di "Short Time" perché il filtraggio va eseguito su blocchi prelevati dalla sequenza dei campioni del segnale digitalizzato.

Il "cuore" dell'algoritmo (comune a tutte le implementazioni) *effettua una stima della potenza spettrale del rumore e applica una regola di sottrazione*, ciò si traduce nello stimare una relazione tra i valori di SNR in ciascuna porzione

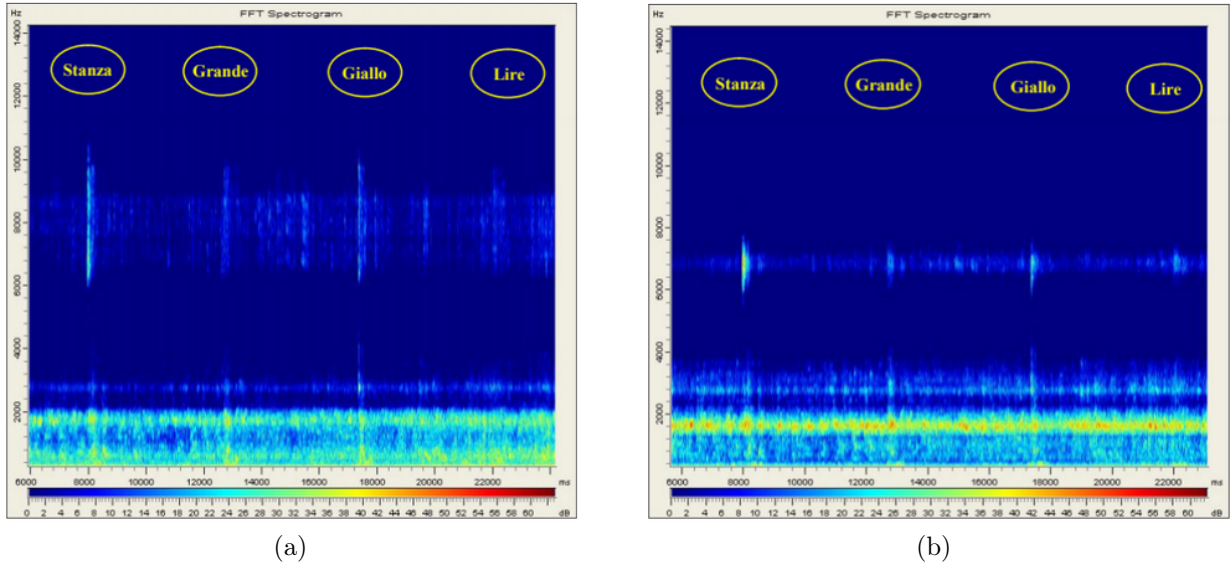


Figura 9: Analisi tempo-spettrale delle parole stanza, grande, giallo, e lire registrata in (a) da un microfono non filtrato e in (b) da una protesi con controllo de rumore [9]

di banda considerata ed un fattore di peso spettrale, in modo tale che le "sotto bande" che presentano bassi valori di SNR subiscano il "processing", lasciando invece inalterate le restanti. Il pregio della tecnica di sottrazione spettrale risiede quindi nella sua semplicità e nel fatto che tutto ciò che si richiede è una stima di valor medio, senza necessità di particolari assunzioni sul segnale. Le equazioni 2, 3 e la figura 10 aiutano a comprendere il funzionamento del metodo.

$$|S^*(f)|^2 = |Y(f)|^2 - E[|N(f)|^2] \approx |Y(f)|^2 - |N(f)|^2 \quad (2)$$

$$S^*(f) = |S^*(f)| \cdot \arg(Y(f)) \quad (3)$$

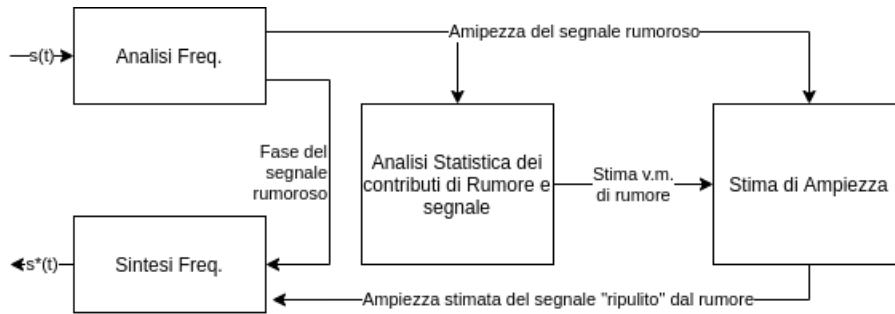


Figura 10: Diagramma a blocchi dell'algorithmo di sottrazione spettrale del rumore

5.2 Metodo di cancellazione di fase

Il metodo della **cancellazione di fase** è basato su un approccio più sofisticato che si avvale del fatto che se due onde acustiche sono in contro fase (ovvero le due onde hanno lo stesso andamento ma sono sfasate di 180 gradi ovvero hanno ogni istante lo stesso modulo ma segno opposto) il suono si annulla. I sistemi elettroacustici, sfruttando tale sistema, agiscono attivamente sull'ambiente modificandolo: con opportuni altoparlanti annullano il rumore (cercando di generare un segnale in contro fase). Questo sistema prende il nome di cancellazione attiva del rumore (ANC - active noise control).

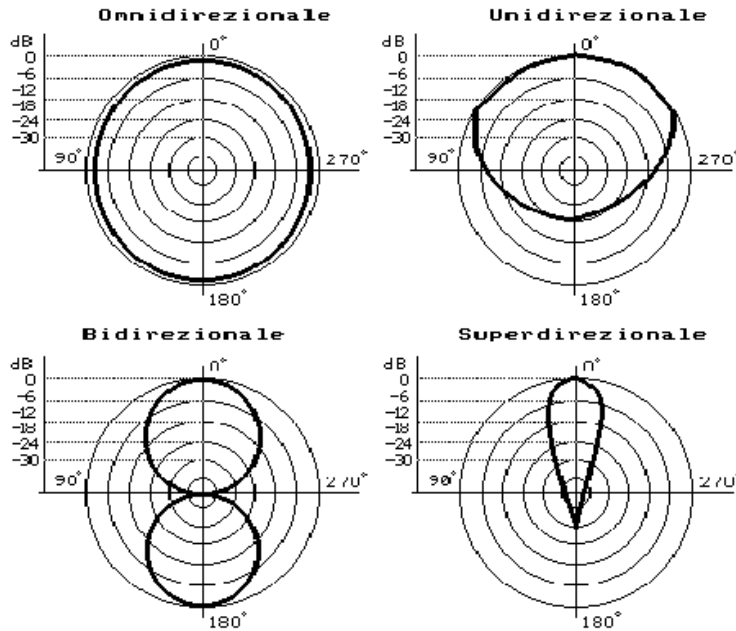


Figura 11: Esempi di diagrammi di direzionalità [9]

5.3 Metodo della sottrazione spaziale

Il metodo della **sottrazione spaziale** richiede l'uso di più microfoni (detto array di microfoni). L'uso di più microfoni consente l'aumento della direzionalità privilegiando il segnale del parlatore; dato che il rumore raggiunge allo stesso modo i vari microfoni viene misurato e ridotto tramite operazioni (matematiche) matriciali. Altri metodi per la soppressione del rumore sfruttano tecniche di riconoscimento vocale che in genere effettuano una operazione di predizione lineare del "parlato" con l'impiego di algoritmi basati su reti neurali e machine learning (ne diamo un cenno nel seguito); Ci sono poi altri casi come per es. la riduzione del rumore del vento ecc che i costruttori di protesi affrontano con altre particolari strategie.

Alcune tecniche di soppressione del rumore sfruttano la proprietà della direzionalità dei microfoni cioè la capacità di captare più o meno bene i segnali in base alla direzione di provenienza del suono. La figura 11 mostra alcune diagrammi di direzionalità. Alcune strategie sono basate sull'uso di due o più microfoni distanziati.

Un Processore Digitale del Segnale (DSP), dotato di opportuni programmi, variando il ritardo interno tra i microfoni posteriore ed anteriore, può far variare il diagramma polare adattivamente da cardioide a supercardioide a bidirezionale, ricercando la migliore configurazione massimizzando una più efficace riduzione del rumore. Infatti per una analisi corretta di diverse configurazioni spaziali della sorgente del rumore rispetto alla sorgente del segnale "buono" sono necessarie risposte diverse dei microfoni (descritte dai suddetti diagrammi).

5.4 Algoritmo MMSE

Un algoritmo di soppressione del rumore tipo **MMSE** (minimum mean squared error), che prende in esame il minimo valore quadratico medio, sfrutta le proprietà statistiche dello spettro dei segnali in esame, permettendo di ottenere un set di pesi che minimizzano l'errore quadratico medio tra il segnale che si desidera ricevere e una sua stima. Tali coefficienti di peso risulteranno in stretta relazione con la potenza del segnale desiderato e la matrice di covarianza contenente il contributo del singolo segnale e del rumore. Per quanto concerne le architetture del sistema di controllo, nasce l'esigenza di utilizzare due sensori microfonici, allo scopo di migliorarne l'efficacia. In figura 12 lo schema a blocchi che realizza l'algoritmo MMSE.

5.5 Tecniche basate su reti neurali

Altri metodi per la riduzione del rumore si affidano completamente alle tecnologie legate all'intelligenza artificiale: le reti neurali. In estrema sintesi i sistemi di intelligenza artificiale descrivono la capacità di imparare ed eseguire compiti da parte della macchina sulla base di algoritmi che a loro volta imparano dai dati in modo iterativo. Le principali tipologie sono:

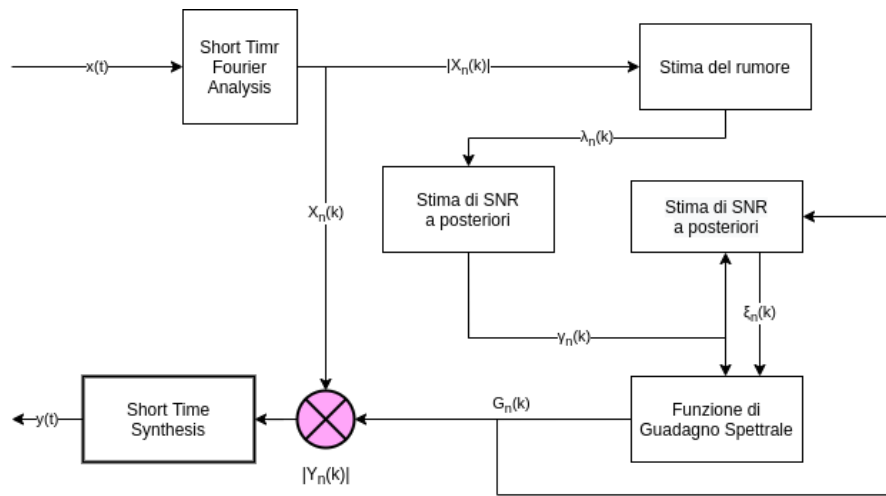


Figura 12: Schema a blocchi che realizza l'algoritmo MMSE

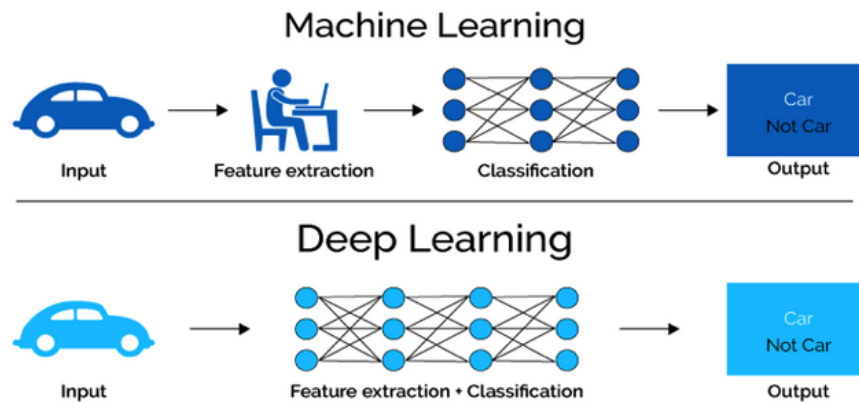


Figura 13: AI: machine learning e deep learning

- il **machine learning supervisionato** dove l'algoritmo apprende da un set di dati già etichettato e con un output predefinito
- il **machine learning non supervisionato** dove il sistema deve essere in grado di calcolare una regola per raggruppare i casi che si presentano derivando le caratteristiche dai dati stessi
- l'**apprendimento per rinforzo** dove le macchine che vengono istruite, si trovano ad avere un'interazione con un ambiente nel quale le caratteristiche sono variabili

La figura 13 evidenzia ulteriori caratteristiche delle reti neurali: il machine learning che richiede l'intervento dell'uomo, e il deep learning.

5.6 Altri metodi

Riportiamo altri criteri tratti dalla tesi [6]. Alcuni algoritmi prendono in esame l'involuppo del segnale e ne analizzano le variazioni dinamiche in ampiezza: più la dinamica è elevata, più si può pensare che sia da mettere in relazione a un segnale vocale; più la dinamica è ristretta, e più si può pensare che sia in relazione a un segnale di rumore, specie nei casi di rumore stazionario di non elevata intensità.

Nei casi in cui il rumore sia distribuito prevalentemente sui gravi o sugli acuti, l'attenuazione del guadagno nei canali relativi può sicuramente migliorare la banda delle frequenze del parlato.

Un'altra strategia per migliorare il riconoscimento del parlato è basata sul fatto che l'apparecchio analizza il segnale in continuazione per finestre temporali di diverse durate: ogni 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500... ms. L'apparecchio analizza la presenza di segnale in finestre temporali che abbiano la durata prima elencata: se trova un segnale (per esempio) nella finestra temporale da 2 millisecondi e non lo ritrova più nella finestra sempre di 2 millisecondi successiva, evidente si tratta di rumore che deve essere compresso; se trova un segnale nella finestra di 50 millisecondi, poi non trova più nulla per 10 millisecondi e ritrova ancora un segnale nella finestra da 50 subito dopo, è molto probabile che quel segnale sia parlato e che quindi meriti di essere amplificato. L'inconveniente di quest'ultimo metodo in particolare, ma limitante anche per altri algoritmi di riduzione del rumore, è la richiesta di tempi anche decine di millisecondi per ripulire il segnale utile dal disturbo e applicarlo al ricevitore. Ciò influisce negativamente sul buon funzionamento delle protesi, provocano una latenza tra l'arrivo del suono al timpano del paziente e il movimento del parlatore. Per ridurre tale ritardo è necessario limitare la durata e la complessità dell'elaborazione con un conseguente risultato non ottimale.

6 Esempi di metodi di riduzione del rumore

Un problema tipo dell'uso delle protesi è l'intelligibilità del parlato in *presenza del vento*. Intelligibilità del parlato in ambiente ventoso

Un sondaggio ha indicato un tasso di insoddisfazione del 42% tra gli utenti di apparecchi acustici per le prestazioni dei loro dispositivi acustici in ambienti ventosi poiché il flusso d'aria intorno ad un apparecchio acustico può portare a turbolenze negli ingressi al del microfono che si traducono in un segnale acustico, nella fattispecie rumore. Tale problematica è causata anche dal vento prodotto intorno alle orecchie di chi va in bicicletta oppure corre. Alcuni accorgimenti possono ridurre il fenomeno:

- con modifiche meccaniche; a esempio con l'aggiunta di una copertura sopra il microfono per diffondere il flusso del vento oppure applicando della schiuma sopra il microfono per ridurre la velocità del vento
- con tecniche di elaborazione digitale del segnale per determinare se il rumore del vento è presente e per ridurre il rumore del vento quando viene rilevato (la riduzione del rumore del vento è spesso basata su una semplice attenuazione del segnale alle basse frequenze).

In uno studio svolto dall'università di Cambridge sono stati valutati i potenziali vantaggi dell'utilizzo di Machine Learning per ridurre il rumore del vento. Il sistema intelligente è stato addestrato utilizzando le registrazioni dell'uscita dei due microfoni di un apparecchio acustico retro-auricolare in risposta al parlato maschile e femminile in presenza di rumore prodotto dal vento con una velocità di 3 m/s, utilizzando il parlato "pulito" come riferimento. Nel complesso, i risultati suggeriscono che la riduzione del rumore del vento utilizzando Machine Learning è possibile e potrebbe avere effetti benefici quando utilizzato in apparecchi acustici.

Un'altra applicazione che portiamo come esempio è la riduzione del rumore in *caso di allarmi*. Come anticipato all'inizio, esistono una molteplicità di situazioni in cui il rumore potrebbe essere di interesse analogo, se non addirittura superiore, rispetto alla conversazione tra persone, come i segnali di avviso sonori, associati a determinati avvenimenti, o di pericolo. Il rischio, insito nell'uso di algoritmi di gestione del rumore tradizionali, è quello che tali stimoli sonori siano processati in maniera analoga agli stimoli rumorosi dannosi, e siano di conseguenza soggetti a minore amplificazione.

In passato, è stato suggerito l'utilizzo di dispositivi elettronici specifici, in grado di fornire stimoli visivi o vibratori in presenza di stimoli sonori di interesse; tuttavia, l'implementazione di tali sistemi si è rivelata costosa, anche in considerazione della necessità dell'utilizzo di dispositivi differenti associati a differenti stimoli, arginandone dunque l'utilizzo e l'adozione su vasta scala.

Una delle sfide attuali della tecnologia è quella di consentire alle protesi sia la migliore comprensione del linguaggio, ma anche la ricognizione degli allarmi sonori: ciò permetterebbe di aumentare notevolmente lo stato di sicurezza delle persone affette da sordità.

Per ciò che concerne l'individuazione di stimoli sonori non verbali di interesse può essere utilizzata una architettura DBN (Deep Belief Network, un insieme di algoritmi e una rete neurale feed-forward), in grado di agevolare la percezione di specifici stimoli che sfrutta un iniziale sistema di training dell'algoritmo ed un successivo rinforzo.

Nella fase di training, il sistema sarà sottoposto all'ascolto di una serie di coppie di segnali sonori, uno in condizioni di quiete, ed uno in condizioni di rumore; lo scopo di questa fase è di garantire al sistema di poter riconoscere le caratteristiche principali del suono di interesse analizzandone la Trasformata di Fourier.

Le caratteristiche di interesse del suono, in seguito, sono fatte passare all'interno della rete neurale feed forward, ove sarà effettuato un apprendimento supervisionato della funzione di identificazione del suono.

7 Conclusioni

Nonostante notevolissimi progressi, rimangono molte sfide tecniche e margini di miglioramento per gli apparecchi acustici: una su tutte quella oggetto del seminario, cioè il miglioramento della comprensione del parlato in ambienti rumorosi e riverberanti.

In più i pazienti ipoacusici possono differire notevolmente nelle loro esigenze percettive, e quindi la necessità di un'efficace personalizzazione delle impostazioni degli apparecchi acustici. Idealmente, le impostazioni degli apparecchi acustici dovrebbero cambiare nel tempo, a seconda dell'ambiente e delle intenzioni dell'ascoltatore.

L'intelligenza artificiale offre grandi promesse nell'affrontare queste sfide ed in particolare, il campo dell'apprendimento automatico consente già oggi lo sviluppo di sistemi che si adattano alle varie situazioni di ascolto (LIVIO AI, EVOKE, ecc, un es. di un sistema in commercio in appendice).

Alcuni prodotti consentono un netto miglioramento di ascolto in presenza di brusio e i rumori di fondo, semplificando significativamente lo sforzo durante l'ascolto e offrendo una migliore chiarezza del parlato.

Altra caratteristica è quella di essere dotati di Bluetooth per connettersi facilmente ai dispositivi digitali del tipo smartphone per ascoltare telefonate, musica e messaggi direttamente tramite l'apparecchio acustico.

Riferimenti bibliografici

- [1] Bertini G., Leodori L., Marani M., Mazzacca V. – Valutazione delle prestazioni del sistema digitale OAK-DSP Lab per l'impiego in stazioni audiometriche. Nota interna IEI-CNR, B4-45, nov. 1994
- [2] Bertini G., Fiorio G., Marani M. - Limits of hearing aids in the high frequency range In 17th International Congress on Acoustic - ICA (Roma, 2-7 September 2001). Proceedings vol. 25 - Special Issue n. 1-3 Rivista Italiana di Acustica, 2001.
- [3] Bertini G., Magrini M., Paolini F. - A portable DSP-based device improves music quality for hearing-impaired subjects Selected and extended paper of DSP Application Day 2009 e-Conference & webinar, M. Malcangi (ed) pp 7- 21, CLUP Milano 2009.
- [4] Bertini G. – Slide modulo di “Metodi di elaborazione del segnale sonoro” 2° anno del corso di Tecniche Audioprotesiche, 2019-20 , UNIPI.
- [5] Gabriele Delosa –Protesi digitali e sistemi per la riduzione del rumore ambientale Univ Federico II° Napoli aa 2005-06.
- [6] Endra Hala - Principali motivi di insoddisfazione protesica, rel. Stefano Sellari Franceschini, Corso di laurea in Tecniche Audioprotesiche, 2016-17, UNIPI.
- [7] Elisabetta Benedetti - Intelligenza artificiale nel mondo audioprotesico, rel. Marco Paterni, Corso di laurea in Tecniche Audioprotesiche, 2018- 19, UNIPI
- [8] Alex Dinelli - Apparecchi acustici e processazione dei segnali non verbali, rel. Marco Paterni Corso di laurea in Tecniche Audioprotesiche, 2019-20, UNIPI
- [9] Gabriele Delosa - Protesi digitali e sistemi per la riduzione del rumore ambientale - Tesi di Laurea - Università Federico II° Napoli aa 2005-06

Appendice: un esempio

Riportiamo in figura 14 un esempio di schermata comprendente un elenco di possibilità offerte da un tipo di protesi in commercio.

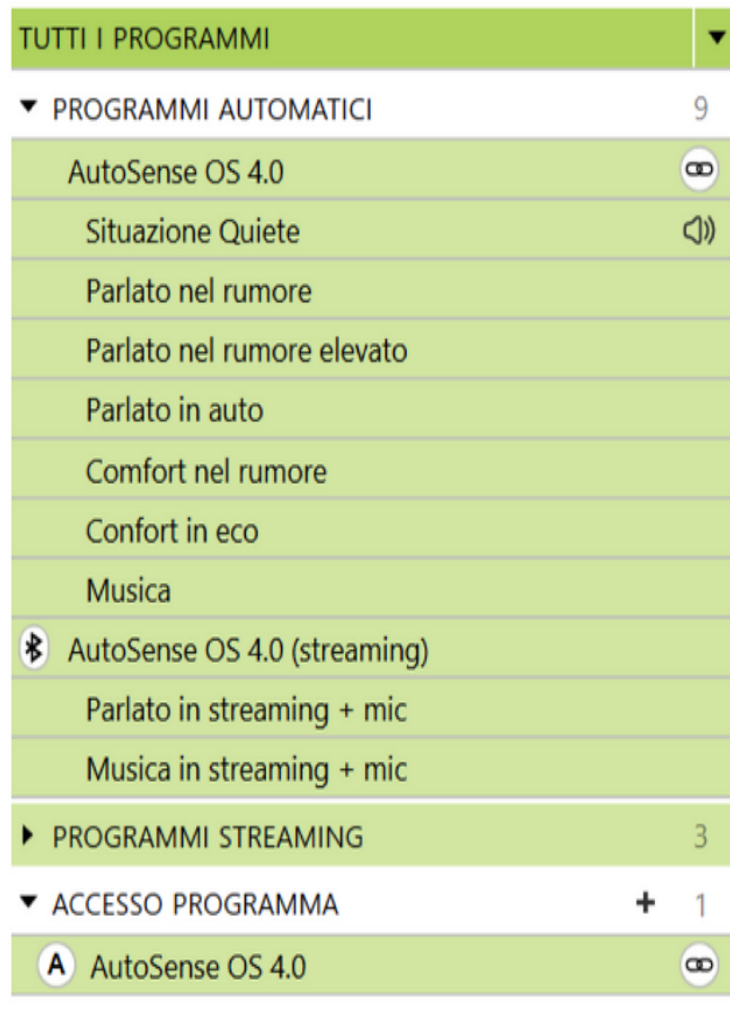


Figura 14: Esempio di possibilità offerte da una protesi