



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

Università degli Studi di Padova

Dipartimento di Neuroscienze – DNS  
Corso di Laurea Tecniche Audioprotesiche  
Presidente Prof. Gino Marioni

SETUP STRUMENTALE PER LA GENERAZIONE  
DI DIVERSI TIPI DI SEGNALI ACUSTICI PER  
APPLICAZIONI AUDIOMETRICHE,  
UNITAMENTE ALLA DETERMINAZIONE DELLA  
SOGLIA PERCETTIVA ASSOCIATA A CIASCUN  
SUONO PRODOTTO.

Relatore:

Ing. Antonio Franco Selmo

Correlatore: Ing. Flavia Gheller

Laureando/a:

Giulio D'Aprile

ANNO ACCADEMICO 2022/23



## **Indice**

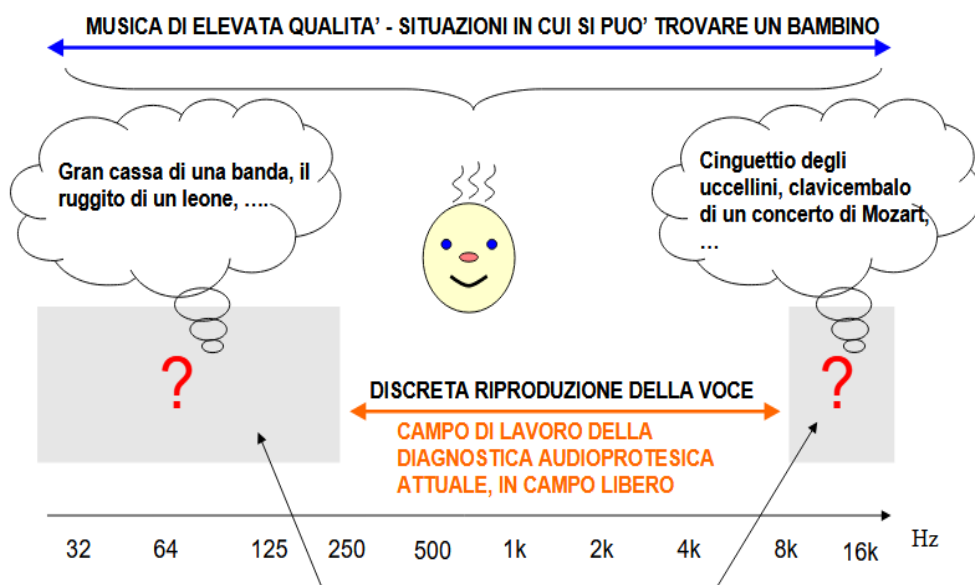
<b>1) Premesse</b>	<b>pag 4</b>
<b>2) Stato attuale dell'arte</b>	<b>pag 8</b>
<b>3) Materiali</b>	<b>pag 14</b>
<b>4) Metodi</b>	<b>pag 38</b>
<b>5) Setup: approfondimenti</b>	<b>pag 50</b>
<b>6) Test su soggetti</b>	<b>pag 53</b>
<b>7) Conclusioni</b>	<b>pag 59</b>
<b>8) Sviluppi nell'immediato futuro</b>	<b>pag 60</b>
<b>9) Bibliografia</b>	<b>pag 60</b>

## 1) Premesse

Il presente lavoro è uno dei tanti passi realizzati per migliorare la valutazione audiometrica nei soggetti molto giovani, come bambini in età prescolare.

Utilizzando le attuali metodiche che sfruttano i toni puri, è molto difficile ottenere una effettiva collaborazione da parte di un bambino di giovane età (qualche anno), anche se associata a giochi o simili che, però, possono alterare la risposta del bambino che, più che attento ai suoni, si può trasformare in una sorta di “opportunist” che, pur di vedere attivarsi il gioco, fornisce delle risposte spesso non del tutto veritiere.

Una limitata partecipazione dei bambini ai test audiometrici, limitata soprattutto come tempo, durante il quale vi è una attiva partecipazione al test comporta una scarsa qualità del test stesso. Tale limitata qualità può essere intesa come due conseguenze: una poco precisa determinazione della soglia al variare della frequenza, e una limitata estensione frequenziale del test stesso. Ciò è causato da un tempo effettivo di attenzione limitato.

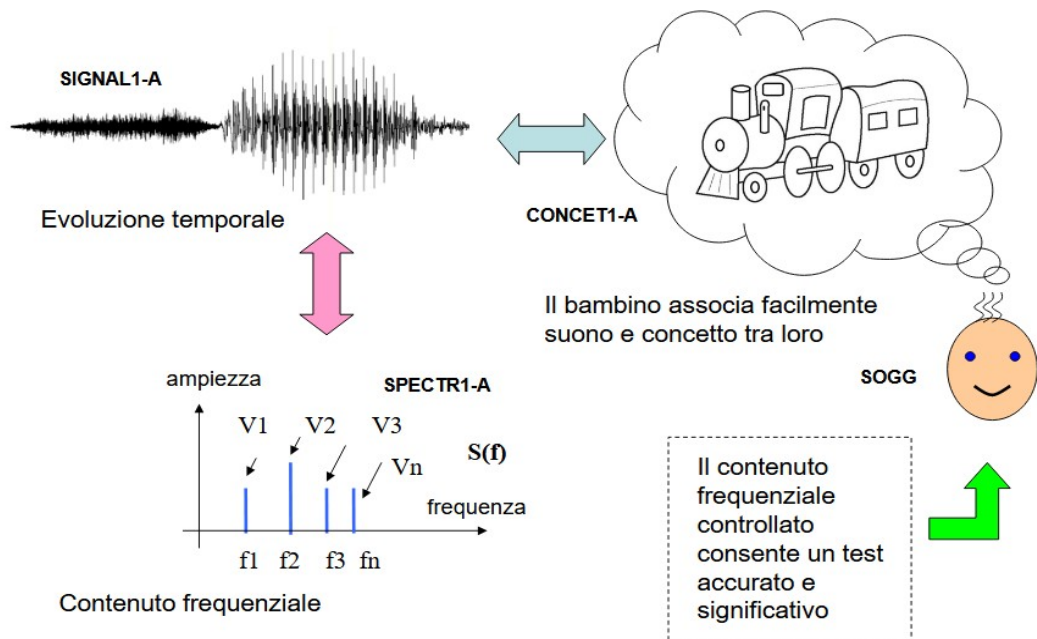


**Zone frequenziali potenzialmente attive nel bambino, ma NON adeguatamente testate con le attuali metodologie diagnostiche, in campo libero.**

*Img 1*

Le zone frequenziali indicate in grigio, pur non testate normalmente fanno parte del mondo sonoro di un bambino. È giusto non testarle? D'altra parte con le metodiche attuali risulta impossibile effettuare una diagnostica significativa in tali zone.

Per superare la problematica legata allo scarso interesse di un bambino nei confronti dei toni puri, con la conseguenza di una limitata qualità diagnostica, alcuni anni or sono è stato messa a punto una nuova metodica per la diagnostica uditiva infantile, (di cui è allegata l'accettazione del brevetto) che utilizza dei suoni che hanno delle particolari caratteristiche: nei confronti del bambino costituiscono delle informazioni sonore legate al loro mondo, in quanto associabili a giochi, situazioni o concetti propri del mondo infantile. Nei confronti della misurazione, si tratta di segnali, ottenuti col metodo di sintesi, che hanno delle caratteristiche acustiche ben determinate, come ad esempio un contenuto spettrale ben delimitato, una intensità perfettamente controllata e una possibile escursione frequenziale che copre il range da 64 Hz a 16 kHz.



Img 2

Tale nuova metodica è già stata testata e avvalorata dal punto di vista di partecipazione dei bambini, che hanno mostrato in tutti i test effettuati, una attiva partecipazione per un tempo di 15 – 18 minuti, che consente di realizzare un test audiometrico sicuramente significativo. Inoltre, pur essendo i primi test effettuati senza una effettiva calibrazione del sistema, la metodica ha consentito di individuare alcuni bambini con effettivi problemi uditivi, in precedenza confermati dalle attuali metodiche.

Loredana Guglielmetti Firmato da: uibm-  
brevetti  
Roma, 11 maggio



*Ministero dello Sviluppo Economico*

Direzione generale per la tutela della proprietà industriale

Ufficio Italiano Brevetti e Marchi

### ATTESTATO DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE

Il presente brevetto viene concesso per l'invenzione oggetto della domanda:

N. 102018000004636

TITOLARE/I: • SELMO ANTONIO FRANCO

DOMICILIO: SELMO ANTONIO FRANCO  
VIA CAVOUR 1  
37047 San Bonifacio

INVENTORE/I: • SELMO ANTONIO FRANCO

TITOLO: GENERAZIONE DI SEGNALI AUDIO COMPOSITI, OTTENUTI CON METODI DI SINTESI,  
CON SPETTRO E DURATA RIGOROSAMENTE LIMITATI, SPECIFICI PER MISURAZIONI IN  
AUDIOLOGIA PEDIATRICA, PER ADULTI O PER TESTARE APPARATI  
ELETTRACUSTICI. I SEGNALI GENERATI SONO ASSOCIABILI A SEMPLICI OGGETTI,  
IMMAGINI O CONCETTI UNIVOCAMENTE DETERMINABILI.

CLASSIFICA: G10K

DATA DEPOSITO: 18/04/2018

Roma, 11/05/2020

Il Dirigente della Divisione

*Loredana Guglielmetti*

*Img3*

Ma una nuova metodica deve poter essere confrontata con metodiche preesistenti che, se anche più limitative come risultati, risultano omologate a seguito di un percorso di test completo, sviluppato su un numero significativo di soggetti.

***In pratica, il presente lavoro imposta le basi per confrontare i segnali di test attualmente utilizzati (toni puri, toni vobulati, rumore filtrato in banda stretta, click) con i segnali di sintesi della nuova metodica.***

Si tratta di una comparazione che associa una metodica rigorosa di tipo misuristico strumentale, con una comparazione di tipo soggettivo effettuata da soggetti a cui vengono proposti i diversi suoni. In pratica si ricerca la soglia percettiva, dichiarata da ciascun soggetto, corrispondente ai diversi tipi di suono, per ottenere quello che si può definire una sorta di “livello equivalente” tra i suoni attualmente in uso e quelli innovativi, di sintesi.

La prima parte del lavoro, ampiamente trattata nel presente studio, è costituita dalla impostazione e realizzazione di un setup strumentale che consenta di ottenere dei suoni perfettamente controllati, da somministrare ai vari soggetti che partecipano al lavoro.

La seconda parte del lavoro, sviluppata solo come test preliminari nel presente studio e ampliata in una fase successiva, consiste nel effettuare alcuni test soggettivi per verificare l'effettiva possibilità di determinare la soglia percettiva.

## **2) Stato attuale dell'arte**

Attualmente l'indagine audiologica infantile è composta da una parte oggettiva e una soggettiva.

La prima è composta dai test elettrofisiologici: le otoemissioni acustiche, l'ABR e l'ASSR (potenziali evocati stazionari), che hanno la finalità di esprimere la funzionalità delle vie centrali uditive.

La seconda comprende dei test audiometrici che indagano la soglia percettiva e in concomitanza le capacità attentive, motorie e visive del piccolo paziente.

I test utilizzati sono diversi, da sottoporre in base alle diverse fasce di età e allo sviluppo del bambino.

Dato che la nuova metodica associata ai suoni di sintesi è indirizzata a bambini dall'età dell'infanzia alla scuola primaria, si citano i metodi utilizzati in questa fascia di età (2-6 anni).

Per questa fascia di età si utilizzano la Play Audiometry e il Peep Show.

La prima prevede la partecipazione attiva del bambino ed il condizionamento viene stabilito mediante imitazione. In questo test il bambino viene condizionato ad aspettare uno stimolo e a rispondere con un'attività di gioco per esempio sovrapporre cubi, lanciare delle palline nel cesto, inserire figure ad incastro, dar da mangiare ad un giocattolo.

Mentre la metodica Peep Show, descritta da Dix e Hallpike nel 1947, è effettuabile dai 3 ai 6 anni in campo libero, in seguito adattata in cuffia.

La prova prevede che il piccolo paziente schiacci un pulsante dopo aver sentito il suono e successivamente a questa azione si accenderà la televisione o si muoverà un giocattolo rinforzando il condizionamento.

La finalità del rinforzo, costituito ad esempio da un giocattolo luminoso che si accende quando il bambino ruota il capo nella direzione di provenienza del suono, è contrastare il fenomeno di abitudine che si instaura invariabilmente dopo poche risposte. Tuttavia, anche con questi accorgimenti per raccogliere



dati sufficientemente affidabili, è necessario suddividere il test in numerose sessioni, spaziate in intervalli almeno giornalieri.

Per l'esecuzione del test vengono utilizzati diversi tipi di segnale.

I toni puri e quelli vobulati usati nelle metodiche appena descritte, nonostante siano di semplice realizzazione ed hanno una estrema accuratezza ottenibile sia come intensità che come frequenza del test, siano ripetibili, e abbiano una notevole dinamica; sono privi però di qualsiasi associazione logica tra suono e oggetto, e limitano la partecipazione attiva del bambino a causa di una monotonia del test.

Per quanto riguarda i suoni vocali, utilizzati come metodica al contorno, prodotti da un individuo umano usati come segnali di test, vi sono alcune questioni da considerare: sono molto semplici da ottenere e che non è richiesta alcuna apparecchiatura. Naturalmente vi sono delle criticità di questa metodica, ovvero la scarsa ripetitività, lo spettro frequenziale e l'intensità non controllate, le componenti formanti non scendono al di sotto di 125 Hz o al di sopra degli 8-10 kHz.

I segnali di sintesi sono assolutamente ripetitivi come i toni puri, dinamicamente precisi e con uno spettro controllato distribuito su un range frequenziale limitato a piacere, con la possibilità di allocarlo con componenti frequenziali anche al di fuori lo spettro del parlato. In più i suoni sintetizzati escludono la poca affidabilità di un suono parlato pronunciato da un operatore.

Mediante un'opportuna modulazione di ampiezza delle componenti che formano i segnali di sintesi è possibile un segnale con delle caratteristiche che lo rendono simile ad un oggetto, immagine o concetto reale.

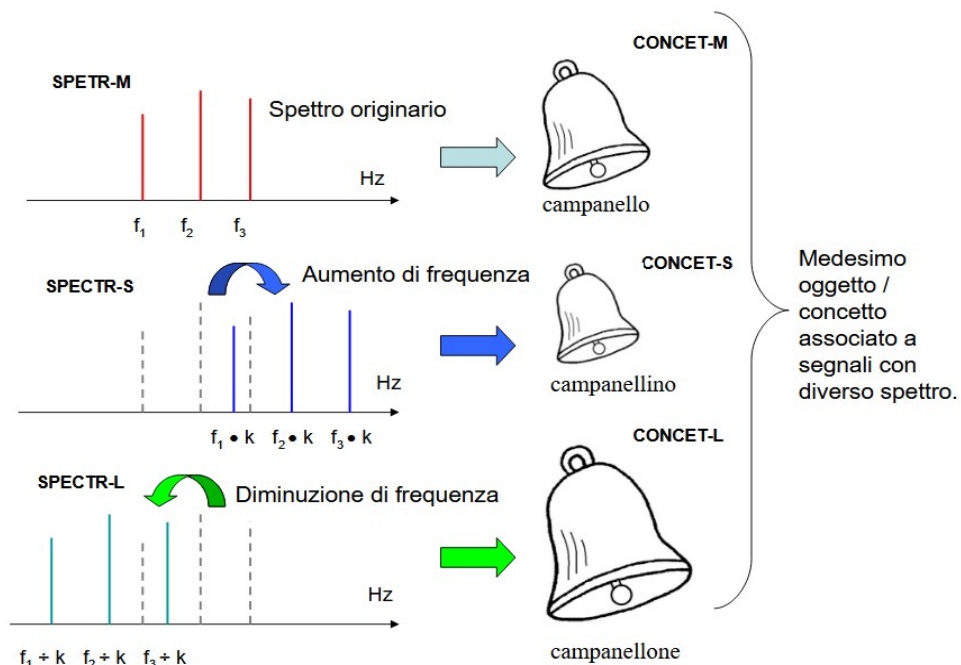
La tecnica di sintesi permette di far sì che la durata di ogni segnale prodotto risulti assolutamente controllabile e dal valore determinato con estrema accuratezza. Ciò rende tali segnali particolarmente adatti ad effettuare dei test di percezione e comprensione del messaggio acustico da parte del

bambino. Un test di tale tipo costituisce un ulteriore passo in avanti rispetto al semplice test frequenziale.

Potendo impostare l'inviluppo temporale in modo assolutamente arbitrario, vi è la possibilità di svincolarsi da un tipo di suono legato ad un oggetto / concetto adatto ad un bambino per passare ad un suono "più tecnico" adatto ad effettuare test sia su soggetti umani sia su dispositivi elettroacustici, verificandone il comportamento nei confronti di segnali transitori.

Pur trattandosi di suoni sintetizzati, le loro caratteristiche sonore sono tali da poter essere immediatamente associabili, anche da parte di un bambino in età prescolare, a oggetti / concetti ben noti al bambino stesso. Ciò è dovuto al fatto che i suoni generati possono assomigliare in modo assai evidente a suoni reali. Con un'accurata scelta dei suoni di sintesi e la corrispondente associazione con un oggetto / concetto, l'individuazione del significato del suono da parte del bambino, risulta spesso immediata e non necessita nemmeno di un addestramento preliminare.

Si possono testare i parametri uditivi del bambino in diversi campi frequenziali.



Img 4

<p>COMPONENTI SINUSOIDALI</p> <p>F1 = 4000 Hz                      AMPIEZZA = 100%  F2 = F1 * 1.26 = 5040 Hz      AMPIEZZA = 100%  F3 = F1 * 1.58 = 6320 Hz      AMPIEZZA = 100%  F4 = 2 * F1 = 8000 Hz          AMPIEZZA = 100%</p> <p>EQUIVALENTE AD UN ACCORDO "MAGGIORE"</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA</p> <p>Tr = 5 ms ; Ts = 25 ms ; Tf = 150 ms ;  MODULAZIONE AM = 100%  PERIODO DI RIPETIZIONE = 200 ms  PER UN TOTALE DI 5 COLPI (1s)</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>ASSENTI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto un campanellino di bronzo o simile, dal suono gradevole in quanto corrispondente ad un accordo tonalità maggiore; la frequenza di ripetizione scelta può esser variata a piacere in modo da passare da un suono quasi continuo a dei ding nettamente distinti a seconda delle esigenze diagnostiche.</p>

### Img 5

La tabella sopra riportata mostra i parametri corrispondenti alla generazione di un possibile suono di un campanello (diverso dall'esempio riportato successivamente) dove ci sono 5 colpi di campanello con le formanti distribuite tra i 4 e 8 kHz con i parametri dell'inviluppo dell'ampiezza.

Sostanzialmente in questa tabella sono indicate le "istruzioni" per la generazione di questo suono di sintesi.

La tabella successiva indica la modalità costruttiva di una musicchetta con una escursione frequenziale tra 523 Hz e 1046 Hz.



Motivetto composto da Angelica e Chiara

COMPONENTI SINUSOIDALI  
(PRESENTI UNA ALLA VOLTA)

FREQUENZA dal DO (523 Hz) al DO (1046 Hz)  
mediante trasposizione è possibile occupare sempre una  
ottava ma posizionata in un range frequenziale arbitrario

TUTTE DELLA MEDESIMA AMPIEZZA

MODULAZIONE AM = 100%  
Tr = 10 ms ; Tf = 50 ms ;

NUMERO NOTE = 21

DURATA COMPLESSIVA 3 s

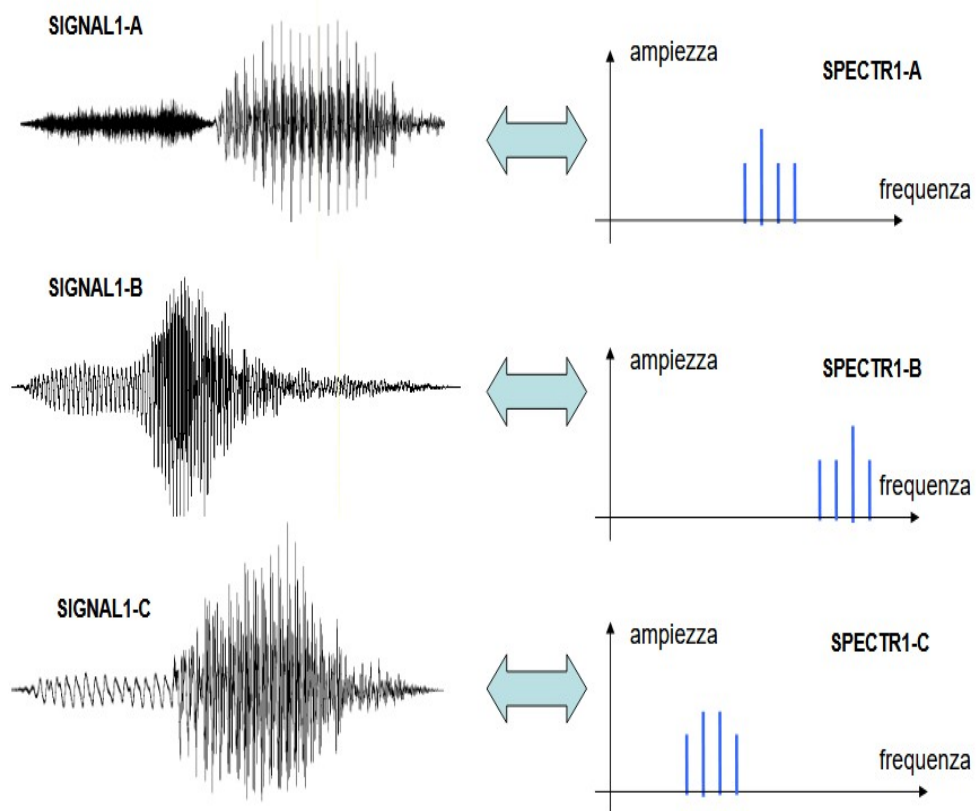
NORMALIZZARE IL LIVELLO A -1 dB

RUMORE ASSENTE

Nota: segnale generato anche per far  
divertire i bambini oltre che per  
questioni squisitamente misuristiche; lo  
spettro frequenziale evolve nel tempo e  
per ogni nota, nella corrispondente  
rappresentazione frequenziale, vi è una  
riga corrispondente alla frequenza della  
nota. Le note prodotte, corrispondenti  
ad un segnale sinusoidale, sono  
distribuite esattamente su una ottava.

### Img 6

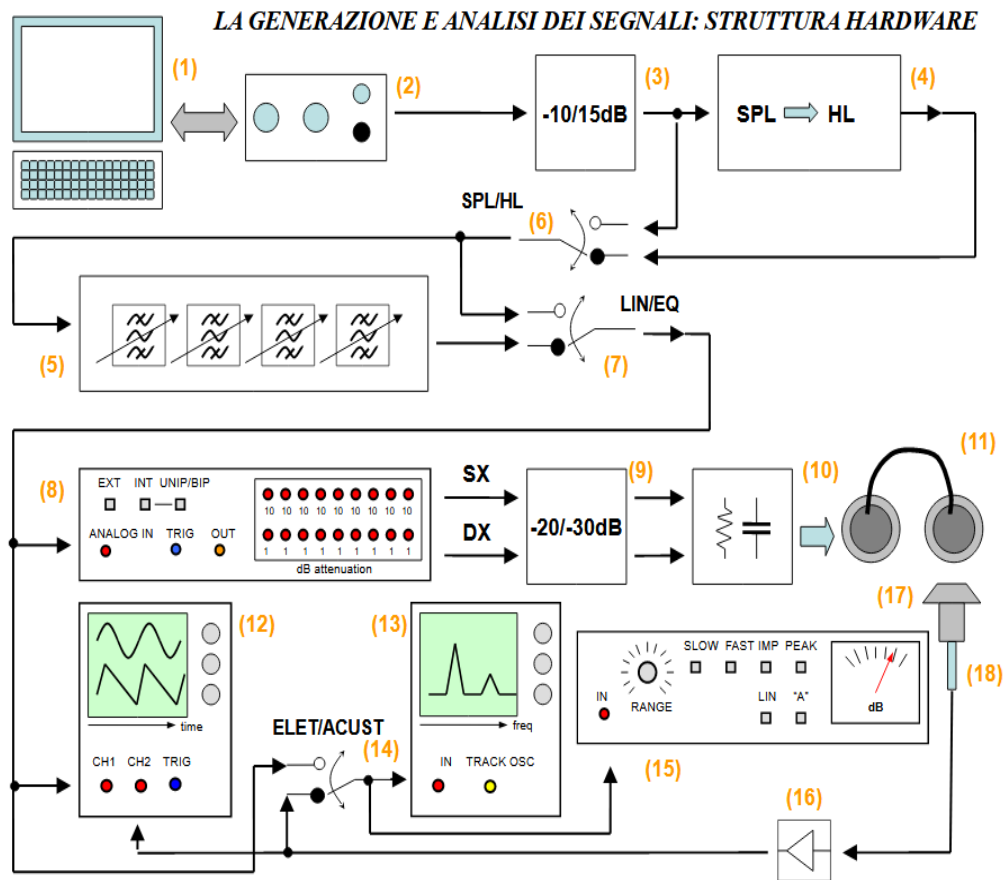
Mediante i suoni di sintesi, potendo spostare nel dominio della frequenza un suono in maniera arbitraria ma mantenendone lo stesso involuppo temporale e mantenendo inalterato il rapporto di frequenza tra le diverse formanti, è possibile associare ad un unico oggetto/concetto suoni che nel dominio della frequenza occupano bande leggermente diverse, ma che si riferiscono ad un unico concetto. In tal modo non vi è la necessità di un elevato numero di oggetti/concetti con una conseguente semplificazione del riconoscimento degli stessi da parte del bambino.



*Img 7*

Ad ogni segnale di sintesi, a cui è associabile uno specifico oggetto/concetto, corrisponde un range frequenziale ben determinato. Ciò rende i segnali di sintesi adeguati alla determinazione della soglia percettiva, al variare della frequenza nei test audiometrici.

### 3) Materiali



Img 8

### I BLOCCHI FUNZIONALI HARWARE PER LA GENERAZIONE E MISURA DEI SEGNALI

- 1) Personal Computer dove è residente il software per la gestione dei vari file corrispondenti ai diversi suoni e i driver di interfaccia della scheda audio
- 2) Scheda audio Tascam UH7000, impostata a 192 ks/s e 24 bit
- 3) Attenuatore di segnale con un'attenuazione impostata a -10 dB: lo scopo di tale attenuatore è quello di applicare un segnale adeguato allo stadio successivo (convertitore da SPL a HL) per poter realizzare la conversione sa SPL a HL per segnali con frequenze minime di 125 Hz.

- 4) Convertitore hardware per passare da un segnale in modalità SPL ad un segnale in modalità HL. Tale apparato, completamente analogico, realizza una pesatura frequenziale che corrisponde esattamente alla curva complementare della pesatura "A".
- 5) Equalizzatore grafico / parametrico per aggiustare la risposta in frequenza della cuffia.
- 6) Selettore che consente di scegliere il segnale SPL oppure HL.
- 7) Selettore che consente di bypassare l'equalizzatore (utile nel caso di segnali impulsivi).
- 8) Attenuatore logaritmico, che costituisce uno degli elementi fondamentali dell'intero setup strumentale, che consente di ottenere un range di 90 dB dell'ampiezza dei segnali applicati alla cuffia.
- 9) Attenuatore hardware che consente di ridurre di 20/30 dB il rumore di fondo degli stadi di uscita dell'attenuatore, consentendo una effettiva dinamica di 90 dB nell'ampiezza dei segnali applicati alla cuffia.
- 10) Circuito rivasatore del carico elettrico costituito dai due trasduttori della cuffia, il cui scopo è quello di linearizzarne la risposta in frequenza, anche in presenza dell'attenuatore passivo.
- 11) Cuffia modello Beyerdynamic DT880 pro.
- 12) Oscilloscopio per la visualizzazione dei segnali nel dominio del tempo.
- 13) Analizzatore di spettro per la visualizzazione dei segnali nel dominio della frequenza.
- 14) Selettore per scegliere se visualizzare il segnale elettrico che viene applicato alla cuffia oppure il segnale acustico rilevato col simulatore di orecchio per cuffia.
- 15) Amplificatore di misura per impieghi fonometrici.
- 16) Amplificatore microfonico.
- 17) Simulatore di orecchio normalizzato per cuffie.
- 18) Microfono di misura da 1/2" inserito nel simulatore di orecchio.

### **Perché una struttura così complessa?**

Per effettuare dei test con lo scopo di individuare la soglia uditiva per diversi tipi di suono, risulta fondamentale realizzare i suoni con estrema accuratezza, partendo dalla costruzione dei segnali elettrici, dalla loro definizione come ampiezza, passando da una corretta attenuazione per ottenere una intensità dei segnali adeguata. Fondamentale risulta anche il comportamento dello stadio di uscita dell'attenuatore e, infine, la qualità del trasduttore elettroacustico posizionato nel punto finale della catena di stimolazione.

Altrettanto fondamentale è la presenza dei due strumenti di misura (oscilloscopio e analizzatore di spettro) per verificare la corrispondenza tra i segnali "teorici" e quelli "effettivi", sia nel dominio elettrico che in quello acustico.

I segnali sono costruiti con metodi di sintesi numerica, mediante un personal computer: tale metodo consente di realizzare praticamente qualsiasi tipo di segnale (da un punto di vista numerico) senza l'utilizzo di costosi e complicati generatori hardware di segnali arbitrari. Con tale metodo l'elemento cruciale, per quanto riguarda la correttezza dei segnali elettrici generati, sta nella qualità della scheda audio. Dopo vari test è stato individuato il dispositivo perfetto allo scopo: scheda audio Tascam UH7000, che monta convertitori Burr-Brown di elevata qualità, dove, oltre ad una perfetta linearità degli stessi, in un range corrispondente a 24 bit, sono implementati filtri numerici di ordine non elevato. La scheda utilizzata è stata modificata, sostituendo alcuni integrati della sezione di conversione D/A e aggiungendo un filtro interpolatore passa basso con risposta di Bessel del 3° ordine. In tal modo i segnali più critici, quelli impulsivi, vengono riprodotti in maniera più che adeguata, anche se non perfetti in assoluto, esenti da sovraelongazioni oscillatorie.

*Occorre ricordare che devono essere effettuati dei test comparativi tra diversi tipi di suono e, conseguentemente, la correttezza di tali suoni deve essere la più elevata possibile, partendo dai segnali elettrici da cui sono ottenuti.*



## **Descrizione dei diversi blocchi.**

### **1) Personal Computer**

La scelta di utilizzare un PC come generatore numerico dei segnali consente, mediante metodi numerici, supportati da opportuni software, di generare praticamente qualsiasi tipo di segnale audio, senza la necessità di ricorrere a costosi e complicati generatori di segnale. Si è scelto, per i file audio corrispondenti ai vari segnali, il formato standard "WAVE" con una frequenza di campionamento di 192 kHz e una quantizzazione corrispondente a 24 bit. In pratica il formato utilizzato per i file audio di elevata qualità. Ogni segnale viene generato sotto forma di un file wave, della durata di qualche secondo, con il formato sopra descritto. Il valore numerico impostato corrisponde ad un livello di picco del segnale audio corrispondente a -1dB rispetto al valore massimo consentito. Ciò per garantire l'assenza di fenomeni di non linearità, dovuti alla saturazione, durante la fase di generazione del segnale da parte della scheda audio.

### **2) Scheda audio Tascam UH7000**

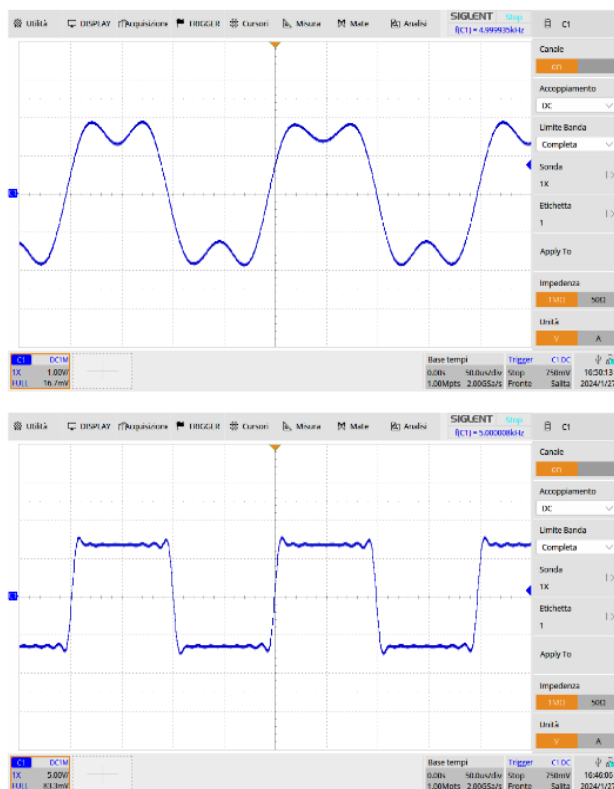
Si tratta di una interfaccia audio con connessione USB in grado di gestire file audio in formata wave, fino ad una frequenza di 192 campioni/secondo (di solito indicati in kHz) e una risoluzione corrispondente a 24 bit. Questa scheda audio monta il convertitore Burr Brown PCM 1795, convertitore non recente ma sicuramente uno dei migliori integrati che si possono trovare nei dispositivi audio. Questo integrato ha due principali caratteristiche. L'uscita differenziale bilanciata in corrente che, se pur richiedendo una sezione analogica aggiuntiva rispetto ai comuni convertitori DAC con uscita in tensione, consente di ottenere una eccellente qualità del segnale (se inseriti, nelle due sezioni di conversione corrente/tensione e di filtraggio passa basso, integrati di buona qualità). Un filtraggio numerico di ordine non elevato, che consente di ottenere dei segnali di tipo quadro estremamente accurati, inserendo un filtraggio analogico (aggiunto) di tipo passa basso con risposta di Bessel, come filtro interpolatore ricostruttore del segnale.



*Img 9*

Una ulteriore interessante caratteristica di tale scheda audio è costituita dall'uscita audio di tipo bilanciato, con un livello di quasi +20 dBm, perfettamente adatta al tipo di ingresso analogico del convertitore da SPL ad HL (previo un attenuatore passivo con attenuazione di 15 dB) e dell'attenuatore attivo, che hanno, entrambi, un ingresso differenziale, perfettamente bilanciato. Una interconnessione di questo tipo tra i vari apparati assicura la più elevata immunità possibile nei confronti dei disturbi a frequenza di rete, dovuti a campi elettromagnetici dispersi dagli apparati stessi o da altri apparati, oppure dovuti ad una non perfetta equipotenzialità delle masse dei diversi apparati.

Di seguito sono mostrati due diagrammi temporali relative alla generazione di un segnale teoricamente con forma quadra, generati da una scheda audio normale con filtri digitali e la scheda audio Tascam UH7000 utilizzata nel presente lavoro.



Onda quadra a 5 kHz, prodotta da una scheda audio con filtri digitali “pesanti”. Si tratta di un segnale tipicamente generato da schede audio con solo filtraggio numerico (e minimo filtraggio analogico) e da PC con scheda audio integrata.

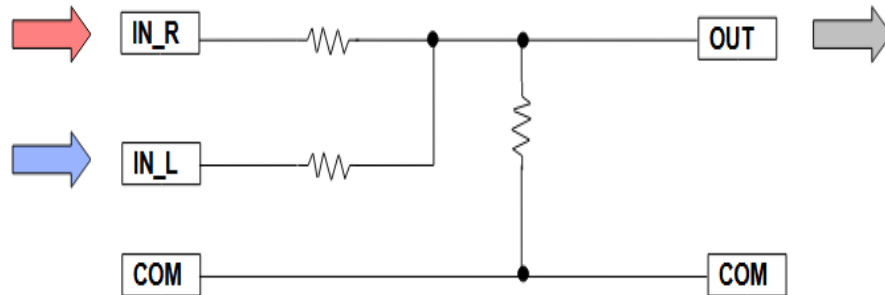
Onda quadra a 5 kHz, prodotta dalla scheda audio Tascam UH7000, modificata con filtri digitali “leggeri” e filtri analogici di Bessel del 3° ordine. Risulta evidente una forma d’onda molto più simile ad un’onda quadra, rispetto al caso precedente.

*Img 10*

### 3) Attenuatore di 10/15 dB

Si tratta di un attenuatore passivo di precisione, con ingresso di tipo differenziale, che integra nel medesimo dispositivo un sommatore passivo calibrato, con un’attenuazione di 6 dB, per passare da un segnale di tipo stereofonico (quello prodotto dalla scheda audio) ad un segnale monofonico oltre ad un attenuatore di tipo resistivo con circuito a “pi greco” con componenti esclusivamente passivi, con una a impedenza costante, che attenua il segnale di 10/15 dB. La necessità di tale funzionalità è legata a due aspetti. Il primo aspetto è che il modulo immediatamente successivo realizza la trasformazione del segnale da SPL ad HL, introducendo una ponderazione frequenziale (di seguito riportata) che a 125 Hz aumenta l’ampiezza del segnale di circa 16 dB. Dato che il livello del segnale di uscita dalla scheda audio è circa 10 V<sub>picco</sub>, se non fosse presente tale attenuatore, il successivo modulo di trasformazione da SPL ad HL andrebbe in saturazione in corrispondenza dei valori di frequenza più bassi. Il secondo aspetto, più raffinato,

è dato dal fatto che sommando due segnali idealmente uguali e attenuando la risultante di 6 dB, si ottiene un aumento teorico del rapporto segnale rumore, del segnale risultante, pari a 3 dB.



*Img 11*

Attenuatore passivo: schema di principio per segnali di modo comune

#### 4) Convertitore hardware da SPL ad HL

Si tratta di una apparecchiatura completamente analogica (e molto complessa) che, grazie ad una serie di filtri in cascata e stadi di amplificazione, trasforma in tempo reale un qualsiasi segnale SPL nel corrispondente segnale HL. Il vantaggio di tale soluzione sta nella assenza di elaborazioni numeriche da implementare all'atto della generazione dei segnali associate ad convertitori AD e DAC. L'accuratezza con cui il segnale, applicato all'ingresso, viene convertito in HL è notevole. Il massimo scostamento rispetto alla risposta nominale teorica corrispondente alla curva di pesatura frequenziale HL è di -0,5 dB a 125 Hz. **Inoltre la conversione avviene in maniera corretta non solo per toni puri ma anche per segnali composti, dove ciascuna componente formante viene "pesata" per il corretto coefficiente corrispondente alla risposta frequenziale complementare alla risposta pesata "A" dei fonometri.** Il valore di picco della tensione in uscita dal dispositivo è di poco superiore ai 10 Volt. Tenendo conto che a 125 Hz la pesatura frequenziale HL applica un guadagno di circa 16 dB, vi è la necessità di applicare all'ingresso di tale apparato un segnale con un'ampiezza massima di circa 1,2 V<sub>picco</sub>. Per garantire che non avvenga il fenomeno del

“clipping”, integrato nell’apparato è presente un rivelatore di picco, di precisione, con un tempo di risposta di qualche microsecondo, seguito da un circuito comparatore con memoria analogica e visualizzazione a LED dell’eventuale raggiungimento della condizione di clipping.

All’interno di questo apparato è presente anche un amplificatore microfonico, con bassissimo rumore e con guadagni, estremamente accurati, impostabili tra 10 e 60 dB, **usato come secondo amplificatore microfonico di riserva** (per il concetto di ridondanza nei lavori di sperimentazione).

Sempre all’interno di questo apparato vi sono i moduli che consentono, oltre alla ponderazione frequenziale complementare alla curva pesata “A”, anche quelle relative alle curve “B” e “C”.



*Img 12*

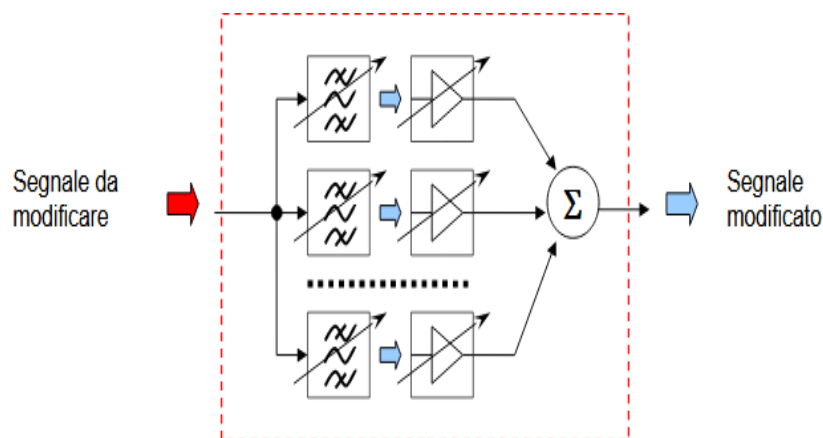
Per il criterio della “ridondanza delle apparecchiature” in tale apparato è presente anche un modulo che consente la pesatura frequenziale secondo le quattro curve: lineare, A, B e C, seguito da un modulo di estrazione del valore efficace (RMS) secondo tutte le diverse modalità previste per misure audiometriche. L’accuratezza, sia delle curve di pesature frequenziale, che la conversione RMS corrispondono ad uno strumento di classe “zero”, cioè la categoria di strumenti con la migliore accuratezza. In pratica è in grado di sostituire il Bruel & Kiaer mod. 2630 per quanto riguarda le misure audiometriche. In più contiene il modulo per realizzare il segnale HL, un modulatore di ampiezza per forme d’onda arbitrarie e un misuratore di picco del segnale oltre che del suo valore efficace. Tutti i moduli che costituiscono l’apparato sono indipendenti uno dall’altro, ma possono essere interconnessi tra loro.

## 5) Equalizzatore grafico / parametrico

L'intera catena analogica, dall'uscita della scheda audio allo stadio finale dell'attenuatore attivo, ha una risposta in frequenza tra 125 Hz e 16 kHz con una variazione max di 0,5 dB rispetto alla risposta teorica. Solo la cuffia, pur essendo di eccellente qualità, può presentare delle lievi irregolarità nella risposta in frequenza. Dato lo scopo del presente studio, che richiede la maggior accuratezza possibile nella generazione dei segnali acustici, la presenza dei banchi di equalizzazione frequenziale potrebbe tornare utile. Gli equalizzatori utilizzati sono di due tipi, connessi in cascata: un equalizzatore grafico a 31 bande a 1/3 di ottava e un equalizzatore parametrico a 5 bande, attivabili singolarmente. Combinando l'azione di questi due apparati, si ottiene un livello del segnale acustico fornito dalla cuffia accurato in base alle esigenze.

Osservazione importante:

La metodica di comparazione dei diversi tipi di suono utilizzando la medesima catena di generazione comporta la “non assoluta necessità” di una perfetta risposta in frequenza. Una buona risposta in frequenza migliora, però, la qualità della comparazione tra toni puri e segnali composti. Ciò consente una accurata energia spettrale nel caso di segnali composti.



*Img 13*

## **6) Selettore SPL/HL**

Tale selettore ha la funzione di scegliere se realizzare un segnale secondo la ponderazione HL oppure se realizzare un segnale SPL. L'esclusione della ponderazione HL viene utilizzata quando vengono generati dei segnali impulsivi (click) che, altrimenti, sarebbero deformati nella loro forma originariamente rettangolare (nel dominio del tempo). E' integrato all'interno del convertitore da SPL a HL.

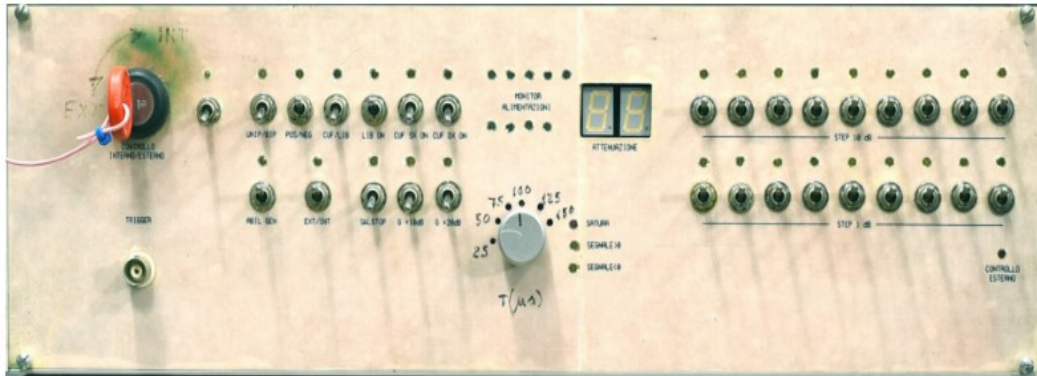
## **7) Selettore LIN/EQ**

Tale selettore ha la funzione di escludere gli equalizzatori. Tale esclusione viene utilizzata quando vengono generati dei segnali impulsivi (click) che, altrimenti, sarebbero deformati nella loro forma originariamente rettangolare (nel dominio del tempo). E' integrato all'interno degli equalizzatori.

## **8) Attenuatore / Driver per la cuffia**

Si tratta dell'apparato cruciale dell'intera catena di dispositivi, adibito a impostare l'intensità del segnale di test inviato alla cuffia. Estremamente accurato come regolatore di attenuazione, con una banda passante da 0 Hz a 200 kHz , un errore max di 1 dB su un range di 60 dB e una distorsione minore dello 0,1% su tutta la banda. Esso consente di impostare l'intensità del segnale in modo assolutamente adeguato alle esigenze dello studio. In pratica, svolge le funzioni, nei confronti della sola intensità, di un comune audiometro, in quanto il segnale viene generato esternamente a tale apparato.

Non si tratta di un apparato commerciale, ma è stato appositamente progettato e realizzato per impostare l'intensità di un qualsiasi segnale audio, indirizzandolo direttamente ad una cuffia/inserto oppure all'ingresso di un amplificatore di potenza, qualora si realizzi una stimolazione acustica in campo libero. E', in pratica, un apparato identico a quello usato per controllare i segnali acustici di stimolazione nella rilevazione dei potenziali evocati.



*Img 14*

L'impostazione dell'attenuazione viene fatta manualmente agendo su interruttori a levetta, suddivisi in due gruppi: il primo che consente step di 10 dB, il secondo che consente step di 1 solo dB. L'attenuazione nominale massima prevista è di 99 dB, ma in realtà l'inevitabile rumore di fondo limita l'effettiva escursione a circa 80 dB (valore comunque notevole). L'elevata banda passante del dispositivo consente di riprodurre fedelmente qualsiasi segnale generato dalla scheda audio. Una ulteriore funzionalità di tale dispositivo è costituita dalla possibilità di generare internamente dei click praticamente perfetti (più accurati rispetto a quelli generati da una qualsiasi scheda audio, privi di sovraelongazione e con tempi di salita e discesa dell'ordine di 1 microsecondo), con durata selezionabile da 50  $\mu$ s a 150  $\mu$ s, in modalità unipolare (positivo o negativo) o bipolare alternata. Nel caso di generazione interna del click, il segnale generato dalla scheda audio funge da comando di trigger per la generazione degli impulsi. Il dispositivo consente di applicare il segnale sul padiglione sinistro, oppure destro oppure su entrambi i padiglioni della cuffia. In tal modo vi è la possibilità di testare singolarmente l'orecchio destro o sinistro oppure contemporaneamente, generando un segnale binaurale monofonico.

OSSERVAZIONE:

***Perché viene data la possibilità di variazioni minime di un solo dB?***

Nei comuni test audiometrici, di solito si impostano dei "salti di intensità di 5 / 10 dB, valore adeguato a determinare il grado di ipoacusia di una soggetto.



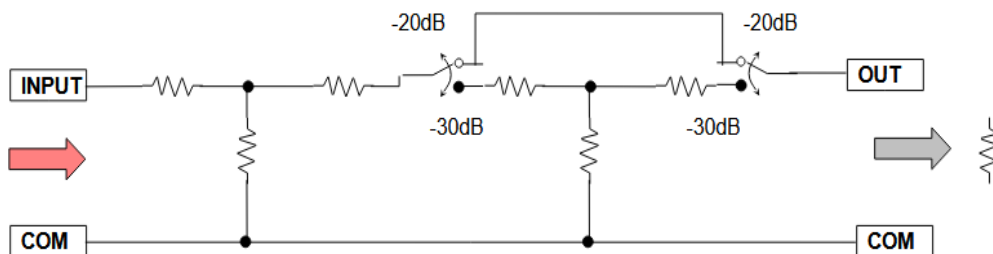
Nel lavoro in questione si cerca il livello equivalente di percezione minima per diversi tipi di suono e le differenze potrebbero essere veramente minime, da cui i salti minimi previsti sono di un solo dB. Si tratta di una sorta di “test strumentale” che richiede una notevole accuratezza, sia come contenuto frequenziale che come intensità dei segnali prodotti.

### 9) Attenuatore passivo di 20 / 30 dB

In corrispondenza dell'attenuazione 0 dB dell'attenuatore attivo, il livello del segnale applicato alla cuffia supera di circa 20 dB il massimo livello di segnale accettabile dalla cuffia stessa. Primo scopo dell'attenuatore passivo è quello di salvaguardare l'integrità della cuffia. Una ulteriore funzione, altrettanto importante svolta dall'attenuatore passivo, è quella di ridurre il rumore di fondo assieme al segnale: in pratica si aumenta il rapporto segnale/rumore effettivo di 20 / 30 dB. Si riesce, così, ad applicare al soggetto anche segnali di debolissima intensità, senza che siano penalizzati dalla presenza di rumore elettrico. Ciò è fondamentale nello studio in questione, volto alla determinazione della soglia inferiore percettiva in soggetti normoudenti.

Osservazione:

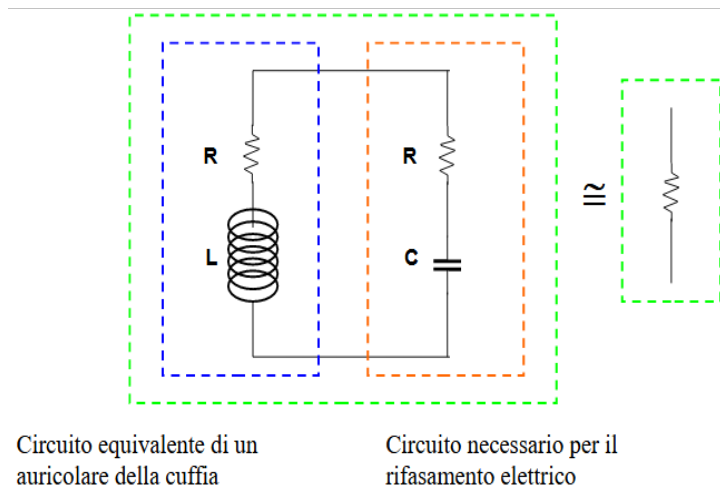
Pur non risultando necessaria una elevata accuratezza di questo attenuatore (infatti la metodica si basa sul metodo del confronto tra diversi suoni ottenuti dalla medesima catena di stimolazione acustica), l'accuratezza di tale blocco funzionale è entro +/- 0.5 dB. Tale accuratezza è ottenuta grazie alla struttura circuitale a scala ad impedenza perfettamente adattata all'impedenza della cuffia (carico equivalente ad un circuito praticamente resistivo, grazie alla rete di rifasamento descritta nel modulo seguente).



Img 15

## 10) Circuito di rifasamento del carico costituito dalla cuffia

Perché l'attenuatore resistivo passivo (9) possa funzionare correttamente nei confronti della cuffia, cioè assicuri un'attenuazione costante al variare della frequenza, esso deve vedere un carico perfettamente resistivo. La cuffia non garantisce tale esigenza, trattandosi di un carico in parte reattivo, equivalente sostanzialmente ad un circuito RL (resistenza + induttanza). La compensazione di una tale tipo di carico si effettua con una opportuna rete RC, determinata appositamente per la cuffia a cui è collegato mediante opportune tecniche di misura, collegata in parallelo al circuito elettrico di ciascuna padiglione della cuffia.



*Img 16*

## 11) Cuffia biaurale semiaperta

La cuffia utilizzata è il modello DT-880 Pro Beyerdynamic con i padiglioni semiaperti. La scelta di tale tipo e modello di cuffia è conseguente ad una serie di considerazioni. La prima è la necessità di avere un dispositivo dalla risposta in frequenza la più lineare ed estesa possibile e la cuffia utilizzata è ben adatta allo scopo, infatti è spesso utilizzata come cuffia di riferimento negli studi di registrazione. Per contro l'intensità acustica ottenibile non è elevatissima (si raggiungono i 90 – 95 dB SPL in un range di frequenza tra 20 Hz e 20 kHz) ma ciò non costituisce un problema, dato che lo scopo dello studio non è quello di

fare delle misurazioni audiologiche in soggetti ipoacusici. La scelta di una struttura semiaperta consente di dare una sensazione non troppo oppressiva al soggetto. D'altra parte gli ambienti dove i test saranno eseguiti sono ambienti con un rumore di fondo molto basso, quindi è sufficiente una bassa attenuazione dei rumori ambientali da parte della cuffia. Se i test fossero eseguiti in ambienti con un significativo rumore di fondo risulterebbe indispensabile una cuffia chiusa con una elevata attenuazione nei confronti del rumore ambientale.



*Img 17*

## **12) Oscilloscopio**

Questo è lo strumento per la visualizzazione dei segnali nel dominio del tempo. Scopo di tale strumento è quello di verificare la coerenza dei segnali, sia quelli elettrici che quelli acustici, con i segnali numerici generati dal software. Gli strumenti utilizzati sono Siglent serie SDS2104 PLUS oppure Tektronix serie 7004, entrambi con 200 MHz di banda passante. Mediante il selettore (14) è possibile analizzare sia i segnali elettrici che i segnali acustici.

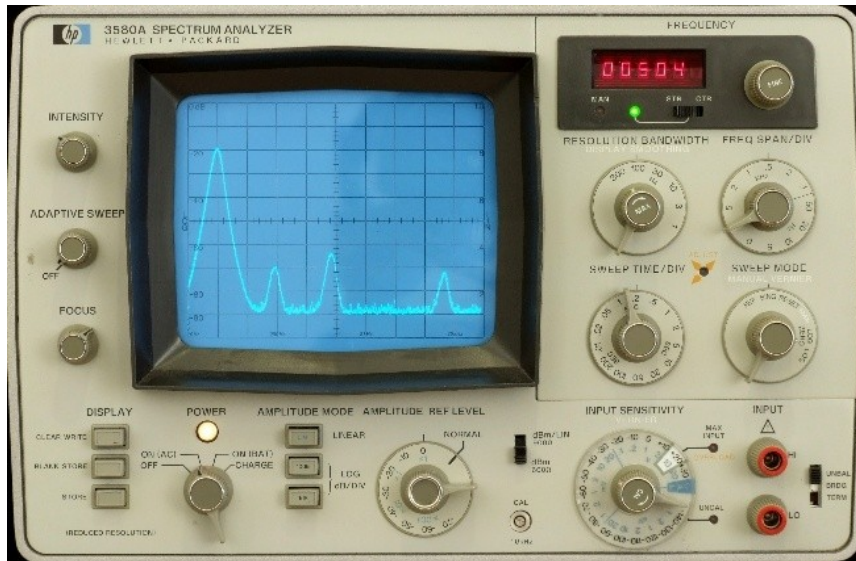


*Img 18*

La visualizzazione dei segnali nel dominio del tempo consente di verificare a colpo d'occhio, la correttezza dei segnali verificando l'assenza di fenomeni non desiderati quali clipping da saturazione o eventuali asimmetrie temporali.

### **13) Analizzatore di spettro**

Questo è lo strumento per la visualizzazione dei segnali nel dominio della frequenza. Scopo di tale strumento è quello di verificare la coerenza dei segnali, sia quelli elettrici che quelli acustici, con i segnali numerici generati dal software. Mediante il selettore (14) è possibile analizzare sia i segnali elettrici che i segnali acustici. L'apparato utilizzato è un oscilloscopio analogico, specifico per analizzare segnali di tipo acustico, HP3580, con una risposta in frequenza sino a 50 kHz e una dinamica superiore agli 85 dB, con ingresso in alta impedenza (600 ohm) sia di modo comune che di modo differenziale.



Img 19

#### 14) Selettore EL/ACUST

Questo selettore consente di visualizzare e analizzare mediante i due strumenti, oscilloscopio e analizzatore di spettro, i segnali elettrici oppure i segnali acustici. L'amplificatore di misura B&K 2636 Consente di misurare l'energia dei segnali secondo tutte le possibili modalità previste dai fonometri più sofisticati, completi e accurati.

#### 15) Amplificatore di riferimento per uso audiometrico

Per un qualsiasi esame audiometrico è di fondamentale importanza misurare l'intensità del segnale, sia come valore efficace che come valore di picco. Nel nostro caso la misurazione va effettuata sia per il segnale acustico che per quello elettrico. Altrettanto importante è la possibilità di effettuare la misura acustica secondo la ponderazione frequenziale di pesatura "A" che corrisponde alla pesatura frequenziale "HL". Un apparato che risponde perfettamente alle esigenze è l'amplificatore di riferimento Bruel & Kiaer mod. 2636. E' quanto di meglio si possa trovare come strumento per impieghi audiometrici. Ha tutte le possibili modalità presenti nei fonometri di classe superiore con l'aggiunta di alcune caratteristiche tipiche degli amplificatori di misura. Con una escursione dei guadagni che supera arriva a 120 dB, una banda passante da 2 Hz a 200 kHz, tutte

le curve di pesatura (LIN, A, B, C), diverse modalità di estrazione del valore efficace (RMS) con tutte le costanti di tempo normalizzate, oltre alla modalità di picco e impulsiva.

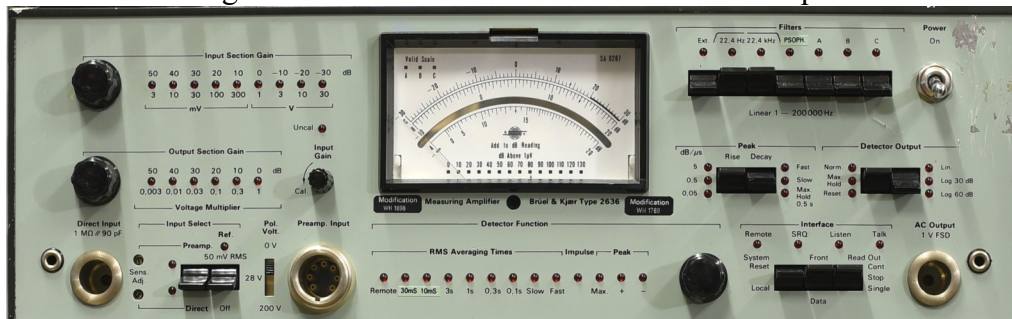
Utilizzando l'ingresso elettrico, tale apparato consente di misurare in maniera estremamente accurata un segnale elettrico, mentre associato ad un microfono e relativo preamplificatore consente di misurare un segnale acustico.

Una importante funzionalità posseduta da questo apparecchio è la possibilità di effettuare la misura di picco del valore efficace. In tal modo si ottiene una accurata informazione sul massimo valore raggiunto anche dai segnali compositi di tipo transitorio.

Se si scoprisse che il livello percettivo è legato al valore efficace di un segnale acustico, sarebbe una informazione molto interessante. Il veloce passaggio dalla modalità di misura lineare a quella pesata "A" consente di misurare l'effettiva energia dei segnali di test, sia elettrici che acustici, e la corretta ponderazione frequenziale "HL" che altro non è che la pesatura frequenziale esattamente corrispondente alla curva complementare della pesatura "A".

Associato ad un adeguato preamplificatore microfonico a basso rumore, tale apparato consente di effettuare una significativa misura del rumore di fondo, per avvalorare l'adeguatezza dell'ambiente in cui vengono effettuati i test.

Per rendere ancora più significativa la misura dei vari segnali, effettuata con tale apparato, essa viene congiuntamente effettuata anche dall'oscilloscopio e dell'analizzatore di spettro. Questo ultimo è, però, in grado di analizzare solamente segnali stazionari con una certa durata minima, necessaria perché lo strumento sia in grado di effettuare una corretta analisi dello spettro.



Img 20

## 16) Amplificatore microfonico

Ha lo scopo di fornire un guadagno ben controllato del segnale proveniente dal microfono di misura inserito nel simulatore di orecchio per cuffia. Essendo, tale microfono, del tipo a condensatore con la necessità di essere alimentato tramite una connessione di tipo “phantom”, l’amplificatore microfonico fornisce tale alimentazione attraverso il connettore XLR di ingresso. Tale apparato è un dispositivo commerciale (Behringer Mic Preamplifier model MIC2200), ma modificato per ottenere dei guadagni perfettamente calibrati e una banda passante estesa. Inoltre è stata aggiunta una coppia di uscite di modo comune, su connettori tipo BNC, a bassa impedenza, perfettamente dimensionate per pilotare strumenti di misura, quali oscilloscopi, analizzatori di spettro, amplificatori di misura.



Connettori BNC da cui si può prelevare il segnale per applicarlo direttamente ai vari strumenti di misura

*Img 21*

### 17) Simulatore di orecchio da applicare ai padiglioni delle cuffie

Dispositivo normalizzato come simulatore di orecchio da utilizzare con le cuffie, associato ad un microfono di misura da mezzo pollice. Si tratta dell'Ear Simulator Bruel & Kiaer type 4185. Il microfono inserito nell'accoppiatore è il Behringer ECM8000, un microfono di misura a condensatore con alimentazione phantom. Lo scopo di tale dispositivo è quello di poter analizzare il segnale acustico prodotto dalla cuffia. Si tratta di un passo fondamentale per verificare la effettiva qualità del segnale acustico e la sua perfetta corrispondenza col segnale elettrico da cui proviene.



*Img 22*



## 18) Microfono di misura inserito nel simulatore di orecchio

Si tratta del dispositivo inserito nel simulatore di orecchio. Behringer ECM8000 è un microfono di misura a condensatore con alimentazione phantom, economico ma adeguatamente accurato per lo studio in questione. La sua risposta in frequenza risulta praticamente piatta fino a 15 kHz e, quindi, perfettamente adatto allo scopo.

# MEASUREMENT MICROPHONE ECM8000



## Technical Specifications

June 1999

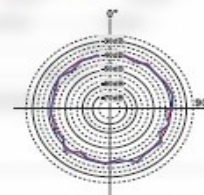
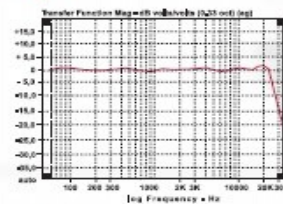
### MEASUREMENT MICROPHONE

#### FEATURES

- ▲ Sophisticated electret condenser measurement microphone
- ▲ Ultra-linear frequency response
- ▲ Evenly weighted, true omni-directional pattern
- ▲ Perfectly suited to room equalization applications
- ▲ Phantom powered, +15 V to +48 V
- ▲ Rugged construction and sleek, modern design
- ▲ Microphone stand adapter included
- ▲ Perfect for use with the ULTRA-CURVE DSP8000 / ULTRA-CURVE PRO DSP8024 or any other Real Time Analyzer

#### SPECIFICATIONS

Type	electret condenser, omni-directional
Impedance	600 Ohms
Sensitivity	- 60 dB
Bandwidth	15 Hz to 20 kHz
Connector	gold-plated XLR
Phantom power	+15 V to +48 V
Weight	approx. 120 g



BEHRINGER is constantly striving to maintain the highest professional standards. As a result of these efforts, modifications may be made from time to time to existing products without prior notice. Specifications and appearance may differ from those listed or illustrated.

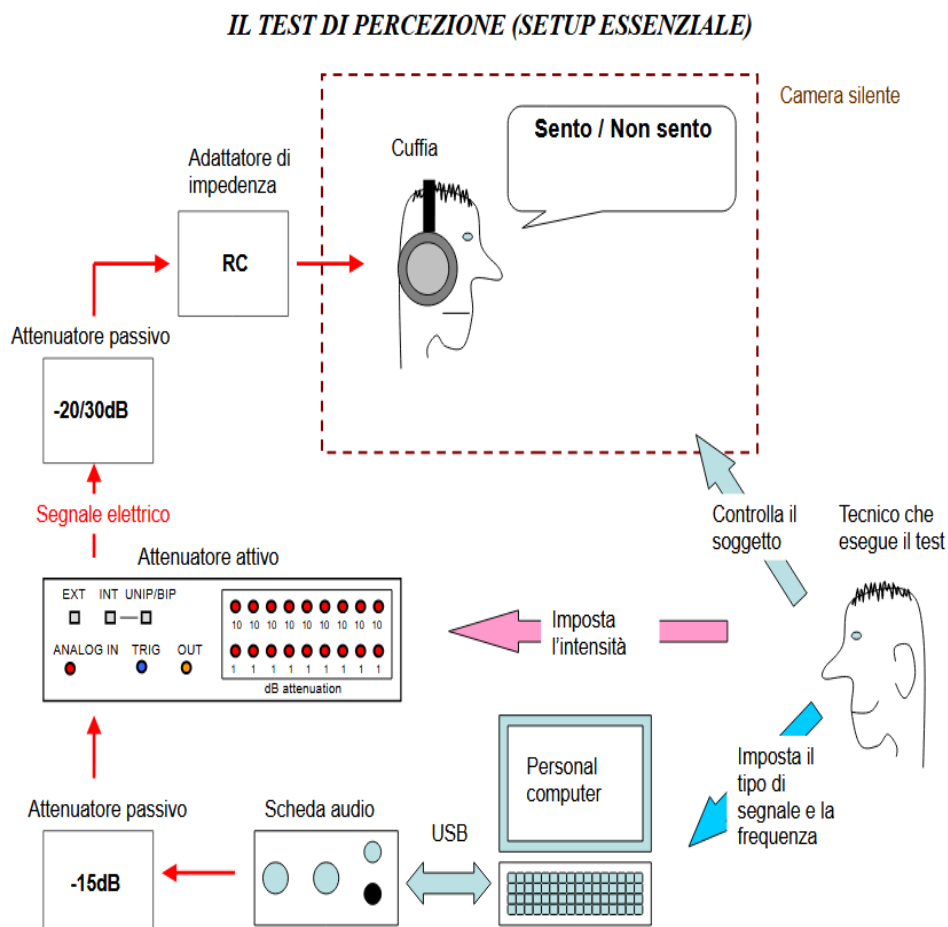
The information contained in this sheet is subject to change without notice. No part of this sheet may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and recording of any kind, for any purpose, without the express written permission of BEHRINGER GmbH.  
ALL RIGHTS RESERVED © 1999 BEHRINGER. BEHRINGER is a registered trademark.  
BEHRINGER INTERNATIONAL GmbH, Harms-Martin-Schleyer-Str. 56-58, D-47577 Willich-Mündelheim II  
Tel: +49 (0) 21 54 / 92 05-0 Fax: +49 (0) 21 54 / 92 05-30



www.behringer.de

## SETUP COMPLETO E SETUP MINIMO ESSENZIALE: OSSERVAZIONI

Confrontando il setup strumentale completo e quello essenziale usato per eseguire i test si nota come nella seconda configurazione manchino alcuni apparati: sostanzialmente l'equalizzatore e gli strumenti di misura. In effetti la strumentazione di misura ha lo scopo di verificare che la generazione dei suoni sia corretta, mentre l'equalizzazione consente di aggiustare la risposta in frequenza dell'intera catena.



Img 24

Tutta la strumentazione di misura, una volta verificata la correttezza dei segnali generati (verifica effettuata in laboratorio elettronico) non ha più necessità di essere utilizzata. La buona qualità di tutti i dispositivi utilizzati assicura il mantenimento delle caratteristiche nel tempo dei segnali, una volta che sono stati verificati mediante il setup strumentale completo.

Per quanto riguarda il blocco costituito dagli equalizzatori, una volta individuato il coefficiente correttivo del guadagno da introdurre alle varie frequenze, tale correzione viene effettuata a priori, all'atto della costruzione numerica dei vari segnali.

Tutto ciò consente di utilizzare il setup minimo essenziale per eseguire i test sui soggetti, a tutto vantaggio della semplicità di utilizzo da parte dell'operatore e della eventuale trasportabilità in caso di necessità.

## LA MISURA DEL RUMORE DI FONDO

Per rendere valide le misure per la determinazione della soglia percettiva risulta utile la misura del rumore ambientale, che non dovrebbe superare il valore di circa 20 dB SPL (pesata “A”) misura che presenta alcune difficoltà.

Il microfono che potrebbe essere usato è il Rode NT2-A impostato con risposta polare omnidirezionale. La sensibilità nominale del microfono è di 16 mV a 94 dB SPL e presenta un rumore acustico intrinseco di 7 dBA (in misura pesata “A”) che corrisponde ad un rumore elettrico equivalente di 0,7  $\mu$ V. Per amplificare tale microfono, senza introdurre un rumore elettrico significativo da parte del preamplificatore, servirebbe un dispositivo di amplificazione con un rumore equivalente riportato in ingresso decisamente minore di 0,7  $\mu$ V (valore adeguato può essere minore o uguale a 0,5  $\mu$ V).

Ma un tale preamplificatore risulta appartenere alla categoria dei preamplificatori microfonici a bassissimo rumore (non certamente il Behringer modello MIC2200 che presenta un rumore equivalente in ingresso maggiore di 1  $\mu$ V).

In caso di necessità si dispone di un preamplificatore con rumore equivalente in ingresso minore di 0,5  $\mu$ V (da valutare la effettiva necessità di utilizzare un apparato tanto sofisticato).



*Img 25*

## GENERAZIONE DEI SEGNALI

Come già detto, i diversi segnali vengono generati in modo numerico mediante un opportuno software. Il formato dei file è del tipo WAVE con codifica PCM, 32 bit e 192.000 campioni/secondo (di solito definiti kHz), monofonico. In pratica si tratta della più elevata qualità ottenibile con la scheda audio utilizzata che, però, pur accettando una codifica a 32 bit, effettua la conversione DAC a 24 bit (valore più che adeguato per ottenere segnali con una accuratezza molto elevata e più che adatto allo scopo dello studio).

Il segnale monofonico generato presenta una dimensione minore rispetto al corrispondente segnale stereofonico. Inoltre nella condizione normale di test il segnale acustico viene inviato uguale nei due padiglioni della cuffia, quindi non serve avere a disposizione due segnali (destro e sinistro) diversi tra loro. Nel caso in cui vi sia la necessità di testare separatamente la percezione dalle due orecchie, tale operazione risulta possibile tramite l'attenuatore attivo, che mediante un comando a selettore consente di inviare il segnale acustico ad un singolo orecchio oppure a entrambi contemporaneamente. Per evitare problemi di saturazione nella sezione analogica della scheda audio, il valore massimo istantaneo di ogni file audio generato è impostato a -1dB rispetto al massimo assoluto (0 dB).

Per quanto riguarda la durata di ciascun segnale non risulta possibile impostare la stessa durata e lo stesso involuppo temporale per i vari segnali compositi che ricordano oggetti/concetti appartenenti al mondo dei bambini. Ciò che, invece, viene garantito è l'involuppo temporale praticamente identico per il tono puro e il corrispondente segnale composito. In tal modo la comparazione tra i due segnali risulta significativa.

#### **4) Metodi**

L'aspetto saliente della metodica adottata nella ricerca della soglia percettiva, per diversi tipi di segnale, nei confronti di tutti i soggetti che partecipano al lavoro, sta nel metodo estremamente accurato con cui i vari segnali vengono generati. Mediante apposito setup hardware/software i diversi segnali (toni puri, toni vobulati, rumore filtrato in banda stretta, click e, naturalmente, segnali di sintesi che costituiscono il cuore del lavoro) vengono somministrati ai diversi soggetti, con diverse intensità, sino ad individuare, da parte del tecnico che esegue il test, l'intensità corrispondente alla soglia percettiva per i diversi suoni.

I vari segnali, con i conseguenti suoni, si suddividono in diverse tipologie e per ciascuna tipologia, in corrispondenza di ciascun segnale, vi sono vari contenuti frequenziali e per ogni contenuto frequenziale omologo si hanno delle caratteristiche temporali comparabili. In pratica, segnali col medesimo contenuto frequenziale (o comparabile) presentando un involuppo temporale molto simile tra loro, se non addirittura uguale. In tal modo, la comparazione sensoriale risulta sicuramente significativa. Come esempio si può citare l'involuppo del suono di sintesi che simula molto bene il fischio di un treno del Far West, con le componenti formanti centrate attorno a 1 kHz. Tale suono ha il medesimo andamento temporale dell'intensità (involuppo) del corrispondente tono puro, tono vobulato o rumore a banda stretta.

Per i test audiometrici attualmente in uso, l'escursione frequenziale di solito va da 500 Hz a 4000 Hz, talvolta estesa da 250 Hz a 8 kHz, mentre per i suoni di sintesi l'escursione può andare tra 64 Hz a 16 kHz (limitata in questo studio tra 125 Hz e 12 kHz). Per tale motivo la ricerca della soglia equivalente tra le diverse tipologie di suono sarà estesa solo tra 250 Hz e 8 kHz, confidando che la corrispondenza si possa estendere anche alle zone frequenziale più estreme (125 Hz e 12 kHz), anche se di queste ultime l'effettiva comparazione risulta di difficile o, addirittura, di impossibile attuazione.

Come intensità viene preso in considerazione il valore efficace del segnale, misurandone il livello secondo la modalità FAST e PEAK in modalità pesata "A", essendo l'impostazione dei segnali in modalità "HL".

Per il segnale di tipo impulsivo (detto anche "click"), il segnale elettrico al trasduttore viene effettuata direttamente senza passare né dall'equalizzatore né dal banco di pesatura frequenziale "HL".

Per i segnali di sintesi, di tipo composito, vengono scelte le componenti frequenziali in numero di tre - quattro con una escursione frequenziale di una ottava, con i valori di frequenza, delle diverse componenti formanti, a cavallo del valore della frequenza del corrispondente tono puro di riferimento.

Altro discorso va fatto per i click della durata standard di 100  $\mu$ s (o altre durate). In questo caso la comparazione non va intesa come una soglia percettiva equivalente per diversi valori di frequenza, ma si potrebbe, ad esempio, realizzare una comparazione con la soglia percettiva a 4 kHz e 8 kHz e 16 kHz, con burst 50-100 ms di durata, dato che il contenuto spettrale di un click della durata di 100  $\mu$ s è sicuramente concentrato sulla zona delle frequenze più elevate.

## **GENERAZIONE DEI SEGNALI DI TEST**

Per comprendere come vanno generati i vari segnali occorre tenere ben presente il concetto fondamentale del presente studio: **CONFRONTO TRA DIVERSI TIPI DI SEGNALE** con lo scopo di determinare il livello corrispondente alla soglia percettiva. Ma il confronto tra due grandezze ha senso se le due grandezza risultano tra loro omologhe, in altri termini, se hanno molte caratteristiche in comune.

I segnali, di cui si vogliono confrontare gli effetti percettivi, sono sostanzialmente di due tipi (almeno in questa prima fase dello studio): segnali sinusoidali e segnali composti contenenti più formanti. Il contenuto spettrale costituisce la differenza fondamentale tra i due tipi di segnali che, per risultare il più omologhi possibile, devono presentare le altre caratteristiche più simili possibile tra loro.

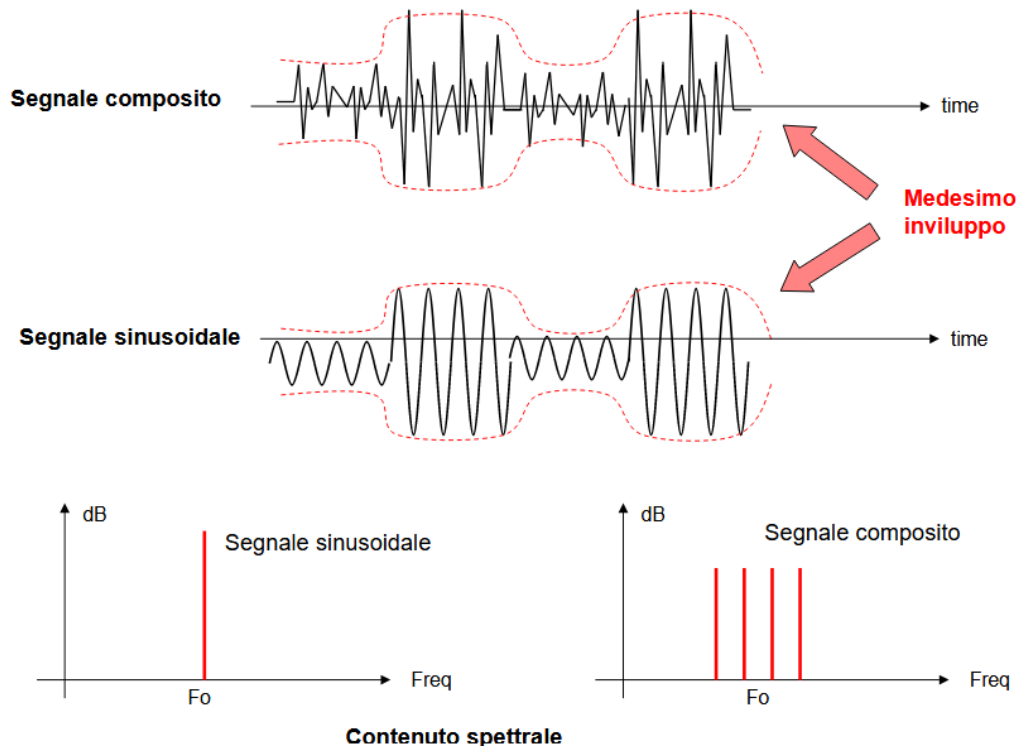
Oltre al contenuto frequenziale, un qualsiasi segnale presenta due fondamentali caratteristiche: l'inviluppo temporale e la sua energia. Ora, per rendere più possibile omologhi due segnali, con diverso contenuto spettrale, è necessario che presentino il medesimo inviluppo temporale (o almeno tale inviluppo risulti molto simile).

Ecco, quindi, che se un segnale composto con un certo contenuto frequenziale ha un determinato andamento del suo inviluppo, il corrispondente segnale sinusoidale con una frequenza che corrisponde al centrobanda del segnale composto, avrà il medesimo inviluppo temporale. In tal modo l'unica sostanziale differenza tra i due segnali sta nel loro spettro, mentre l'andamento temporale dell'energia risulta praticamente lo stesso.

La corrispondenza dell'inviluppo temporale tra diversi tipi di segnale è la prima condizione necessaria per poter determinare la soglia percettiva tra i diversi suoni.



*Esempio di due segnali con un involuppo molto simile*



*Img 26*

Vengono, di seguito, riportati due esempi di segnali di test con segnali composti, corrispondenti al suono di una campanello e al suono del fischio di un treno. Il primo è realizzato con quattro componenti sinusoidali attorno alla frequenza di 8 kHz, spaziando una ottava. Il secondo è realizzato sempre con quattro componenti sinusoidali attorno alla frequenza di 1 kHz, spaziando una ottava.

Altra differenza sta nell'involuppo temporale dei due segnali.

I corrispondenti segnali omologhi sono realizzati, ciascuno, con una singola componente sinusoidale rispettivamente a 8 kHz e a 1 kHz,

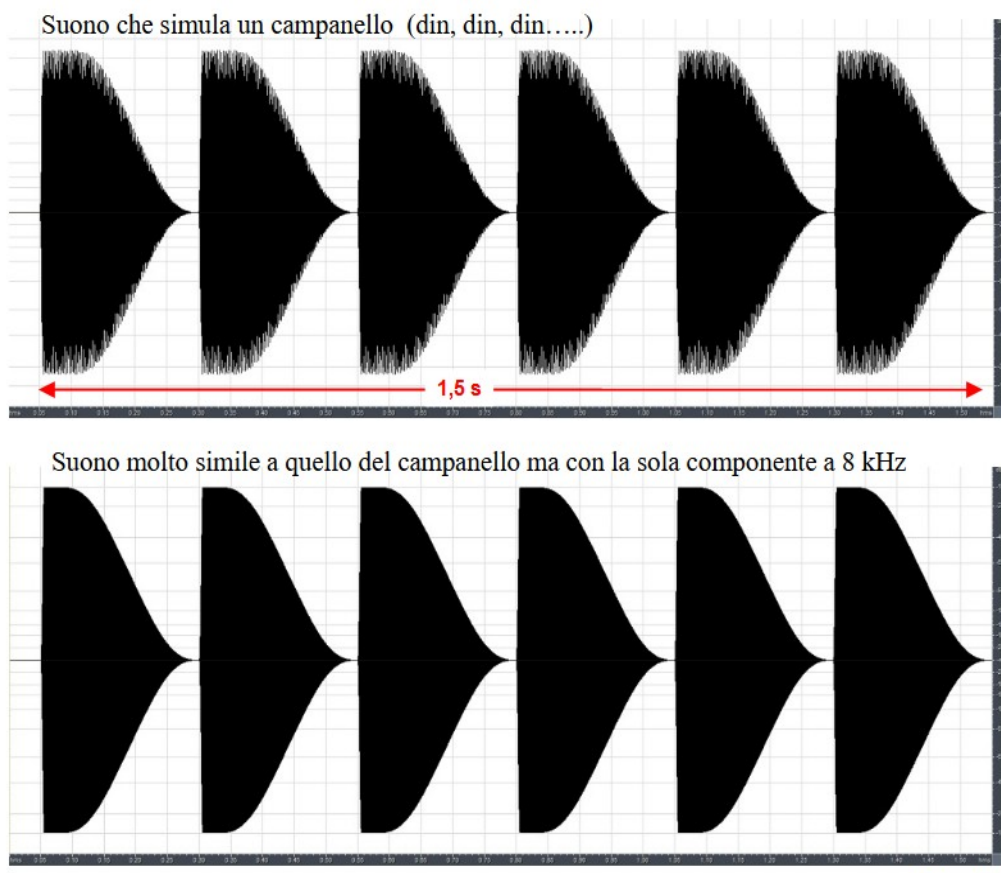
I segnali composti e i corrispondenti segnali omologhi con toni puri hanno il medesimo involuppo temporale.

Sono mostrati i due diversi andamenti temporali di un segnale di sintesi che simula il din din di un campanello e un corrispondente tono puro che ne costituisce il suono corrispondente secondo le attuali metodiche che utilizzano i toni puri.

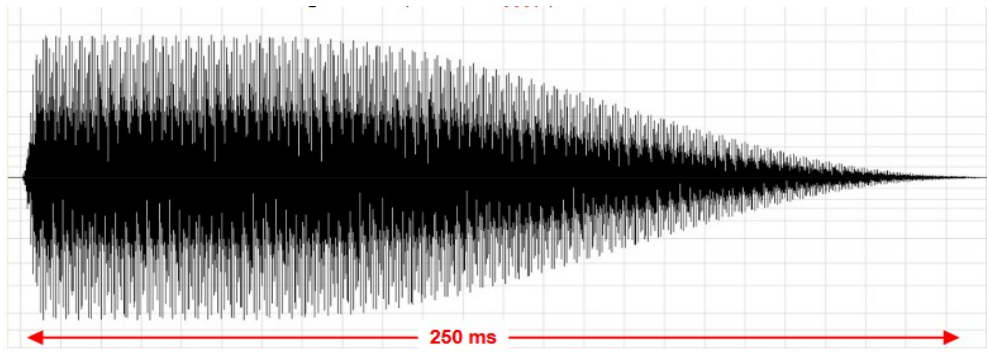
Si vede come l'involuppo temporale dei due segnali risulti assolutamente equivalente.

La sequenza delle figure mostra l'evoluzione completa del segnale ( sei colpi di campanello) per un totale di 1,5 s, l'evoluzione temporale di un solo colpo della durata di 250 ms, la visualizzazione di un tratto temporale della durata di 2 ms, da cui si vede chiaramente come i due segnali, quello di sintesi e il tono puro siano sostanzialmente differenti.

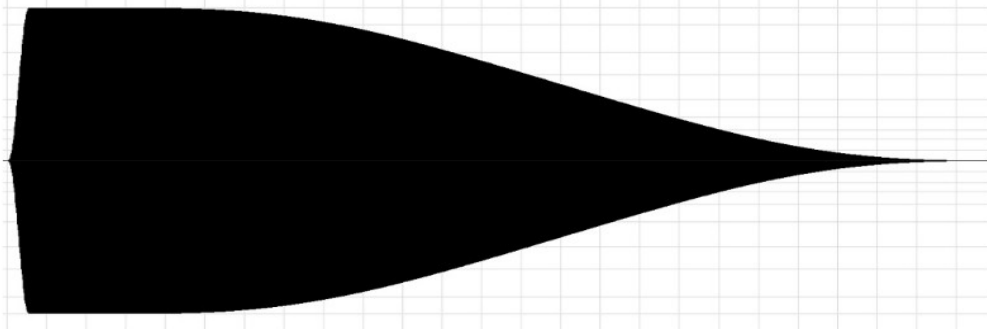
La differenza strutturale dei due segnali viene evidenziata dallo spettro mostrato nelle ultime figure.



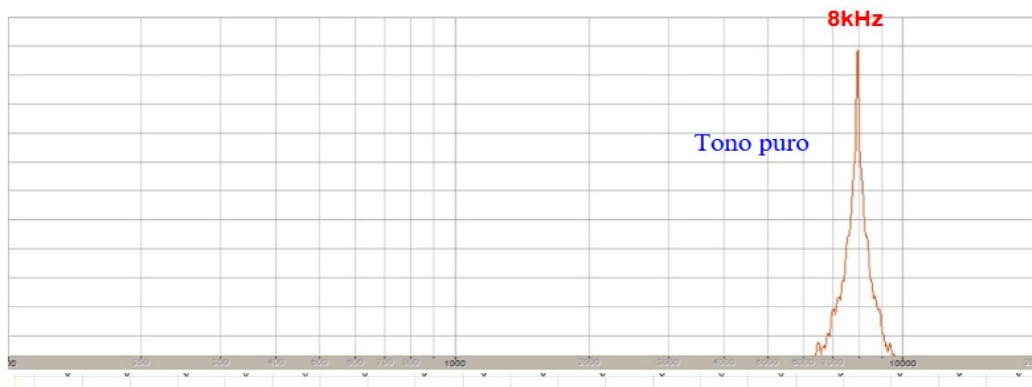
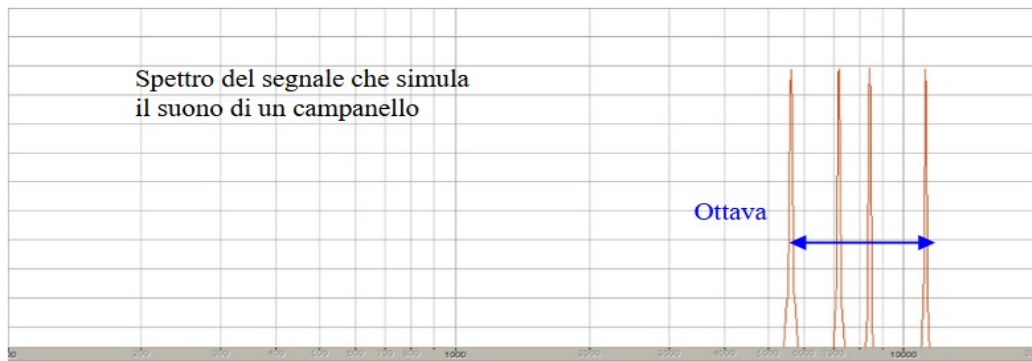
*Img 27*



Suono molto simile a quello del campanello ma con la sola componente a 8 kHz



Suono che simula il campanello (un solo “din”)



Img 28 - 29

Sono mostrati i due diversi andamenti temporali di un segnale di sintesi che simula il suono dei vecchi treni del Far West e un corrispondente tono puro che ne costituisce il suono corrispondente secondo le attuali metodiche che utilizzano i toni puri.

Si vede come l'involuppo temporale dei due segnali risulti assolutamente equivalente.

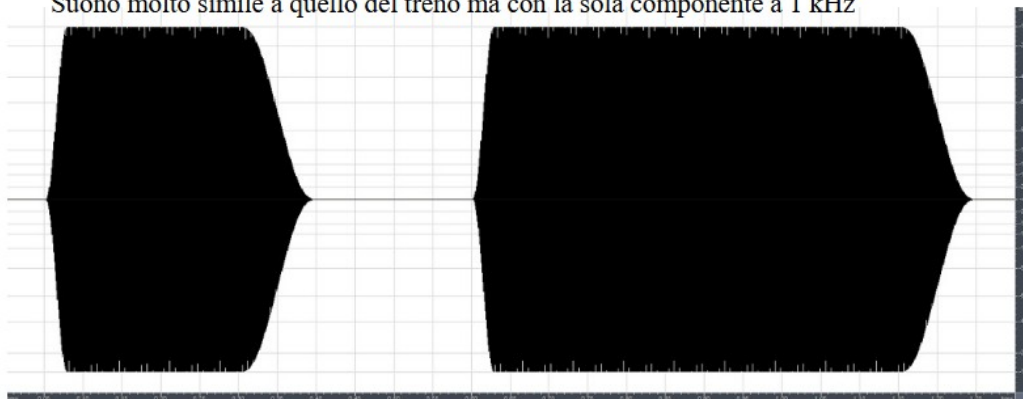
La sequenza delle figure mostra l'evoluzione completa del segnale ( un doppio fischio di treno) per un totale di 1,5 s, l'evoluzione temporale di un solo fischio della durata di 350 ms, la visualizzazione di un tratto temporale della durata di 20 ms, da cui si vede chiaramente come i due segnali, quello di sintesi e il tono puro siano sostanzialmente differenti.

La differenza strutturale dei due segnali viene evidenziata dallo spettro mostrato nelle ultime figure.

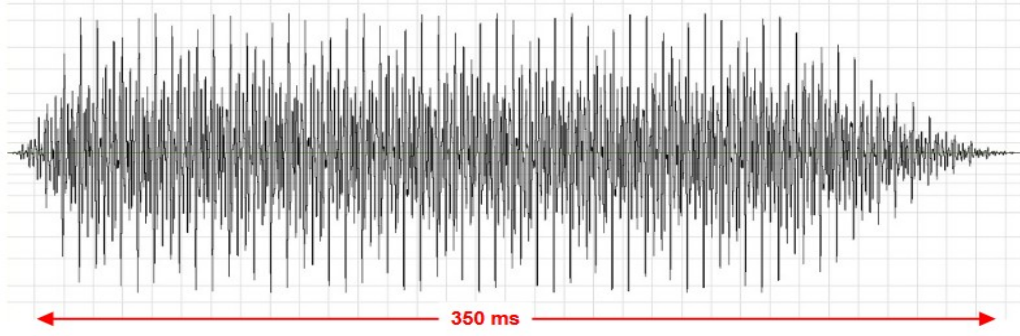
Suono che simula il fischio di un treno



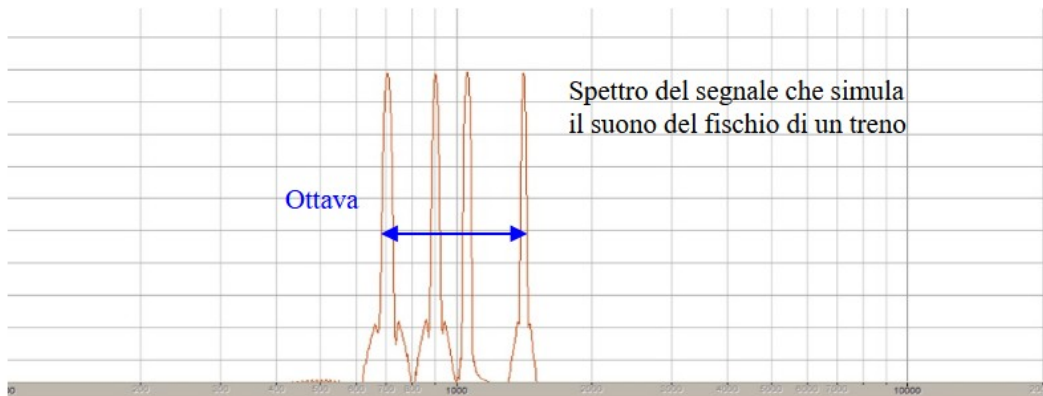
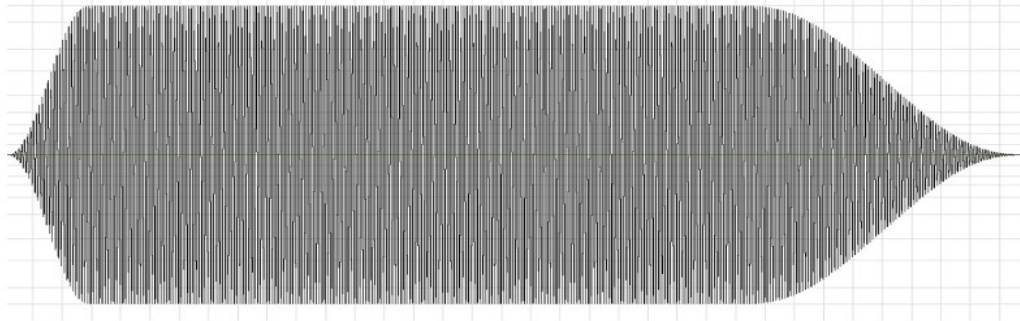
Suono molto simile a quello del treno ma con la sola componente a 1 kHz



Suono che simula il fischio di un treno (primo fischio)



Suono molto simile a quello del treno ma con la sola componente a 1 kHz



Spettro del segnale che simula il suono del fischio di un treno

Ottava



Tono puro

1kHz

Img 30-31-32

## **LA GENERAZIONE DEI SEGNALI COMPOSITI: VALORE EFFICACE EQUIVALENTE**

Viene ora analizzato il metodo con cui vengono generati i segnali compositi e le conseguenti considerazioni necessarie sia per costruire i segnali stessi, sia per determinarne il valore efficace.

Per prima cosa va tenuta presente la necessità di generare segnali numerici che siano correttamente costruiti numericamente e che, nel contempo, siano correttamente generati dalla scheda audio: ciò significa che il valore istantaneo, sia numerico che hardware, non deve assolutamente superare gli 0 dB (intendendo 0 dB il massimo livello prima del clipping).

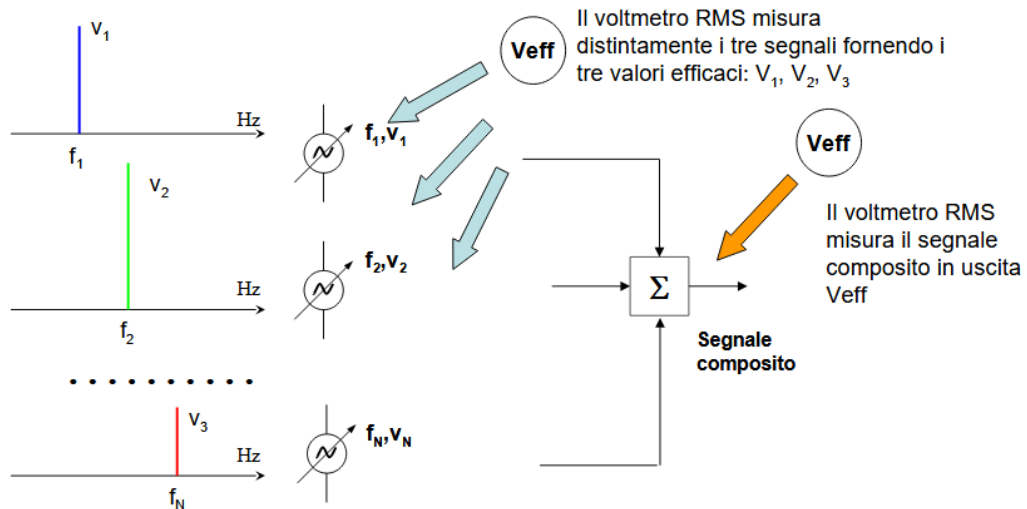
I segnali compositi vengono realizzati sommando tra loro un certo numero di segnali sinusoidali a diversa frequenza, con i valori delle diverse frequenze ripartiti su un range che può arrivare ad una ottava. L'ampiezza del segnale viene associata al suo valore efficace, che risulta chiaramente diversa come rapporto tra valore di picco e valore efficace, a seconda che si tratti di segnale sinusoidale o segnale composito.

Per la generazione di segnali sinusoidali, stazionari o modulati in frequenza (voluti) non vi sono problemi e possono essere numericamente impostati ad un livello di 0 dB.

Per i segnali compositi, ottenuti dalla somma di più segnali sinusoidali, vale ancora la regola che il valore istantaneo non deve mai superare 0 dB.

Ad esempio, se si sommano due segnali sinusoidali della stessa ampiezza, l'ampiezza di ciascuno dei due non deve superare i -6dB. Se i segnali da sommare sono 4, della medesima ampiezza, l'ampiezza di ciascuno dei quattro non deve superare i -12dB. In tal modo, anche nel caso in cui si presentino i valori di picco massimo contemporaneamente, il valore istantaneo del segnale complessivo non supera gli 0 dB. Di seguito sono riportati gli aspetti teorici relativi al valore efficace dei segnali compositi.

## VERIFICA DEL VALORE EFFICACE DI UN SEGNALE COMPOSITO



Img 33

$V_1$  ,  $V_2$  e  $V_N$  rappresentano i valori efficaci (in volt) dei singoli segnali sinusoidali

Una volta effettuate le 4 misure (nel caso di tre segnali formanti) si verifica la correttezza della formula sotto riportata:

$$V_{eff} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_N^2}$$

## SEGNALI COMPOSITI OTTENUTI DALLA SOMMA DI TONI PURI DETERMINAZIONE DEL LIVELLO EQUIVALENTE IN DB

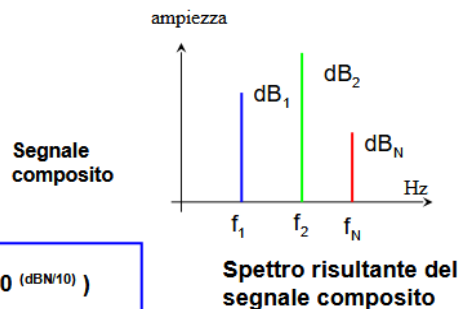
$dB_1$  ,  $dB_2$  e  $dB_N$  rappresentano le intensità in dB dei singoli segnali sinusoidali

Per determinare il livello in dB del segnale composto, dati i livelli delle singole componenti sinusoidali

$$dB \text{ (risultante)} = 10 \cdot \log ( 10^{(dB_1/10)} + 10^{(dB_2/10)} + 10^{(dB_N/10)} )$$



Valore legato all'energia del segnale composto



Img 34

Osservazione: la formula per la determinazione del livello equivalente in dB relativi al livello di 0 dB risulta la stessa per la determinazione del livello di dBVolt.

Nel caso di segnale composito realizzato con 4 componenti sinusoidali, tutte della medesima ampiezza massima consentita, ciascuna componente avrà un'ampiezza di -12 dB riferita alla massima ampiezza (0 dB). Dalle formule descritte in precedenza, il valore efficace del segnale composito così ottenuto avrà un'ampiezza di -6 dB. Occorre, quindi, tenerne conto quando si applica tale segnale al sistema di stimolazione.

Il modo più semplice di rendere equivalenti i segnali compositi e quelli, omologhi, sinusoidali consiste nel applicare un'attenuazione "numerica" di 6 dB al segnale sinusoidale. In tal modo il valore efficace dei due segnali risulta il medesimo e, quindi, assume significato la comparazione percettiva dei due segnali, che contengono la stessa energia (concentrata in un'unica sinusoide o distribuita tra più sinusoidi).

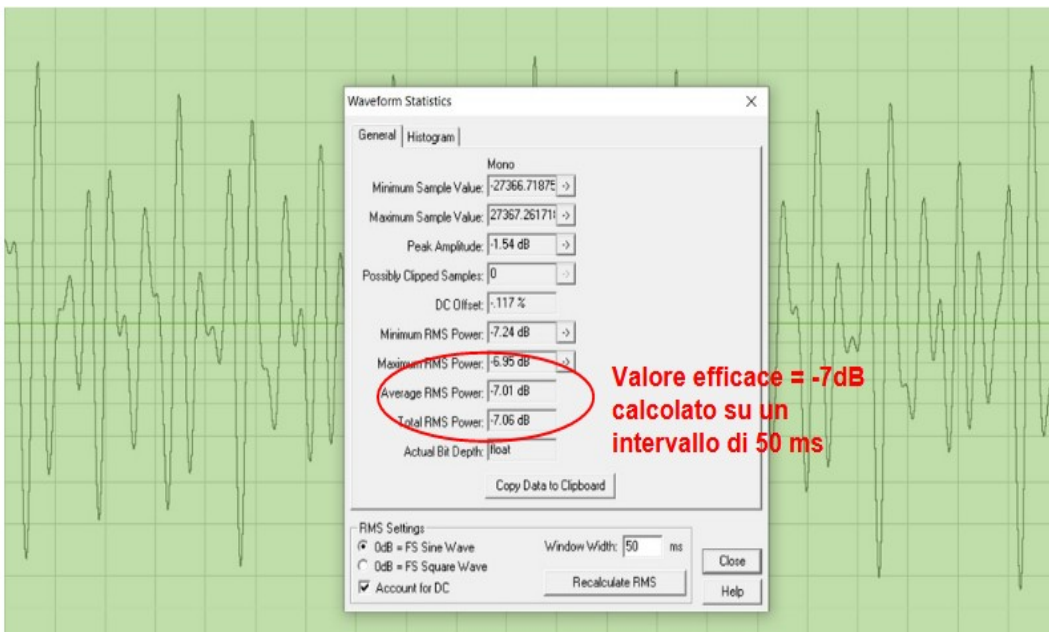
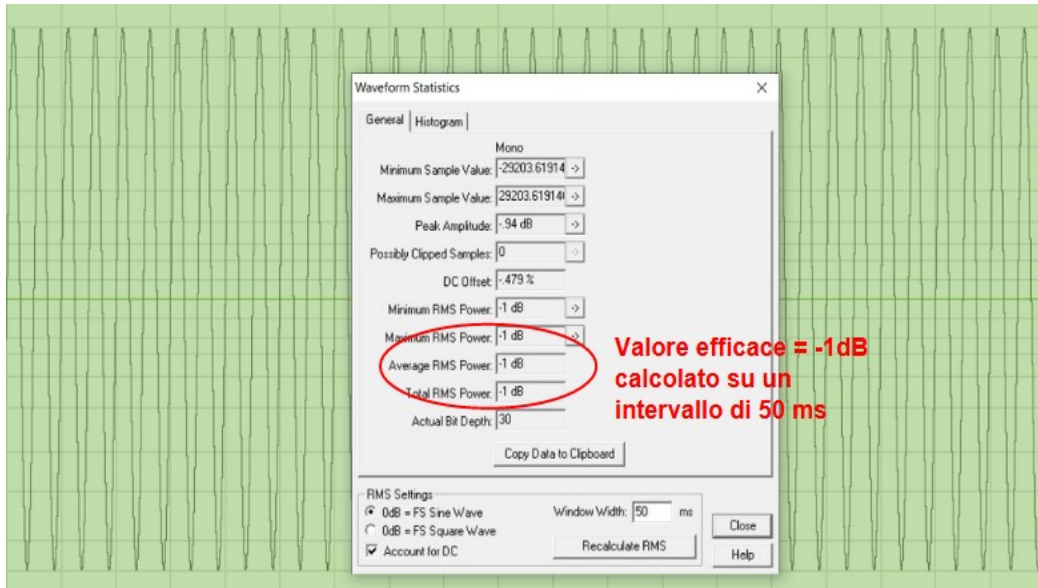
OSSERVAZIONE:

***Il confronto tra segnali omologhi (ad esempio toni puri e segnali compositi) viene fatto prendendo come riferimento il valore efficace di ciascun segnale. In tal modo si imposta una metodica del confronto basata sui valori energetici dei segnali, determinabili in maniera estremamente accurata.***

Di seguito sono riportati due esempi di determinazione del valore efficace, per via numerica. I segnali generati hanno come riferimento max il valore di -1dB, e il segnale composito è ottenuto con la somma di 4 sinusoidi riferite, sempre, al valore max di -1dB. Tali risultati sono avvalorati da misure hardware effettuate con l'amplificatore di riferimento B&K 2636.

Valore efficace di un segnale costituito da un singolo sinusoidale normalizzato a -1dB. Si vede come il valore efficace risulti effettivamente pari a -1dB.





*Img 35-36*

Valore efficace di un segnale composto ottenuto dalla somma di 4 segnali sinusoidali normalizzati a -1dB. Si vede come il valore efficace risulti di 6 dB inferiore al valore efficace di un segnale sinusoidale, sempre normalizzato a -1dB.

## 5) Setup: approfondimenti

Per ottenere dei segnali elettrici e i corrispondenti segnali acustici in maniera estremamente accurata, è necessario disporre di un setup hardware/software che sia assolutamente adeguato allo scopo.

Una delle principali caratteristiche è quella di consentire la generazione di diversi tipi di segnale, senza ricorrere a complicati generatori di funzione arbitraria che, per ottenere le prestazioni necessarie, presenterebbero una elevata complessità di gestione e un costo proibitivi. Per tale motivo è stata scelta la soluzione di creare i segnali per via numerica, mediante un comune PC su cui è installato un software adeguato, collegato ad una scheda audio che funge da convertitore digitale / analogico, seguita da un attenuatore comandabile dall'operatore che esegue il test.

Tale soluzione, anche se concettualmente abbastanza semplice, presenta comunque delle complessità e dei problemi.

Di solito le diverse schede audio, che si interfacciano con PC mediante connessione USB o simile, sono utilizzate per lavorare in ambito "musicale" e non per generare dei segnali perfettamente controllati. La principale causa di una non rigorosa ricostruzione dei segnali è conseguente all'utilizzo di filtri numerici "alquanto pesanti" (molto utilizzati nelle schede di nuova generazione) al contrario dei filtri analogici che, se con una risposta di Bessel, ricostruiscono il segnale in maniera decisamente più idonea al nostro scopo. E' stata individuata una scheda audio che risulta perfetta allo scopo: Tascam UH7000. Tale scheda monta un DAC non di nuovissima generazione (Burr Brown PCM 1795) che richiede un post filtraggio analogico, ma che al suo interno ha implementato un filtro numerico di ordine non elevato, che assicura una risposta dinamica molto buona nei confronti dei segnali relativi al presente studio.

Sono già stati riportati dei grafici comparativi tra le risposte temporali di due diverse schede audio.

Purtroppo tale scheda non viene più prodotta e, a parte quella già in possesso, si può trovare solamente come prodotto usato. Avendo la necessità di avere a

disposizione una scheda di riserva si è cercato di recuperare un'altra scheda dello stesso tipo. A riguardo un sentito ringraziamento va al sig. Lomazzi Edoardo, di Monza, che, sentito l'utilizzo a cui è destinata l'apparecchiatura, ha cortesemente donato la scheda in questione.

Un'altra importante caratteristica di tale scheda è quella di poter essere modificata nella sua sezione di conversione D/A, (a differenze delle schede audio di ultima generazione con un livello di integrazione e compattezza talmente spinti da non poter essere modificate) sostituendo qualche circuito integrato con componenti dalle caratteristiche più performanti e aggiungendo una sezione di filtraggio passa basso con risposta di Bessel del 3° ordine, perfetto come filtro ricostruttore-interpolatore del segnale.

Un ulteriore problema, già individuato a livello teorico, è costituito dall'accuratezza del segnale generato, che deve rimanere sostanzialmente inalterata passando da segnali ad elevata intensità a segnali molto deboli. La cosa potrebbe essere realizzata per via numerica, ma va tenuto presente che una diminuzione del livello di 60 dB, corrisponde ad una riduzione del numero di bit equivalenti pari a 6, con un conseguente aumento dell'errore di quantizzazione. Per tale motivo si è scelto di generare il segnale, tramite il DAC, sempre al massimo livello (che utilizza tutti i bit disponibili), sfruttando quindi il minore errore di quantizzazione possibile, e diminuire l'ampiezza mediante un attenuatore analogico, che consente di ottenere una dinamica del segnale fino a 80 dB, senza penalizzare la qualità del segnale stesso, con salti grossi di 10 dB e salti fini di 1 dB. Tale attenuatore viene controllato manualmente dall'operatore che esegue il test.

Dovendo determinare la soglia percettiva di ciascun soggetto, nei confronti dei diversi suoni, si lavora, ragionevolmente, a livelli molto bassi, quindi risulta necessario creare una stimolazione in HL, per compensare la differente sensibilità fisiologica al variare della frequenza. E' stato appositamente realizzato un apparato hardware che, in tempo reale e in maniera completamente analogica, trasforma un qualsiasi segnale audio da SPL a HL, indipendentemente che si tratti

di un tono puro o un segnale composito, per frequenze tra 64 Hz e 16 kHz, con uno scostamento massimo rispetto alla curva di ponderazione teorica di 0,5 dB. L'utilizzo di un tale apparato consente di "costruire" tutti i segnali normalizzati come fossero SPL e "trovarli pronti" per essere trasformati nei corrispondenti segnali HL.

Dato che la ponderazione HL introduce un'amplificazione di circa 10 dB alla frequenza di 125 Hz, rispetto alla frequenza centrale di 1 kHz, e la scheda audio utilizzata fornisce un segnale in uscita di circa 10 V picco, risulta necessario interporre tra la scheda audio e la rete di ponderazione HL, un attenuatore (passivo) di 10 / 15 dB . Ciò per evitare la saturazione degli stadi di ingresso dell'attenuatore, in grado di gestire segnali con un'ampiezza massima di 11-12 V picco.

Equalizzatore grafico / parametrico. L'utilizzazione dell'equalizzatore grafico /parametrico risulta opzionale in quanto la risposta in frequenza della cuffia utilizzata Beyerdynamic DT880 PRO risulta essere sicuramente adeguata alle esigenze. Essendo il metodo di "comparazione" se un tono puro viene riprodotto non con una perfetta intensità, a causa di un lieve errore della risposta in frequenza della cuffia, il corrispondente segnale composito che occupa uno spettro a cavallo del tono puro sarà soggetto allo stesso errore. Proprio grazie al metodo di comparazione questi errori si compensano.

Tutta questa struttura ha lo scopo di generare dei segnali acustici estremamente accurati come intensità, contenuto frequenziale e involuppo temporale. Viene superata la semplice situazione che consiste nel generare dei segnali elettrici specifici e confidare sul fatto che l'intera catena elettroacustica trasferisca nei segnali acustici le medesime caratteristiche dei segnali elettrici, ma si passa ad una situazione in cui la coerenza dei segnali acustici generati viene verificata strumentalmente , mediante oscilloscopio, analizzatore di spettro e amplificatore di misura audiometrico.

*Dovendo ricercare la soglia uditiva per i diversi tipi di suono, può essere accettabile un errore max di +/- 1dB, altrimenti la comparazione verrebbe a perdere di significato.* Ogni tipologia di segnale generato, viene accuratamente misurato nel dominio del tempo, nel dominio della frequenza e ne viene valutata l'energia come valore efficace. La misura viene effettuata ad una intensità compresa tra 60 e 80 dB. Le intensità più basse sono assicurate dall'attenuatore attivo, che garantisce una accuratezza migliore di 1 dB, in un range di 60 dB.

## **6) Test su soggetti**

I test di comparazione dei segnali vengono effettuati da un operatore che agisce su due apparati:

Mediante un'applicazione su PC (in una prima versione del test, su Power Point), si seleziona il tipo di suono e la frequenza (se tono puro) o il range di frequenza (se segnale composito).

Mediante comando manuale, agendo su 18 selettori (nove per salti di 1 dB e nove per salti da 10 dB), si imposta l'intensità del segnale, eventualmente indirizzando il suono separatamente su ciascun orecchio oppure contemporaneamente su entrambi.

Interagendo direttamente col soggetto che partecipa al test, l'operatore individua, per ciascun suono, l'intensità minima percepita dal soggetto. Una volta individuata l'intensità corrispondente alla minima percezione, l'operatore annota su un grafico il risultato.

In questa prima fase del lavoro, la scelta del livello di intensità del segnale avviene manualmente, e così pure la notazione del risultato. In sviluppi futuri, nulla vieta di realizzare il test in maniera quasi completamente automatica, in quanto l'attenuatore attivo può essere controllato da 16 segnali digitali, 4 per la selezione dell'attenuazione in codice BCD e 8 per il controllo delle altre funzioni svolte dall'attenuatore stesso. In tal caso serve una interfaccia hardware, collegata al PC con cui vengono selezionati i suoni, che generi i 16 bit paralleli necessari al controllo dell'attenuatore. Anche l'applicazione residente nel PC avrà una

funzione aggiunta, che consiste nel selezionare anche l'intensità oltre al tipo di suono. Il PC, su comando di conferma da parte dell'operatore, potrebbe anche generare, in maniera automatica, il report dei risultati del test.

#### OSSERVAZIONI SULL'ACCURATEZZA OTTENIBILE

L'accuratezza del test viene garantita sotto due punti di vista:

Il primo è quello relativo alla elevata qualità delle apparecchiature usate, sia come generazione dei segnali, sia come analisi strumentale delle loro caratteristiche, sia elettriche che acustiche.

Il secondo è conseguente al fatto che l'aspetto fondamentale dello studio sta nel confrontare l'effetto percettivo di diversi tipi di suono, nei confronti di un soggetto, utilizzando le medesime apparecchiature per tutti i tipi di suono e completando il test per ogni singolo soggetto, rimanendo sempre nelle medesime condizioni ambientali. Con questa tecnica del confronto si vanno ad eliminare gli errori assoluti legati ad una non perfetta risposta in frequenza del sistema di stimolazione. Ad esempio, se vi è una non perfetta risposta in frequenza attorno a 1 kHz, lo stesso errore si avrà sia per i toni puri che per i segnali composti. Dato che interessa la differenza tra le intensità dei segnali cosiddetti "a soglia", l'errore costante, nell'operazione di differenza, si elide.

Dato che durante l'esecuzione del test si va alla ricerca della soglia minima percettiva, un aspetto molto importante da prendere in considerazione è il rumore di fondo dell'ambiente, che deve risultare il più ridotto possibile, anche perché la cuffia utilizzata, essendo del tipo "OPEN", introduce un'attenuazione minima del rumore ambientale.

## **ASPETTO CRUCIALE DEL SEGNALE DI SINTESI**

I segnali di sintesi sono segnali audio composti, ottenuti con metodi di sintesi con spettro e durata limitati, specifici per misurazioni in audiologia pediatrica, per adulti o per testare apparati elettroacustici.

I segnali generati sono associabili a semplici oggetti, immagini, o concetti univocamente determinabili anche da parte di un bambino.

Pur trattandosi di suoni sintetizzati, le loro caratteristiche sonore sono tali da poter essere immediatamente associabili, anche da parte di un bambino in età prescolare, a oggetti / concetti ben noti al bambino stesso. Ciò è dovuto al fatto che i suoni generati possono assomigliare in modo assai evidente a suoni reali. Con un'accurata scelta dei suoni di sintesi e la corrispondente associazione con un oggetto / concetto, l'individuazione del significato del suono da parte del bambino, risulta spesso immediata e non necessita nemmeno di un addestramento preliminare.

I segnali generati mediante sintesi coprono, ciascuno, una fetta frequenziale rigorosamente limitata, con una larghezza che può spaziare da una frazione di ottava ad alcune ottave. La possibilità di effettuare una traslazione delle diverse componenti formanti sull'asse delle frequenze, consente di modificare i parametri acustici di un suono, ma mantenendo il medesimo concetto associato al suono.

Si possono testare i parametri uditivi del soggetto in diversi campi frequenziali, ma presentandosi come un suono associabile ad un unico oggetto/concetto. In tal modo il numero dei suoni diversi tra loro, associabili a concetti diversi, risulta estremamente ridotto, con una conseguente semplificazione della eventuale parte introduttiva del test (addestramento a riconoscere i vari suoni e associazione a oggetti / concetti corrispondenti). Con la tecnica della diversa allocazione nello spettro di uno medesimo tipo di segnale, cioè di più componenti sinusoidali che mantengono costante il rapporto tra le frequenze delle formanti, si ottiene un risultato molto interessante: sono sufficienti poche tipologie di segnale (con pochi oggetti / concetti corrispondenti) per coprire tutto lo spettro di interesse, con la

conseguenza di una notevole semplicità di riconoscimento degli oggetti associati ai diversi suoni da parte dei soggetti molto giovani.

## **I SEGNALI DI SINTESI: RIASSUNTO DEGLI ASPETTI FONDAMENTALI** (*cosa SONO i suoni di sintesi*)

Segnali ottenuti con metodi esclusivamente di sintesi.

Segnali assolutamente controllabili e ripetibili.

Segnali dal contenuto spettrale ben delimitato e appartenente ad una zona dello spettro audio dalla estensione determinabile a priori.

Segnali immediatamente associabili a oggetti / concetti anche da bambini piccoli (già da tre – quattro anni di età).

Segnali che, pur rappresentanti un medesimo oggetto / concetto, possono occupare parti diverse dello spettro audio.

Segnali che possono essere “sagomati” in frequenza a seconda delle esigenze diagnostiche.

Segnali che consentono di ottenere una elevatissima dinamica come intensità, potendo raggiungere anche 80 – 90 dB (unici vincoli costituiti dal rumore ambientale, dal rapporto segnale / rumore e dalla potenza dell'impianto elettroacustico utilizzato per la generazione dei suoni).

Segnali che possono essere facilmente realizzati con una intensità controllata in SPL oppure in HL.

Segnali che consentono di verificare “cosa” il bambino ha sentito e non solamente “se ha sentito”.

Segnali che possono essere somministrati contemporaneamente da due o più sorgenti, dove da ciascuna sorgente esce un segnale diverso, sia come contenuto spettrale che come intensità.



## **I SEGNALI DI SINTESI: RIASSUNTO DEGLI ASPETTI FONDAMENTALI (*cosa NON sono i suoni di sintesi*)**

Segnali reali modificati con operazioni di filtraggio.

Segnali ricavati direttamente percuotendo oggetti reali o registrando suoni e/o rumori prodotti da oggetti in particolari situazioni.

Segnali ottenuti come sintesi dei suoni di Ling.

Segnali di sintesi ottenuti sommando tra loro segnali reali, eventualmente elaborati.

Segnali che provengono da fonemi prodotti da un operatore umano.

Segnali presenti in natura, senza necessità di manipolazione del contenuto armonico.

Segnali ottenuti vocalmente.

Risultato di registrazioni effettuate di suoni reali.

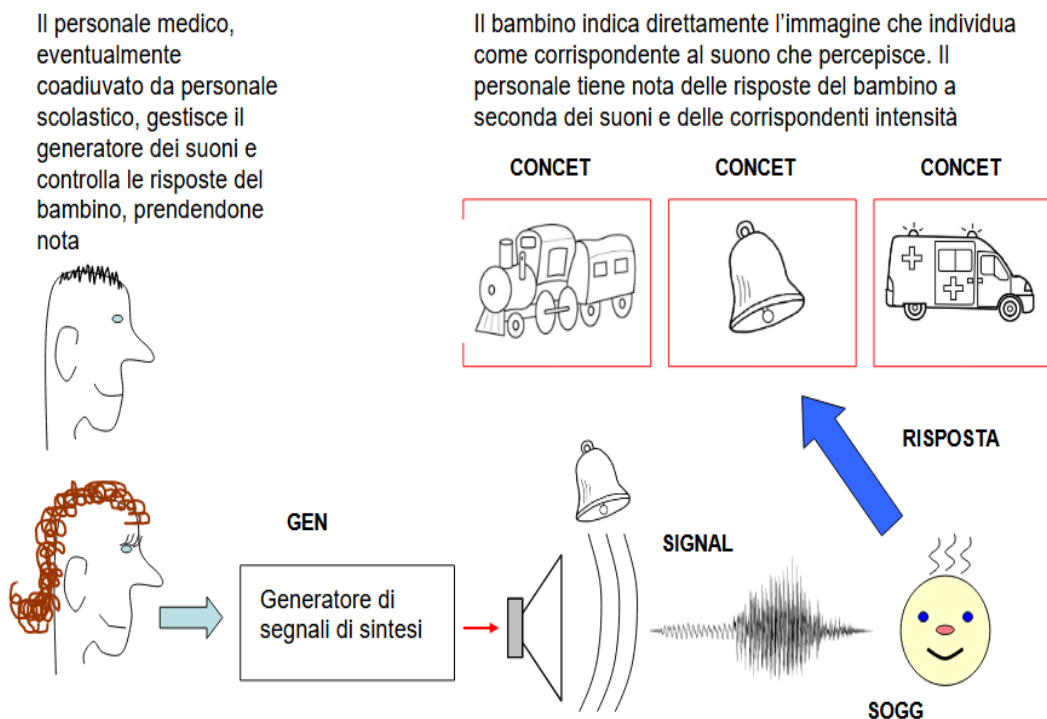
## **CARATTERISTICHE GENERALI DEI SUONI DI SINTESI**

- Assoluta ripetitività;
- Spettro totalmente controllato distribuito su un range frequenziale limitato a piacere, con la possibilità di allocarlo, con componenti frequenziali anche oltre lo spettro del parlato;
- Esclusione di varianti legate all'eventuale soggetto che pronuncia il suono, in quanto il suono non è prodotto da un soggetto;
- Accurato controllo sull'intensità;
- Struttura del segnale assolutamente controllata (spettro, involuppo temporale, ampiezza, ...);
- Possibilità di passare semplicemente da una stimolazione SPL a stimolazione HL;
- Possibilità di applicare due o più segnali contemporaneamente, anche a intensità differenti.

I punti elencati si possono riassumere nel concetto di “**completa conoscenza ed adeguatezza del segnale generato per utilizzo in test acustici**”.

L'idea dei segnali di sintesi nasce già nel 2007-2008, con una tesi di laurea in tecniche audio protesiche, dal titolo: **“Generazione ed analisi di segnali elettrici per test elettroacustici”** sviluppata in collaborazione con Rossella Miceli , con relatore Antonio Selmo, in cui venivano gettate alcune basi per la generazione di segnali elettrici di sintesi, nello spettro acustico. Un aspetto interessante stava nella descrizione del metodo di generazione, che poteva essere ottenuta con apparecchiature hardware, con metodi numerici o con metodi misti combinando generazione di tipo numerico con apparati hardware.

### MODALITÀ ESECUTIVA DEI TEST CON SEGNALI DI SINTESI



Img 37

## 7) Conclusioni

Il motivo fondamentale per cui è stato sviluppato il presente studio è quello di avvalorare i segnali di sintesi come metodica innovativa per test audiometrici nei bambini in età prescolare.

In effetti, pur essendo già stato avvalorato da una buona partecipazione di diversi gruppi di bambini, mediante dei test non volti ad una effettiva valutazione clinica, ma solo per verificarne la partecipazione, tale metodo ha però la necessità di essere validato clinicamente comparando i risultati ottenuti con i suoni di sintesi e con i toni puri.

Dato che l'audiometria con i toni puri va alla ricerca della soglia percettiva, anche la corrispondente con suoni di sintesi è impostata allo stesso identico modo.

Risulta quindi fondamentale determinare i livelli percettivi per i toni puri a diversa frequenza e i segnali composti di sintesi con le componenti formanti posizionati frequenzialmente a cavallo della frequenza del tono puro.

Determinare la corrispondenza o una ben determinata e statisticamente costante differenza, significa poter usare questa nuova metodica in ambito clinico.

Il risultato sperato, utilizzando i segnali di sintesi è quello di realizzare dei test audiometrici che consentano di ottenere diagnostiche più affidabili in un range di frequenza più esteso.

Avendo previsto di poter generare anche segnali particolari, come i click usati in ABR, si punta a realizzare una vera tabella comparativa tra l'effetto percettivo di un tono puro di una certa durata e di un treno di click della medesima durata.

## **8) Sviluppi nell'immediato futuro**

Utilizzando il setup descritto in tale lavoro saranno effettuati dei test percettivi su un numero statisticamente significativo di soggetti normoudenti e consapevoli del lavoro svolto come studenti e docenti del corso di audioprotesi e audiometria, nonché personale tecnico e medico.

## **9) Bibliografia**

Materiale didattico riferito al corso di studi di Audioprotesi all'Università di Padova.

Dispense di misure elettroniche.

Brevetto numero 102018000004636, classifica G10K data di deposito 18/04/2018.