

1222 · 2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

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

## TESI DI LAUREA

### **INDIVIDUAZIONE E SINTESI DI SEGNALI AUDIO LIMITATI NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA, UNIVOCAMENTE ASSOCIABILI A OGGETTI, SITUAZIONI O CONCETTI ACCESSIBILI ANCHE A SOGGETTI IN ETÀ PRESCOLARE, AL FINE DI OTTIMIZZARE LE METODICHE DI VALUTAZIONE AUDIOMETRICA INFANTILE**

Relatore:

Ing. Antonio Franco Selmo

Correlatrice:

Ing. Flavia Gheller

Laureanda:  
Valentina Zambetta

ANNO ACCADEMICO  
2021 - 2022



1222 · 2022  
**800**  
ANNI



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

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

## TESI DI LAUREA

### **INDIVIDUAZIONE E SINTESI DI SEGNALI AUDIO LIMITATI NEL DOMINIO DEL TEMPO E DELLA FREQUENZA, UNIVOCAMENTE ASSOCIABILI A OGGETTI, SITUAZIONI O CONCETTI ACCESSIBILI ANCHE A SOGGETTI IN ETÀ PRESCOLARE, AL FINE DI OTTIMIZZARE LE METODICHE DI VALUTAZIONE AUDIOMETRICA INFANTILE**

Relatore:  
Ing. Antonio Franco Selmo

Correlatrice:  
Ing. Flavia Gheller

Laureanda:  
Valentina Zambetta

ANNO ACCADEMICO  
2021 - 2022



## RIASSUNTO

Il progetto consiste nella creazione, tramite metodi di sintesi, di segnali audio limitati nella durata e nello spettro, tali da essere univocamente associabili a specifici oggetti, situazioni o concetti anche da bambini in età prescolare, al fine di ottenere delle misurazioni audiometriche più complete e accurate rispetto alle attuali., soprattutto grazie ad una maggiore partecipazione al test da parte dei soggetti molto giovani, di solito non molto collaborativi. Lo studio nasce da due principali esigenze:

Ottimizzare le misure audiometriche in età infantile, specie relative ai bambini in età prescolare, permettendo l'associazione dei suoni diagnostici ad elementi della loro vita quotidiana per mantenere il loro livello di concentrazione vivo per un periodo di tempo più prolungato rispetto ai tempo di solito ottenibili con le metodiche attuali, consentendo così ai tecnici di ottenere un risultato audiometrico più completo e accurato

Estendere il range frequenziale della misurazione diagnostica includendo i campi frequenziali sotto i 125 Hz e sopra gli 8 kHz che fanno parte del range frequenziale del bambino, ma non vengono attualmente inclusi nel comune protocollo di valutazione, tralasciando così una grande fetta della potenziale esperienza uditiva del bambino.

Al momento il progetto è già brevettato (N. 102018000004636), ed è stato testato, sia su soggetti singoli che su gruppi di bambini, per il momento solo in modalità qualitativa per verificare l'effettiva attenzione dei soggetti molto giovani, ottenuto dei risultati positivi, anche se con una gamma limitata di suoni disponibili (treno, campanellino, grillo...). Ora si punta ad una fase di rifinizione ed ampliamento del progetto tramite aggiunta di nuovi suoni per renderlo una metodica più completa. A questo proposito sono in ballo delle collaborazioni con dei docenti di scuole materne e/o primarie, i quali ci aiuteranno nel comprendere a pieno il tipo di ambienti frequentati dai bambini in modo tale da poter accuratamente scegliere i suoni da sintetizzare, garantendo che rispecchino, il più possibile, le premesse del

progetto. Dopo l'individuazione di un campione di suoni si procede alla fase di sintesi in laboratorio, dove il gruppo di lavoro, al termine, verificherà l'idoneità dei segnali ottenuti prima di proporli al campione di lavoro. Quando i suoni risultati idonei sono stati selezionati, si procede alla somministrazione di essi al campione di lavoro, ovvero dei bambini in età prescolare indipendentemente dalle loro capacità uditive sia individualmente che in gruppi. In questa fase si verificherà che i segnali siano correttamente associati ai concetti designati: un bambino normoacusico dovrebbe idealmente essere in grado di associare suono-concetto in maniera molto semplice, mentre un bambino con ipoacusia dovrebbe avere delle difficoltà con alcune delle associazioni, per questo è importante verificare che tutte le associazioni "suono-corrispondente rappresentazione grafica" siano univoche ed intuitive. Al termine di questa fase quindi verranno scartati o rielaborati i suoni che non sono stati correttamente associati da una buona fetta del campione di lavoro. Quelli rielaborati verranno riproposti successivamente per un'ulteriore verifica.

Al termine dovremmo ottenere nuovi segnali che possono incrementare la copertura frequenziale dei segnali già esistenti, mantenendo quella attiva partecipazione al test, da parte dei soggetti in età prescolare, fondamentale, quest'ultima, per una esecuzione del test audiometrico che fornisca risultati veramente affidabili, e garantendo, inoltre, una perfetta ripetibilità delle misurazioni.

# INDICE

<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>1. TECNICHE ATTUALI DEI SEGNALI UTILIZZATI PER TEST AUDIOLOGICI .....</b>	<b>3</b>
1.1. I fonemi vocali e i segnali acustici in genere come punto di partenza per impostare possibili segnali di test.....	3
1.2. Il suono nel mondo dei bambini: confronto rispetto ai fonemi.....	4
1.3. Toni puri stazionari usati come segnali di test.....	5
1.4. Toni puri modulati usati come segnali di test.....	6
1.5. Rumori a banda stretta usati come segnali di test .....	7
1.6. Suoni ambientali usati come segnali di test .....	8
1.7. Suoni vocali usati come segnali di test .....	9
1.8. Suoni di Ling (suoni vocali) usati come segnali di test .....	10
1.9. Suoni di Ling: analisi frequenziale .....	12
1.10. Suoni di Ling: associazione suono-immagine/concetto.....	14
<b>2. I SEGNALI DI SINTESI: CARATTERISTICHE E SCOPI DEL PROGETTO .....</b>	<b>15</b>
2.1. Aspetti fondamentali dei suoni di sintesi .....	15
2.2. Caratteristiche generali dei suoni di sintesi.....	16
2.3. Caratteristiche in frequenza e ampiezza dei suoni di sintesi per la verifica della percezione nello spettro vocale .....	16
2.4. Caratteristiche di un messaggio musicale – differenze rispetto ad un messaggio vocale.....	17
2.5. Caratteristiche frequenziali dei segnali di sintesi per la verifica della percezione nello spettro musicale .....	18
2.6. Caratteristiche temporali dei segnali di sintesi .....	19
2.7. Caratteristiche relative alla percezione da parte dei soggetti – associazione suono-oggetto .....	20
<b>3. I SEGNALI DI SINTESI: CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI ED ESEMPI.....</b>	<b>25</b>
3.1. Funzionamento generale del processo di sintesi .....	25
3.2. Segnale composito stazionario non modulato (senza rumore).....	26
3.3. Segnale composito modulato in AM (senza rumore).....	27
3.4. Associazione segnale-concetto/oggetto.....	28
3.5. Associazione segnale-spettro frequenziale.....	29

3.6. Associazione suono-spettro-concetto .....	30
3.7. Esempio di suono di sintesi: campanello (con tabella) .....	31
3.8. Esempio di suono di sintesi: trenino (con tabella) .....	32
3.9. Esempio di suono di sintesi: melodia (con tabella).....	33
3.10. Traslazione in frequenza dei segnali con mantenimento del rapporto di associazione .....	33
<b>4. METODO DI ESECUZIONE DEL TEST CON I SUONI DI SINTESI E CRITERI DI SCELTA DEI CONCETTI DA RAPPRESENTARE.....</b>	<b>37</b>
4.1. Criteri e modalità di scelta dei concetti - prima fase: raccolta dei suoni potenzialmente riconoscibili.....	37
4.2. Criteri e modalità di scelta dei concetti – seconda fase: verifica delle condizioni di sinterizzazione .....	38
4.3. Criteri e modalità di scelta dei concetti – terza fase: ascolto dei suoni da parte del gruppo di lavoro.....	40
4.4. Criteri e modalità di scelta dei concetti – quarta fase: ascolto dei suoni da parte di un gruppo di bambini normoacusici .....	41
4.5. Esecuzione del test con l'utilizzo dei segnali di sintesi.....	42
<b>5. TABELLE COSTRUTTIVE DEI SUONI SINTETIZZATI.....</b>	<b>45</b>
5.1. Campanello (4kHz – 6kHz).....	45
5.2. Trenino (1kHz – 800Hz) .....	48
5.3. Motivo musicale.....	52
5.4. Sirena.....	54
5.5. Grillo.....	56
5.6. “Toc Toc” della porta .....	58
5.7. Legnetti .....	60
5.8. Grancassa.....	62
5.9. Spruzzino .....	64
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAFIA E STRUMENTAZIONI.....</b>	<b>71</b>
<b>RINGRAZIAMENTI.....</b>	<b>73</b>

# INTRODUZIONE

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 ELETTROACUSTICI. 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*

Il progetto di cui si parla in questa tesi è basato sul preesistente brevetto depositato nel 2018 dall'Ing. Selmo e si pone come obiettivo di ampliare e migliorare il metodo di applicazione dell'oggetto del brevetto e la gamma di strumenti utili ad attuarlo.

Questo ha posto le basi del nostro lavoro, durante il quale abbiamo aggiunto nuovi suoni di sintesi associabili a degli oggetti/concetti seppur ben delimitati nel dominio del tempo e della frequenza al fine di ottenere delle misurazioni tecniche precise e accurate ottenendo al tempo stesso la collaborazione dei pazienti target, ovvero i bambini in età prescolare.

Nell'elaborato si parlerà della situazione diagnostica audiometrica infantile attuale, con i suoi punti di forza e punti di debolezza e di come i segnali di sintesi possono essere il mezzo ottimale per ottenere un significativo miglioramento riguardo ai punti di debolezza introducendo tutte quelle migliorie che consentono di svolgere l'attività diagnostica con maggiore affidabilità.

# Capitolo 1

## TECNICHE ATTUALI DEI SEGNALI UTILIZZATI PER TEST AUDIOLOGICI

### 1.1 I FONEMI VOCALI E I SEGNALI ACUSTICI IN GENERE COME PUNTO DI PARTENZA PER IMPOSTARE POSSIBILI SEGNALI DI TEST

Un possibile punto di partenza per individuare e analizzare le caratteristiche fondamentali che devono possedere i nuovi segnali di sintesi è costituito dai fonemi, i quali contengono, nel loro insieme, le componenti frequenziali significative e indispensabili per una corretta trasmissione e percezione del **solo linguaggio verbale**. L'involuppo temporale, diverso da fonema a fonema, presenta una dinamica di ampiezza attorno ai 40-50 dB.

In primo luogo, è stata analizzata una serie di fonemi (registrati in alta qualità audio) con il fine di individuarne lo spettro significativo e l'andamento temporale annesso. Da questa prima analisi è emerso che lo spettro utile di un fonema, per una sua agevole e corretta interpretazione, non solo semantica ma anche percettiva acustica, oltre che per una sua produzione con apparati elettroacustici, va da 100 Hz a 10 kHz. Tale spettro può essere considerato una sorta di sottoinsieme dello spettro acustico udibile complessivo. Si ottiene una sufficiente informazione anche con una estensione frequenziale tra 125 Hz e 8 kHz, purché la risposta frequenziale, del dispositivo elettroacustico usato per la generazione del segnale acustico, in tale range risulti compresa tra -3 dB e +3 dB.

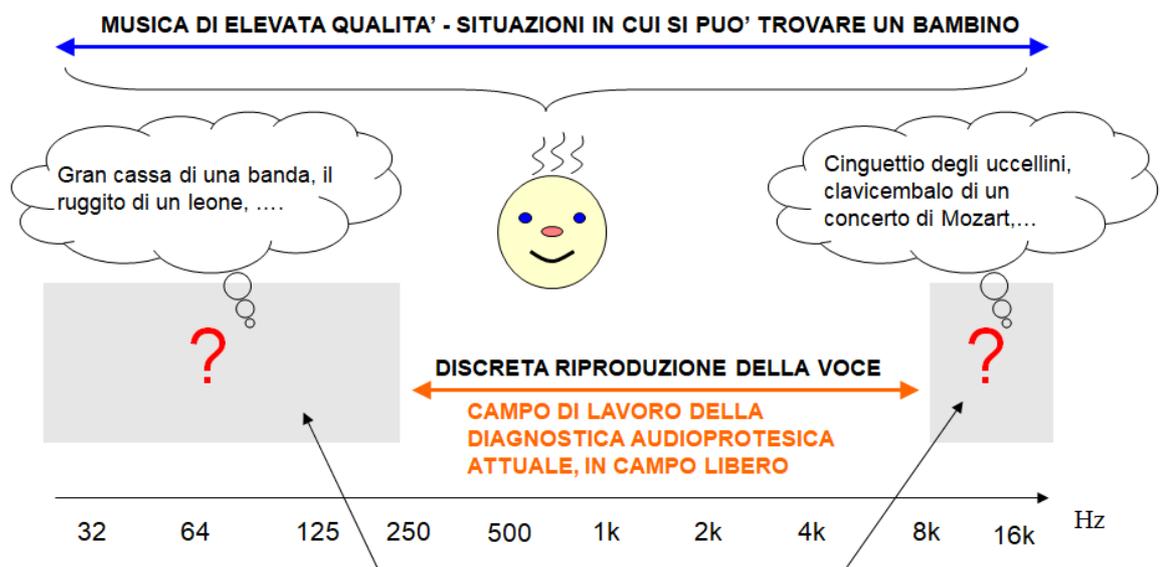
## 1.2 IL SUONO NEL MONDO DEI BAMBINI: CONFRONTO RISPETTO AI FONEMI

Si prenda in considerazione l'insieme di suoni presenti negli ambienti in cui vivono i bambini: famiglia, scuola, luoghi di svago o vacanza, situazioni all'aperto, ecc. Tali suoni, da un punto di vista frequenziale, coprono uno spettro più ampio rispetto allo spettro coperto dai soli fonemi (sia maschili che femminili), presentando anche valori che vanno da 60 – 80 Hz fino ad arrivare a 12 – 14 kHz. Inoltre, la dinamica di ampiezza può arrivare ai 70 – 80 dB. Una **tale estensione frequenziale**, unita ad una dinamica tanto elevata, **non** risulta sicuramente **ottenibile** con suoni generati **con la voce umana**.

Tali considerazioni hanno spinto a sviluppare il trovato, che consente, tra le altre caratteristiche, di superare i limiti frequenziali e dinamici della voce umana.

Effettuare una diagnostica uditiva con un range frequenziale e una dinamica maggiori rispetto ad un segnale acustico corrispondente ad un fonema, prodotto mediante la voce umana, consente di ottenere risultati significativamente più validi, sia come accuratezza delle misure che come più ampia diversificazione delle misure stesse.

Una **diagnosi più accurata**, rispetto alle frequenze del solo parlato, consente di mettere a punto (almeno da un punto di vista di principio) **apparati correttivi ottimali**, con un funzionamento che copre gran parte dei **segnali acustici percepibili da un bambino**. In tal modo si stimola uno **sviluppo cognitivo e cerebrale** del bambino **migliore** rispetto al caso di utilizzo di apparati correttivi con un range di funzionamento frequenziale e dinamico **limitati nello spettro** del solo parlato.



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

**Figura 1: Percezione uditiva di un bambino - diagnostica attuale**

La fig. 1 mostra l'attuale campo di lavoro della diagnostica audioprotesica in campo libero, che va da 250 Hz a 8k Hz, comparata alle reali capacità uditive del bambino, che comprendono frequenza sia inferiori che superiori a quelle indicate, che all'attuale non vengono considerate dai classici test audiometrici, quindi non vengono valutate le capacità uditive del soggetto in quelle frequenze.

### **1.3 TONI PURI STAZIONARI USATI COME SEGNALI DI TEST**

Per i toni puri vanno tenute presenti alcune fondamentali questioni, sia a favore che contro tali tipi di segnale per l'utilizzo in audiologia pediatrica

#### **Vantaggi**

- Notevole semplicità nella realizzazione (sia hardware che numerica)

- Estrema accuratezza ottenibile sia come intensità che come frequenza durante il test
- Relativa semplicità della calibrazione dell'apparecchiatura usata
- Assoluta ripetitività
- Notevole dinamica ottenibile

### **Svantaggi**

- Assenza di una qualsiasi associazione logica tra suono e oggetto, immagine e/o concetto
- Limitata partecipazione attiva del soggetto in giovane età, a causa di una monotonia del test
- Necessità di un numero elevato di segnali a frequenza diversa, ma tutti dello stesso tipo (sinusoidale), per realizzare un test significativo

## **1.4 TONI PURI MODULATI USATI COME SEGNALI DI TEST**

Si tratta, sostanzialmente, di toni puri modulati in frequenza, in modo da coprire una determinata "fetta frequenziale" dipendente dalla profondità di modulazione e dalla frequenza di centro banda.

Anche per tali segnali vanno tenute presenti alcune fondamentali questioni, sia a favore che contro tali tipi di segnale per l'utilizzo in audiologia pediatrica

### **Vantaggi**

- Discreta semplicità nella realizzazione (sia hardware che numerica)
- Accuratezza ottenibile sia come intensità che come frequenza durante il test

- Relativa semplicità della calibrazione dell'apparecchiatura usata
- Assoluta ripetitività
- Notevole dinamica ottenibile

### **Svantaggi**

- Assenza di una qualsiasi associazione logica tra suono e oggetto, immagine e/o concetto
- Limitata partecipazione attiva del soggetto in giovane età, a causa di una monotonia del test
- Necessità di un numero elevato di segnali con frequenza centrale diversa, a meno di non realizzare delle modulazioni in frequenza con estensione di un ottava o circa.

## **1.5 RUMORI A BANDA STRETTA USATI COME SEGNALI DI TEST**

I rumori a banda stretta possono essere un'alternativa ai toni puri o modulati per il riconoscimento del segnale in certi individui o per certe frequenze sempre da un punto di vista soggettivo, ma anch'essi hanno delle caratteristiche molto simili ai toni puri e modulati sia a favore che contro il loro utilizzo nell'audiologia pediatrica: assolutamente consoni da un punto di vista misuristico ma molto limitati per il coinvolgimento e la collaborazione dei soggetti testati.

## **1.6 SUONI AMBIENTALI USATI COME SEGNALI DI TEST**

Per i suoni prodotti in natura o in ambiente residenziale e/o produttivo vanno tenute presenti alcune fondamentali questioni, che non vanno certamente a favore dell'utilizzo di tali suoni come segnali di test:

### **Vantaggi**

- Notevole semplicità per ottenerli (è sufficiente registrarli, purché con una qualità adeguata)

### **Svantaggi**

- Evidente non ripetitività.
- Spettro non del tutto controllato e spesso troppo esteso per un singolo suono.
- Differenze spettrali spesso significative anche per suoni che sembrano simili.
- Differenze spettrali anche per eventi / situazioni uguali ma in contesti diversi.
- Difficile identificazione di un suono considerabile come riferimento.
- Dinamica dell'ampiezza fortemente variabile.

Utilizzare tali suoni per test audiologici, anche se registrati con apparati di elevata qualità, non consente di ottenere risultati significativi ed affidabili, proprio a causa della notevole estensione frequenziale e della dinamica fortemente variabile e poco controllabile dei segnali stessi

Per ridurre l'estensione dello spettro occorrerebbe ricorrere a operazioni di filtraggio frequenziale, oltre che ad operazioni di compressione della dinamica, ma ciò andrebbe ad alterare, anche in maniera significativa, l'informazione contenuta nei suoni stessi, con una conseguente difficoltà interpretativa da parte dei soggetti sottoposti al test (bambini)

## 1.7 SUONI VOCALI USATI COME SEGNALI DI TEST

Per i suoni emessi, prodotti da un individuo umano vanno tenute presenti alcune fondamentali questioni, che non vanno certamente a favore dell'utilizzo di tali suoni come segnali di test:

### **Vantaggi**

- Relativa semplicità per ottenerli (è necessario un certo allenamento da parte del pronunciatore)
- Non viene richiesta alcuna apparecchiatura, se non un fonometro per una verifica (grossolana) dell'intensità dei suoni prodotti

### **Svantaggi**

- Evidente non ripetitività.
- Spettro non del tutto controllato e spesso troppo esteso, per fini di misurazioni audiologiche
- Differenze tra suoni dello stesso tipo ma prodotti da soggetti/situazioni diversi
- Differenze spettrali uomo/donna.
- Differenze spettrali in base all'età di chi emette il suono/fonema.
- Difficile controllo delle caratteristiche del suono/fonema emesso da parte del pronunciatore.
- Differenze di pronuncia derivanti dalla diversa provenienza territoriale del pronunciatore.
- Componenti formanti con valori di frequenza minimi che difficilmente scendono al di sotto dei 125 Hz
- Componenti formanti con valori di frequenza massimi che difficilmente salgono al di sopra di 8 kHz – 10 kHz
- Dinamica delle intensità ottenibili limitata a valori di 40 – 50 dB.

## 1.8 SUONI DI LING (SUONI VOCALI) USATI COME SEGNALI DI TEST

I Ling-6 sounds corrispondono a sei suoni usati, nello specifico, per valutare la soglia di detenzione nei bambini portatori di ausili acustici. Essi appartengono alla categoria dei suoni di test prodotti da operatori umani. Tali suoni vengono presentati al paziente da un esaminatore (di solito donna), direttamente dal vivo. Solo negli anni successivi, precisamente nel 2012, tali suoni sono stati poi registrati e calibrati su un CD, sempre pronunciati da un soggetto donna. Le modalità di esecuzione del test erano le stesse di un'audiometria tradizionale, ovvero in cabina in campo libero. I Ling-6 sounds includono i seguenti suoni: /m/, /u/, /a/, /i/, /j/, e /s/; questi, secondo la bibliografia esaminata, dovrebbero ricoprire l'intervallo delle frequenze più importanti del parlato.

L'analisi dei Ling-6 sounds con l'intento di capire esattamente quale parte di spettro fosse strettamente testata con l'uso di ognuno di essi, è stata effettuata in maniera estremamente rigorosa, registrando ex novo i Ling-6 sounds per esaminarne lo spettro al fine di individuare le componenti fondamentali di ciascun suono e la rispettiva collocazione nello spettro del parlato, mediante un sistema di registrazione audio di alta qualità con microfoni da studio Rode modello NT2, un pre-amplificatore microfonico a bassissimo rumore con banda passante 2Hz-250 kHz e un registratore digitale Tascam DV-RA1000HD (impostato a 192 mila campioni al secondo, 24 bit). Gli stessi apparati usati per la precedente registrazione dei diversi fonemi.

Come esempio sono riportati gli spettri di due suoni di Ling, pronunciati da un soggetto femminile, professionista della comunicazione verbale, di nazionalità italiana, effettuando la registrazione con l'attrezzatura precedentemente indicata. Da tale spettri si vede la notevole estensione frequenziale e la limitata estensione dinamica.

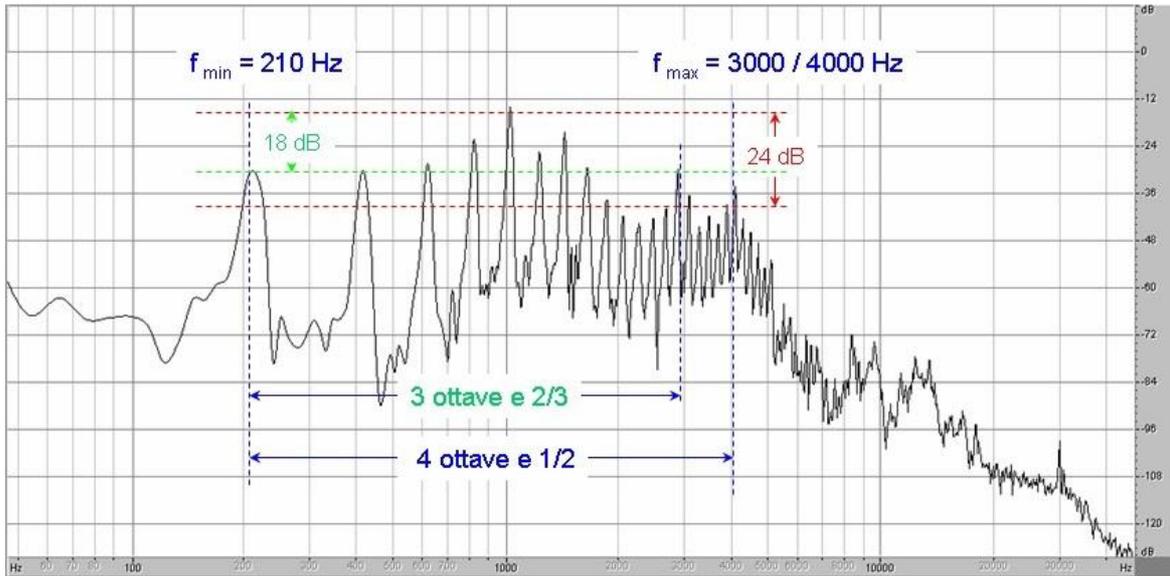


Figura 2: Vocale "A" pronunciata da un soggetto femminile adulto - spettro frequenziale

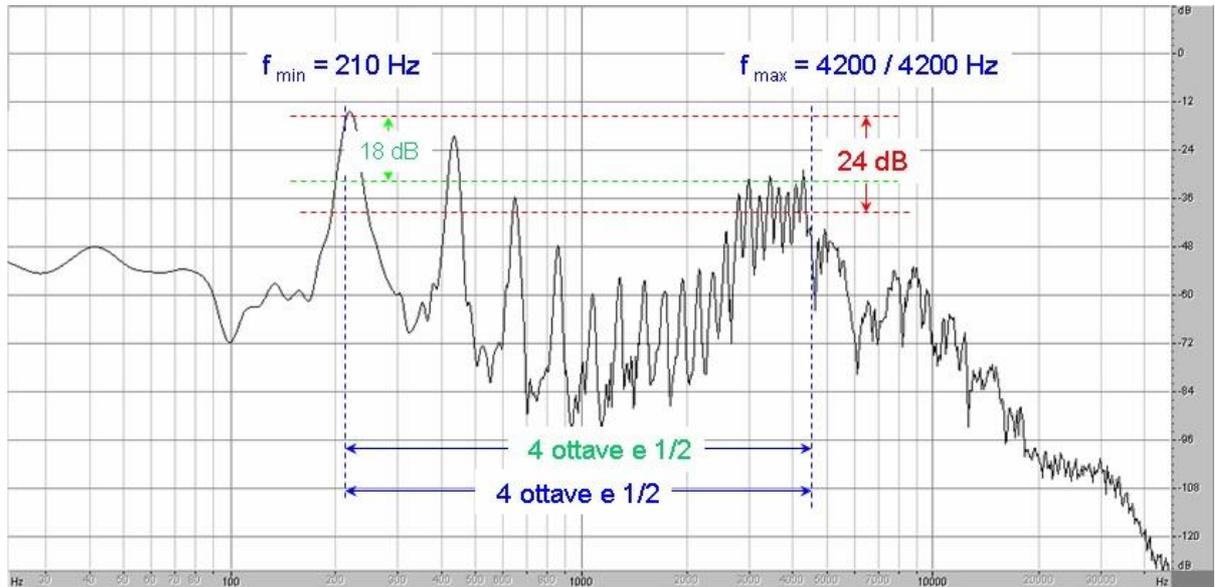


Figura 3: Vocale "I" pronunciata da un soggetto femminile adulto - spettro frequenziale

## 1.9 SUONI DI LING: ANALISI FREQUENZIALE

I suoni di Ling sono stati analizzati da un punto di vista frequenziale e i risultati sono riportati nella tabella sottostante a questo paragrafo. In ciascun spettro analizzato si considerano, ragionevolmente, significative le componenti con un'ampiezza entro i -24 dB rispetto alla componente frequenziale di ampiezza maggiore. La scelta di un range dinamico di 24 dB è dovuta al fatto che una tale dinamica risulta sicuramente ben percepita anche da soggetti non perfettamente udenti. Un soggetto normoudente percepisce chiaramente anche le componenti entro un range di 36 – 40 dB.

Osservando il contenuto spettrale dei vari segnali si possono notare alcune caratteristiche:

- lo spettro, anche solo in un range dinamico di 24 dB, talvolta è ampio fino a una decade (oltre tre ottave);
- il numero delle componenti frequenziali risulta essere estremamente elevato, contenendo un numero elevato di armoniche.

Le ampiezze delle diverse armoniche sono tali da non poter asserire con sicurezza che si sta testando una specifica parte dello spettro.

Un'ulteriore analisi è stata effettuata considerando una "finestra" delle ampiezze che copre un range dinamico di -18 dB rispetto alla componente di ampiezza maggiore. Pur risultando, per alcuni suoni, uno spettro con una estensione inferiore rispetto a quello ottenuto con un range di 24 dB, si ottiene, in ogni caso, una estensione frequenziale ampia.

In altre parole, ogni suono contiene un numero elevato di componenti a frequenza diversa ma di ampiezza poco diversa tra loro per poter essere reputato selettivo in frequenza ai fini di un test audiometrico e consentire di ottenere risultati effettivamente significativi.

Come esempio, i suoni /a/ ed /i/ presentano uno spettro estremamente ampio, con molte componenti di ampiezza significativa; gli spettri di /f/ (sc)

ed /s/ (ss) possono esser paragonabili a dei rumori bianchi filtrati, ciascuno con occupazione superiore ad un'ottava.

Suono	F min (-18 dB)	F max (-18 dB)	Ottave (-18 dB)	F min (-24 dB)	F max (-24 dB)	Ottave (-24 dB)
<b>A</b>	210	3000	3,8	210	4000	4,2
<b>I</b>	210	4200	4,3	210	4200	4,3
<b>U</b>	220	700	1,6	220	700	1,6
<b>M</b>	220	440	1	220	2200	3,3
<b>SC</b>	2000	7000	1,8	1200	8000	2,7
<b>SS</b>	6000	12000	1	5000	14000	1,5
	Dinamica 18 dB			Dinamica 24 dB		

Tabella I: Ling-6 sounds - analisi frequenziale su dinamiche di 18 e 24 dB

### 1.10 SUONI DI LING: ASSOCIAZIONE SUONO-IMMAGINE/CONCETTO

Le associazioni mostrate sotto sono quelle di solito utilizzate quando vengono somministrati i suoni di Ling. Si tratta di associazioni un po' fantasiose, che richiedono, da parte del somministratore, una qualche modulazione della voce, con lo scopo di una certa agevolazione nei confronti del bambino, diversificata per ogni oggetto/situazione, che rende il suono stesso più comprensibile al bambino, ma che crea, nel contempo, una evoluzione temporale del contenuto spettrale ancora meno controllabile da parte del pronunciatore, con la conseguenza dell'aggiunta di ulteriori armoniche.

Gli spettri mostrati sono relativi a suoni, per così dire, “neutri”, senza alcuna modulazione della voce, che male si associano ai concetti sotto indicati.

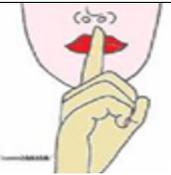
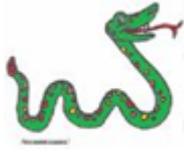
	<p><b>/mmm/</b> /m/</p>	<p>Suono associato all’espressione che si fa a fronte di un cibo gradito</p>
	<p><b>/uuu/</b> /u/</p>	<p>Suono associato ad un fantasma dei cartoni animati</p>
	<p><b>/aaa/</b> /a/</p>	<p>Suono associato ad un’espressione di spavento o pericolo</p>
	<p><b>/iii/</b> /i/</p>	<p>Suono associato al nitrito di un cavallo</p>
	<p><b>/ssh/</b> /ʃ/</p>	<p>Suono associato al gesto del silenzio</p>
	<p><b>/sss/</b> /s/</p>	<p>Suono associato al sibilo di un serpente</p>

Tabella II: Ling-6 sounds associati a concetti

Questo è stato il primo tassello che ha portato allo sviluppo del progetto di associazione suono-concetto dei suoni di sintesi, cercando di sopperire al problema dell’enorme spettro frequenziale coperto da questi suoni e dalla difficilissima ripetibilità delle misurazioni effettuate con questo metodo, rendendo quindi i test molto poco attendibili.

## Capitolo 2

# I SEGNALI DI SINTESI: CARATTERISTICHE E SCOPI DEL PROGETTO

### 2.1 ASPETTI FONDAMENTALI DEI SUONI DI SINTESI

I segnali di sintesi sono suoni ottenuti esclusivamente tramite metodi di sintesi (creati artificialmente) caratterizzati da un contenuto spettrale ben delimitato e appartenente ad una zona dello spettro audio la cui estensione è determinabile a priori, il che li rende dei suoni assolutamente controllati e ripetibili quando usati a fini misuristici. Sono segnali appositamente creati per essere associati con estrema facilità a oggetti/concetti anche da bambini molto piccoli (età prescolare). Questi segnali se traslati di frequenza non perdono il loro legame con il corrispondente concetto se traslati in frequenza fino ad un valore di circa più o meno mezza ottava, consentendo un raggio d'azione maggiore sullo spettro acustico infantile. I segnali hanno la possibilità di essere ben "sagomati" in termini di frequenze fondamentali a seconda delle esigenze diagnostiche. Avendo possibilità di attuare una completa personalizzazione possiamo quindi avere a disposizione una gamma di suoni concentrati su spettri di frequenza ben delimitati che possono essere flessibili in range frequenziale e anche dal punto di vista dell'intensità raggiungendo facilmente anche 80 – 90 dB. L'intensità inoltre è facilmente regolabile sia in dB SPL che in dB HL. L'innovazione di questo tipo di segnali è rappresentata dalla capacità di testare non solo quanto ma anche cosa il bambino è in grado di capire mentre si rispettano delle caratteristiche acustiche in tutto e per tutto adatte all'uso diagnostico.

I segnali di sintesi non derivano da alcun suono reale registrati e/o modificati tramite operazioni di filtraggio, non sono ottenuti come sintesi dei

suoni di Ling né sono fonemi prodotti da un operatore umano. Sono suoni generati con metodi di sintesi che hanno lo scopo di simulare suoni facenti parte del mondo dei bambini ma, a differenza dei suoni reali, con caratteristiche adeguate per essere utilizzati in ambito diagnostico.

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

Il segnale generato dai suoni di sintesi è completamente conosciuto e adeguato all'utilizzo nei test acustici/audiometrici in quanto rispettano alcune norme fondamentali quale la quasi totale copertura frequenziale dello spettro acustico del bambino, anche oltre lo spettro del parlato, ed il perfetto controllo sulla posizione nello spettro. Le misurazioni effettuate con questi segnali sono totalmente ripetibili, quindi vengono escluse le varianti legate ad un eventuale soggetto che pronuncia il suono, essendo esso prodotto artificialmente. Si ha inoltre la possibilità di applicare due o più segnali contemporaneamente anche ad intensità/frequenze differenti per sottoporre i soggetti a dei test più avanzati qualora fosse utile e necessario.

## **2.3 CARATTERISTICHE IN FREQUENZA E AMPIEZZA DEI SUONI DI SINTESI PER LA VERIFICA DELLA PERCEZIONE NELLO SPETTRO VOCALE**

I vari segnali di test, per uso vocale, sono allocati frequenzialmente nella banda 125 Hz – 8 kHz (la eventuale estensione tra 100 Hz e 10 kHz consente un'analisi più accurata che copre, praticamente, l'intero spettro acustico del parlato, escludendo solamente le componenti formanti alle

frequenza estreme della banda) e vengono generati in modo che ciascuno di essi possa coprire solamente una “fetta frequenziale” dello spettro complessivo (con le componenti frequenziali dislocate su un range di una ottava o inferiore). Tenendo conto che l'estensione tra 125 Hz e 8 kHz è di 6 ottave, e l'estensione tra 100 Hz e 10 kHz è quasi di 7 ottave, nell'ipotesi di generare suoni di sintesi che coprono un'ottava, o poco meno, nasce la necessità di generare almeno 6 - 7 segnali differenti.

Il presupposto fondamentale di un suono sintetizzato utilizzato per test audiometrici è dato dal fatto di avere uno spettro limitato con una estensione compresa tra  $\frac{1}{3}$  di ottava 1 ottava e  $\frac{1}{2}$  al max, con una totale assenza di componenti spurie al di fuori della banda frequenziale relativa allo specifico suono.

Con i segnali di sintesi anche le caratteristiche di ampiezza sono estremamente accurate e controllate; ciò consente di effettuare dei test audiometrici molto affidabili, anche grazie alla possibilità di generare suoni preliminari di taratura, di tipo stazionario che consentono un'accurata misurazione dell'intensità mediante fonometri o simili. Tali suoni, dopo aver calibrato il sistema di stimolazione, possono essere modulati in ampiezza per ottenere i suoni di sintesi richiesti. Vi è inoltre la possibilità di generare due o più suoni contemporaneamente, anche a intensità differenti, provenienti anche da direzioni diverse, per effettuare dei test con mascheramento da rumore o per azione contemporanea di segnali appartenenti a parti disgiunte dello spettro acustico.

#### **2.4 CARATTERISTICHE DI UN MESSAGGIO MUSICALE – DIFFERENZE RISPETTO AD UN MESSAGGIO VOCALE**

A differenza del messaggio verbale, una informazione musicale spazia frequenzialmente in un range molto più ampio, che, per consentire un buon

ascolto della musica, dovrebbe partire da non oltre 50 - 60 Hz e arrivare almeno fino a 12 – 16 kHz. Per effettuare un test su un soggetto / apparato, è necessario che i segnali di test abbiano un contenuto frequenziale corrispondente alle esigenze dell'informazione contenuta nel messaggio musicale.

Mediante un test di tipo vocale, proprio a causa di un limitato contenuto frequenziale della voce umana, non risulta assolutamente possibile verificare il corretto comportamento di un soggetto nei confronti di un messaggio musicale.

I suoni di sintesi non presentano tale limitazione, potendo spaziare frequenzialmente in tutto il range udibile e anche oltre.

Una ulteriore caratteristica di un messaggio musicale sta nella maggiore dinamica rispetto ad un messaggio verbale. Nel caso di un messaggio verbale una dinamica realistica difficilmente supera i 40 - 50 dB, mentre per un messaggio musicale tale valore può raggiungere i 80 – 90 dB. Conseguentemente anche i corrispondenti segnali di test dovrebbero raggiungere tali dinamiche: ciò è possibile solamente con segnali ottenuti con metodi di sintesi e non certamente con segnali ottenuti vocalmente.

Si può, quindi, concludere dicendo che per effettuare test significativi su soggetti per valutare il comportamento nei confronti di messaggi musicali sono necessari segnali di sintesi.

## **2.5 CARATTERISTICHE FREQUENZIALI DEI SEGNALI DI SINTESI PER LA VERIFICA DELLA PERCEZIONE NELLO SPETTRO MUSICALE**

I vari segnali di test, ad uso musicale, sono allocati frequenzialmente nella banda 32 Hz – 16 kHz (escursione che può essere estesa tra 16 Hz e 16

kHz) vengono generati in modo che ciascuno di essi possa coprire solamente una “fetta frequenziale” dello spettro complessivo (con le componenti che possono dislocate su un range di una ottava o inferiore). Tenendo conto che l'estensione tra 32 Hz e 16 kHz è di 9 ottave, nell'ipotesi di generare suoni di sintesi che coprono un'ottava, o poco meno, nasce la necessità di generare almeno 9 segnali differenti (estendibile a 10 nel caso di testare sino a 16 Hz). I 16 Hz costituiscono una situazione scarsamente significativa (pochissime sono le sorgenti interessanti che emettono tali frequenze) oltre che tecnicamente improponibile in modalità HL a causa della elevatissima potenza acustica richiesta (si veda l'audiogramma di Fletcher-Munson).

Dato che i segnali in questione coprono una gamma che va ben oltre il parlato, ma spazia anche nell'ambito musicale, le applicazioni di tali suoni, oltre che svilupparsi per bambini (per verificare le capacità uditive sull'intero spettro acustico) possono trovare applicazione per tutti quei pazienti che “lavorano con i suoni” come ad esempio i musicisti, i tecnici audio e tutti quei soggetti che hanno una buona memoria uditiva musicale.

Anche i segnali di sintesi agli estremi della banda audio posseggono le medesime caratteristiche dei segnali di sintesi di centro banda: accuratezza spettrale e ampiezza ben determinata ed evoluzione temporale assolutamente controllata.

## **2.6 CARATTERISTICHE TEMPORALI DEI SEGNALI DI SINTESI**

Grazie alla tecnica di sintesi la durata di ogni segnale prodotto risulta assolutamente controllabile e dal valore determinato con estrema accuratezza. Ciò rende tali segnali particolarmente adatti ad effettuare dei test di comprensione del messaggio acustico da parte del soggetto. E'

possibile impostare la durata del segnale partendo da un tempo minimo, allungandolo gradatamente fino alla esatta identificazione del suono da parte del soggetto. 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.

## **2.7 CARATTERISTICHE RELATIVE ALLA PERCEZIONE DA PARTE DEI SOGGETTI – ASSOCIAZIONE SUONO-OGGETTO**

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 una ottava e mezza. 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, si possono ottenere molti suoni diversi, da un punto di vista frequenziale, ma associabili ad uno stesso oggetto/concetto, 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.

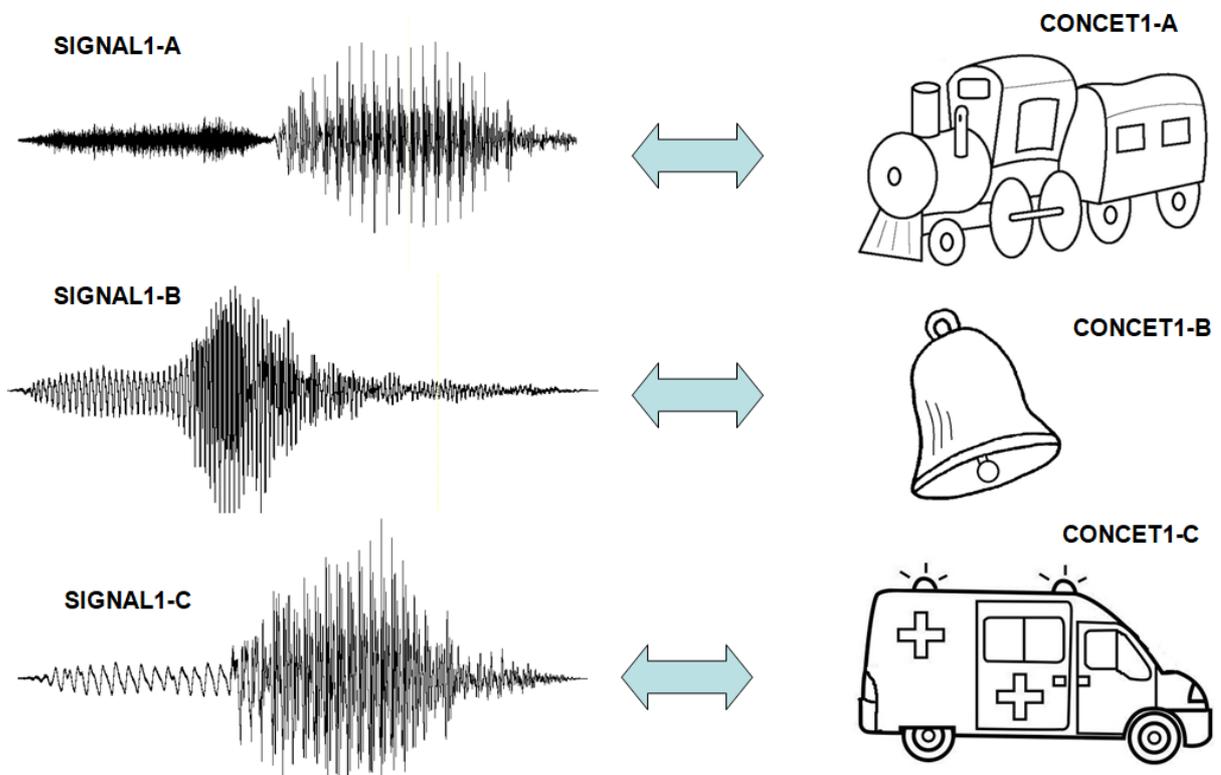


Figura 4: Associazione segnale-concetto con spettri audio di attuali segnali di sintesi

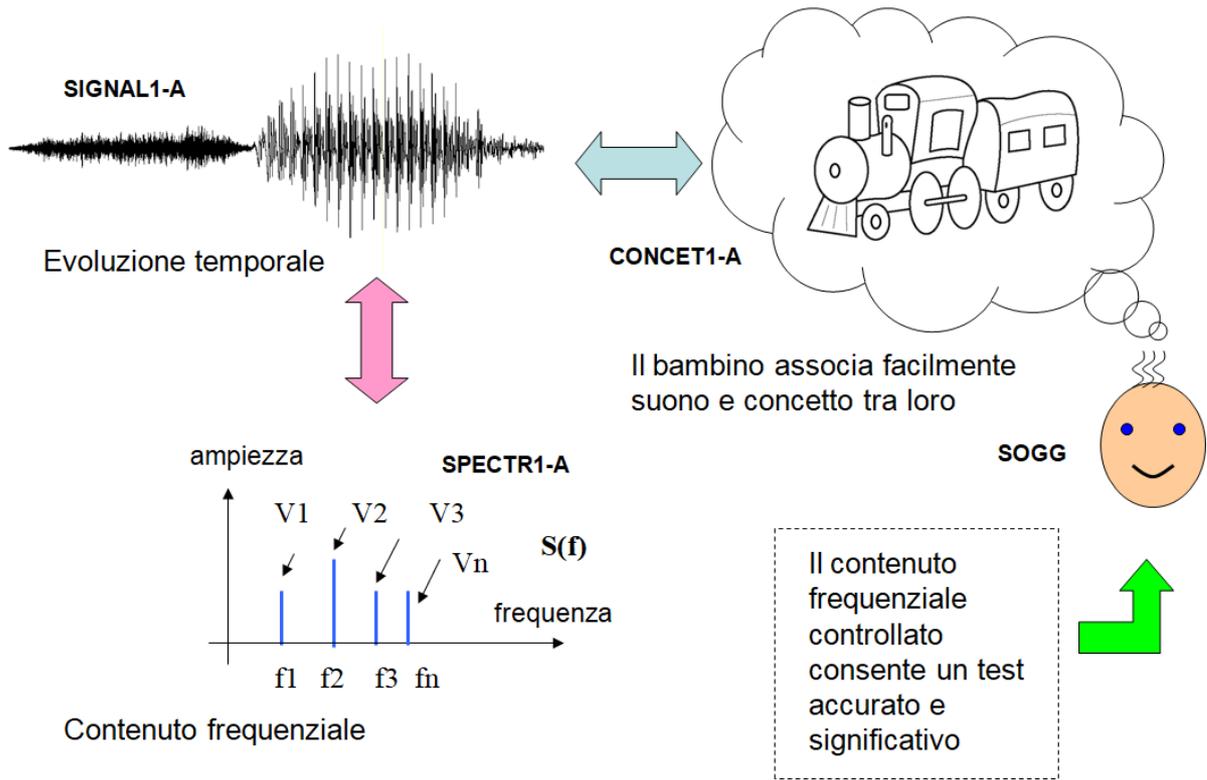


Figura 5: Associazione segnale-suono-spettro-concetto

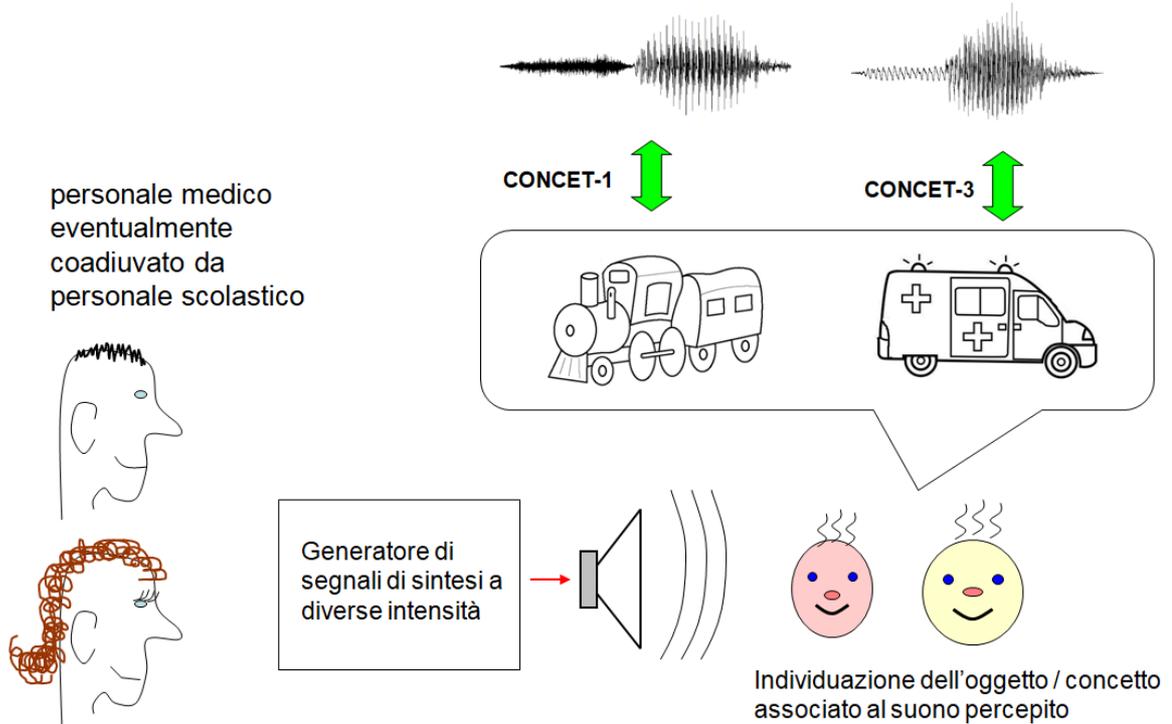


Figura 6: Esecuzione del test uditivo con i segnali di sintesi

Nella fig. 4 viene mostrata l'associazione tra suono e corrispondente oggetto/concetto. Nella fig. 5, in realtà, nei confronti del bambino, viene fornito un suono che ricorda un gioco o un oggetto/concetto, ma da un punto di vista misuristico ciascun suono ha un contenuto spettrale e un'intensità perfettamente controllati, condizione questa necessaria per effettuare un test uditivo. Si può riassumere dicendo che il bambino è convinto di fare un gioco e non un test audiometrico. Nella fig. 6 è mostrato come il test verrà sicuramente somministrato da personale qualificato e il bambino dovrà riconoscere un oggetto associato a un gioco e non semplicemente rispondere con un sì o un no relativamente alla percezione dei toni puri solitamente usati nei test audiometrici (diagnostica interattiva).



# Capitolo 3

## I SEGNALI DI SINTESI: CARATTERISTICHE TECNICHE GENERALI ED ESEMPI

### 3.1 FUNZIONAMENTO GENERALE DEL PROCESSO DI SINTESI

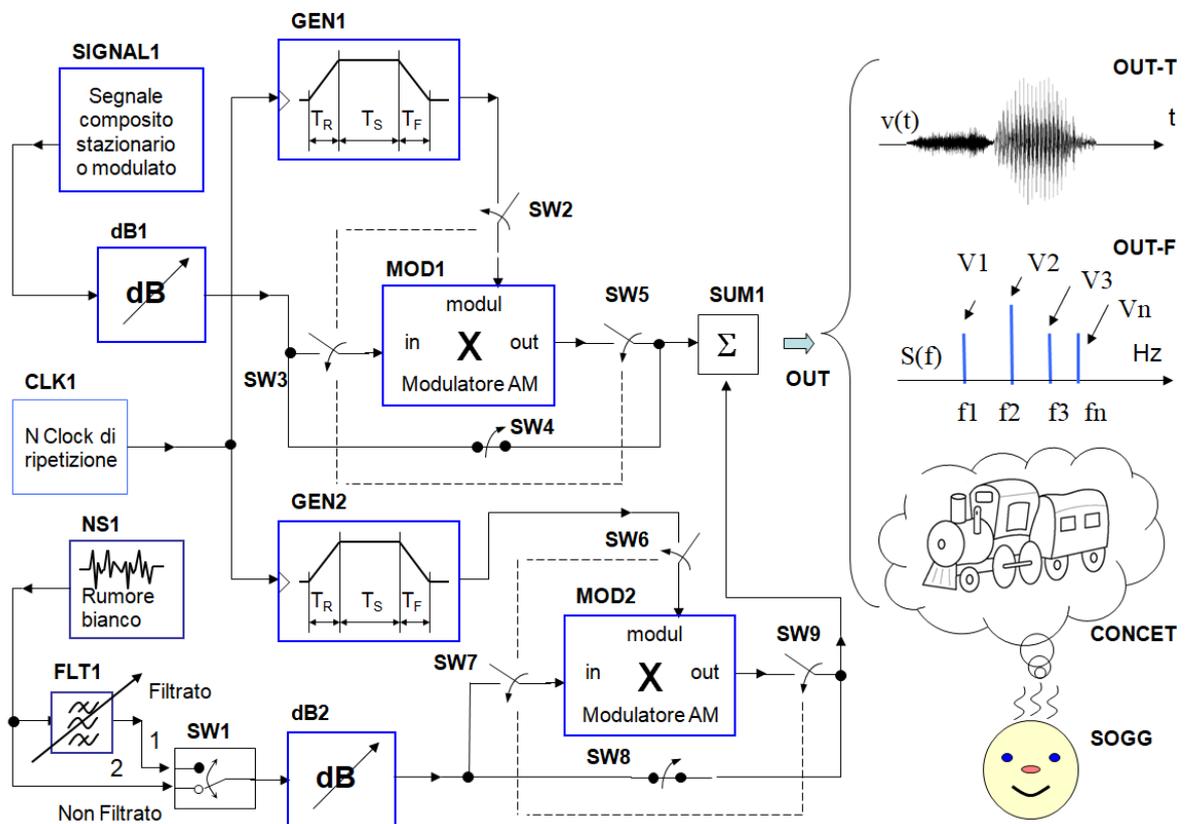


Figura 7: Schema a blocchi generale per la sintetizzazione dei segnali

La tavola precedente mostra lo schema complessivo, a blocchi funzionali, relativo alla modalità con cui vengono realizzati i segnali di sintesi (una descrizione approfondita dei vari blocchi funzionali esula dal presente lavoro).

Un aspetto fondamentale va evidenziato: ogni suono generato, ottenuto dalla opportuna combinazione e interazione di generatori di segnale, generatori di rumore, filtri, attenuatori, modulatori AM e FM, viene descritto mediante regole ben determinate. La effettiva modalità di realizzazione può essere ottenuta sia con apparati hardware, sia con metodi numerici/matematici. L'importante è che vengano rispettate le regole costruttive relative a ciascun suono.

Viene riportato solamente qualche esempio, per chiarire alcune sezioni dello schema a blocchi complessivo.

### 3.2 SEGNALE COMPOSITO STAZIONARIO NON MODULATO (SENZA RUMORE)

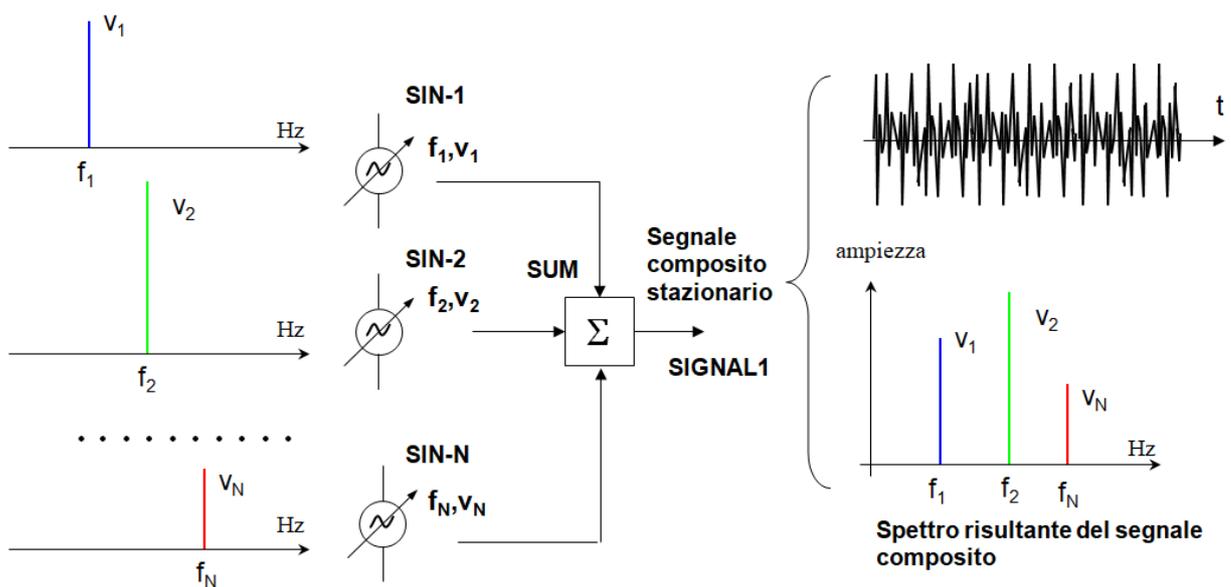


Figura 8: Segnale composto ottenuto dalla somma di più segnali sinusoidali (toni puri) - schema a blocchi

Si utilizzano tanti oscillatori sinusoidali quante sono le sinusoidi che, sommate tra loro, realizzano il segnale composito. Per ogni oscillatore è possibile impostare la frequenza e l'ampiezza della sinusoide generata.

Ciascun segnale sinusoidale, nel dominio della frequenza, è rappresentato da una singola riga. Il segnale composito è rappresentato dall'insieme delle righe corrispondenti ai singoli segnali sinusoidali, prodotti, ciascuno, dal corrispondente oscillatore.

### 3.3 SEGNALE COMPOSITO MODULATO IN AM (SENZA RUMORE)

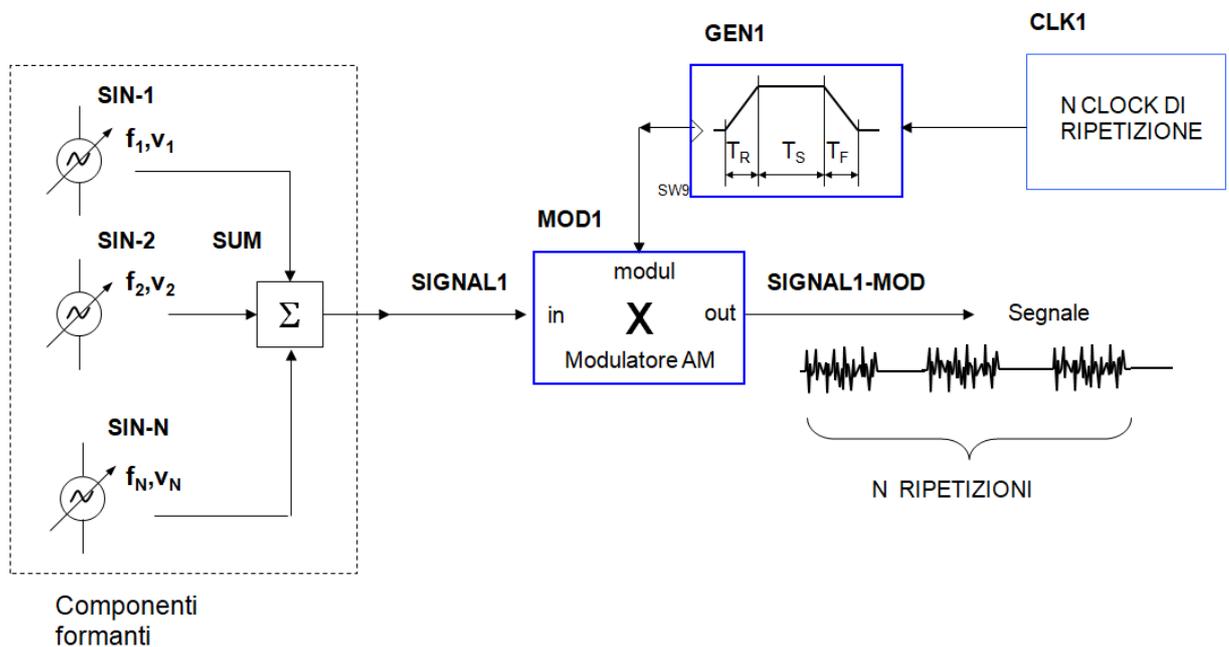


Figura 9: Segnale composito ottenuto dalla somma di toni puri, ripetuto più volte mediante una modulazione di ampiezza - schema a blocchi

L'inviluppo temporale risulta unico per tutte le componenti sinusoidali che costituiscono il segnale, e viene ripetuto N volte. Tale inviluppo temporale è ottenuto mediante un modulatore di ampiezza. Vi è la possibilità di ottenere la ripetizione dell'inviluppo, mediante un comando di clock, per ottenere un segnale più facilmente interpretabile da un bambino rispetto ad un segnale che viene presentato una sola volta.

### **3.4 ASSOCIAZIONE SEGNALE – CONCETTO/OGGETTO**

Uno degli aspetti fondamentali dei suoni di sintesi generati mediante il trovato sta nell'associazione di ciascun suono ad un particolare oggetto / concetto naturalmente (facilmente) individuabile anche da un bambino. Gli oggetti / concetti vanno ricercati tra quelli che i bambini individuano come giochi o che vedono naturalmente durante la loro vita quotidiana. Alcuni oggetti / concetti possono essere talmente evidenti da essere immediatamente individuati da un bambino anche senza un addestramento preliminare (che, in ogni caso, conviene venga effettuato per garantire la correttezza del test successivo).

Nota: realizzando test con toni puri o toni modulati o simili segnali viene a mancare, da parte del bambino, quella necessaria partecipazione attiva che assicura la buona riuscita del test audiologico..

Da un punto di vista misuristico risulta fondamentale il contenuto frequenziale di ciascun segnale.

### 3.5 ASSOCIAZIONE SEGNALE – SPETTRO FREQUENZIALE

Da un punto di vista analitico / misuristico, a ciascun segnale è associato un ben determinato contenuto frequenziale e un altrettanto ben determinato andamento temporale. In tal modo si ottiene un test audiologico significativo, proprio grazie all'estrema accuratezza sia frequenziale, sia come andamento temporale dell'ampiezza del segnale.

La banda frequenziale rigorosamente limitata e perfettamente controllabile, per ogni segnale generato, costituisce l'aspetto fondamentale che rende il test audiologico accurato e significativo. Tale caratteristica è garantita dal metodo con cui i segnali vengono generati.

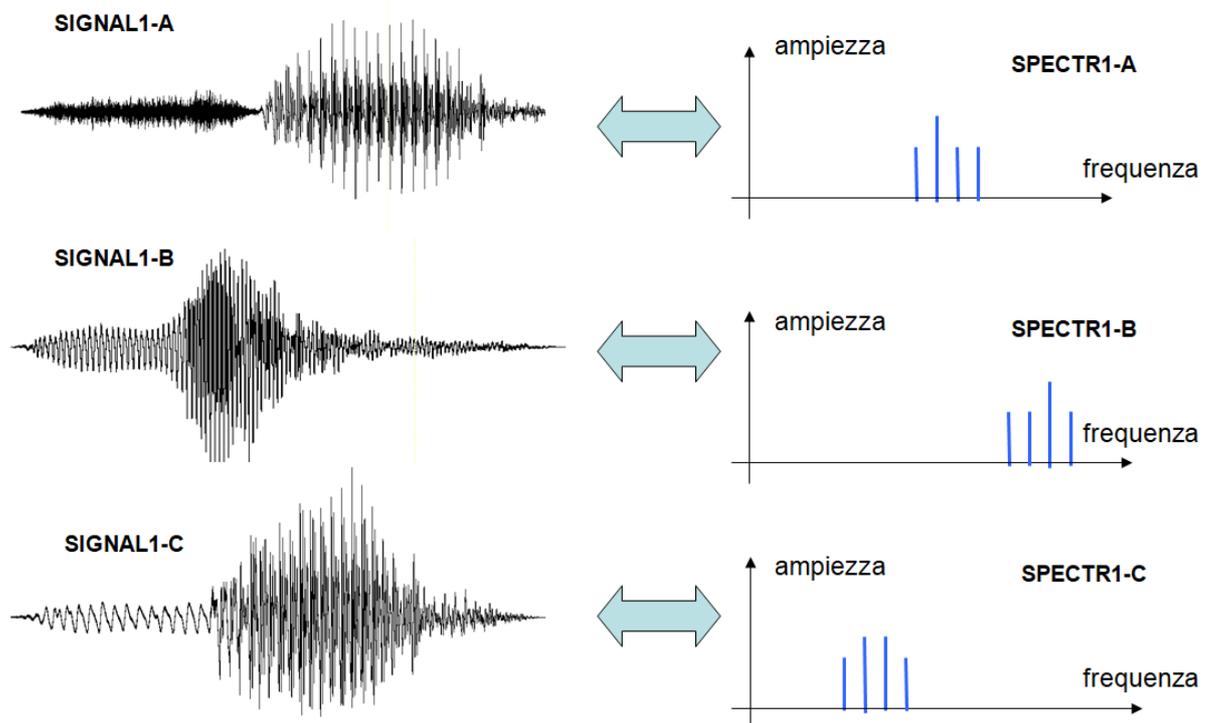


Figura 10: Ad ogni suono è associato un ben determinato contenuto frequenziale

### **3.6 ASSOCIAZIONE SUONO – SPETTRO - CONCETTO**

Unendo il concetto / oggetto facilmente individuabile dal bambino e lo spettro perfettamente controllato associato a ciascun suono si ottiene un test che:

Da un punto di vista audiologico / misuristico risulta rigoroso e dai risultati significativi

Da un punto di vista del bambino si tratta più di una sorta di gioco piuttosto che un test uditivo.

Ciò porta sicuramente ad una partecipazione attiva del bambino con una conseguente maggiore affidabilità del test, anche grazie ad una maggiore durata dello stesso prima che il bambino si annoi (come avviene con i soliti test effettuati con i toni puri o simili).

Uno dei risultati più significativi sta proprio nella partecipazione attiva di uno o più bambini contemporaneamente per tutta la durata del test.

Una verifica preliminare (senza una effettiva calibrazione acustica delle intensità) è stata effettuata su due classi di bambini di prima elementare dell'Istituto Comprensivo Ovest 3 - Brescia - Scuola Primaria "Rodari" (novembre 2016). Ulteriori test sono stati effettuati al Teatro delle Voci di Treviso con classi della scuola primaria "De Amicis" di Treviso e con l'Associazione Culturale "Teatriamo" di Treviso. Ulteriori test sono stati effettuati nella scuola d'infanzia "Maria Assunta" di Albaredo D'Adige (VR). I test sono stati somministrati con sei tipi di suoni a diversa intensità. Ad ogni suono corrispondeva una figura rappresentativa stampata su un cartellino, che ciascun bambino doveva sollevare quando riconosceva il suono percepito. Per entrambe le classi il test, comprensivo della prima parte di addestramento, ha superato la durata di 18 minuti, durante i quali i bambini hanno mantenuto una partecipazione attiva, proprio come si trattasse di un gioco.

### 3.7 ESEMPIO DI SUONO DI SINTESI: CAMPANELLO (CON TABELLA)

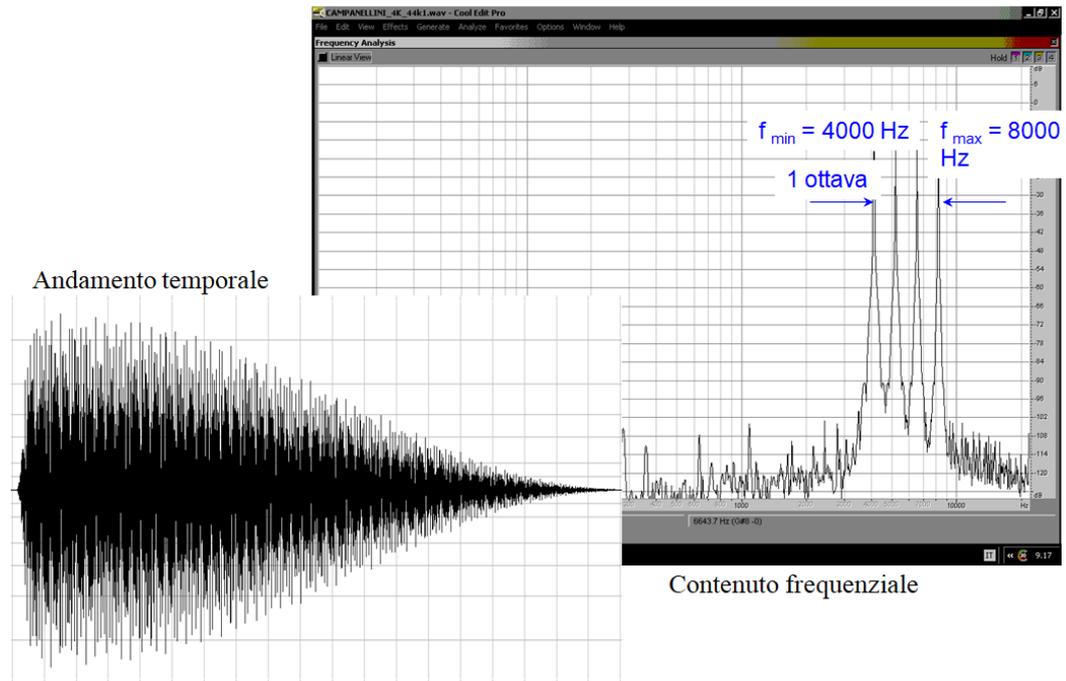


Figura 11: Spettro temporale e frequenziale del suono di sintesi (campanello) con evidenziato il range frequenziale di riferimento

<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><math>T_r = 5 \text{ ms}</math> ; <math>T_s = 25 \text{ ms}</math> ; <math>T_f = 150 \text{ ms}</math> ;  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 essere variata a piacere in modo da passare da un suono quasi continuo a dei ding nettamente distinti a seconda delle esigenze diagnostiche.</p>
--	--

### 3.8 ESEMPIO DI SUONO DI SINTESI: TRENINO (CON TABELLA)

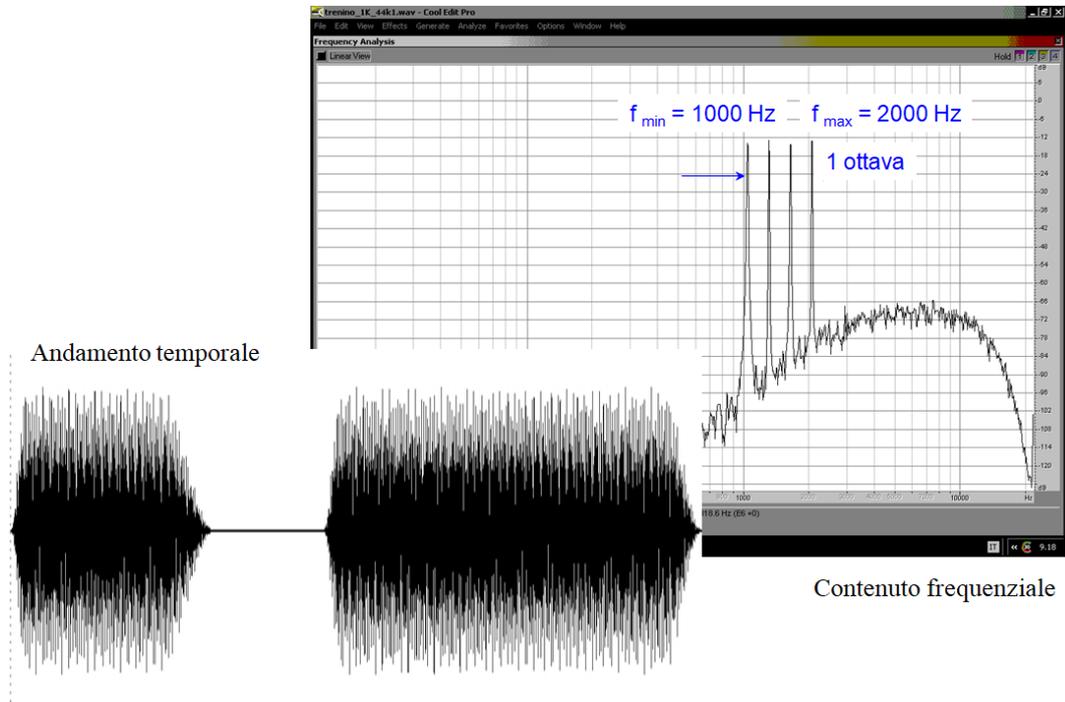


Figura 12: Spettro temporale e frequenziale del suono di sintesi (trenino) con evidenziato il range frequenziale di riferimento

<p>COMPONENTI SINUSOIDALI (PRIMO COLPO)</p> <p>F1 = 1000 Hz                      AMPIEZZA = 100%            F2 = F1 * 1.26 = 1260 Hz      AMPIEZZA = 100%            F3 = F1 * 1.58 = 1580 Hz      AMPIEZZA = 100%            F4 = 2 * F1 = 2000 Hz          AMPIEZZA = 100%</p> <p>EQUIVALENTE AD UN ACCORDO "MAGGIORE"</p> <p>COMPONENTI SINUSOIDALI (SECONDO COLPO)</p> <p>F1 = 1000 Hz                      AMPIEZZA = 100%            F2 = F1 * 1.26 = 1260 Hz      AMPIEZZA = 100%            F3 = F1 * 1.58 = 1580 Hz      AMPIEZZA = 100%            F4 = 2 * F1 = 2000 Hz</p> <p>INVILUPPO DELL' AMPIEZZA (PRIMO COLPO)            Tr = 25 ms ; Ts = 250 ms ; Tf = 75 ms ;            MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL' AMPIEZZA (SECONDO COLPO)            Tr = 25 ms ; Ts = 500 ms ; Tf = 75 ms ;            MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>PAUSA TRA I DUE COLPI = 200 ms</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 1.15 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>RUMORE BIANCO FILTRATO "PASSA BANDA"</p> <p>F1 = 2000 Hz    Fh = 8 000 Hz</p> <p>QUARTO ORDINE DI BESSEL</p> <p>AMPIEZZA MAX -40 dB RISPETTO ALLE COMPONENTI SINUSOIDALI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il classico treno di Far West. Nel caso dell'esempio si tratta di un accordo in tonalità maggiore.</p>

### 3.9 ESEMPIO DI SUONO DI SINTESI: MELODIA (CON TABELLA)



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.

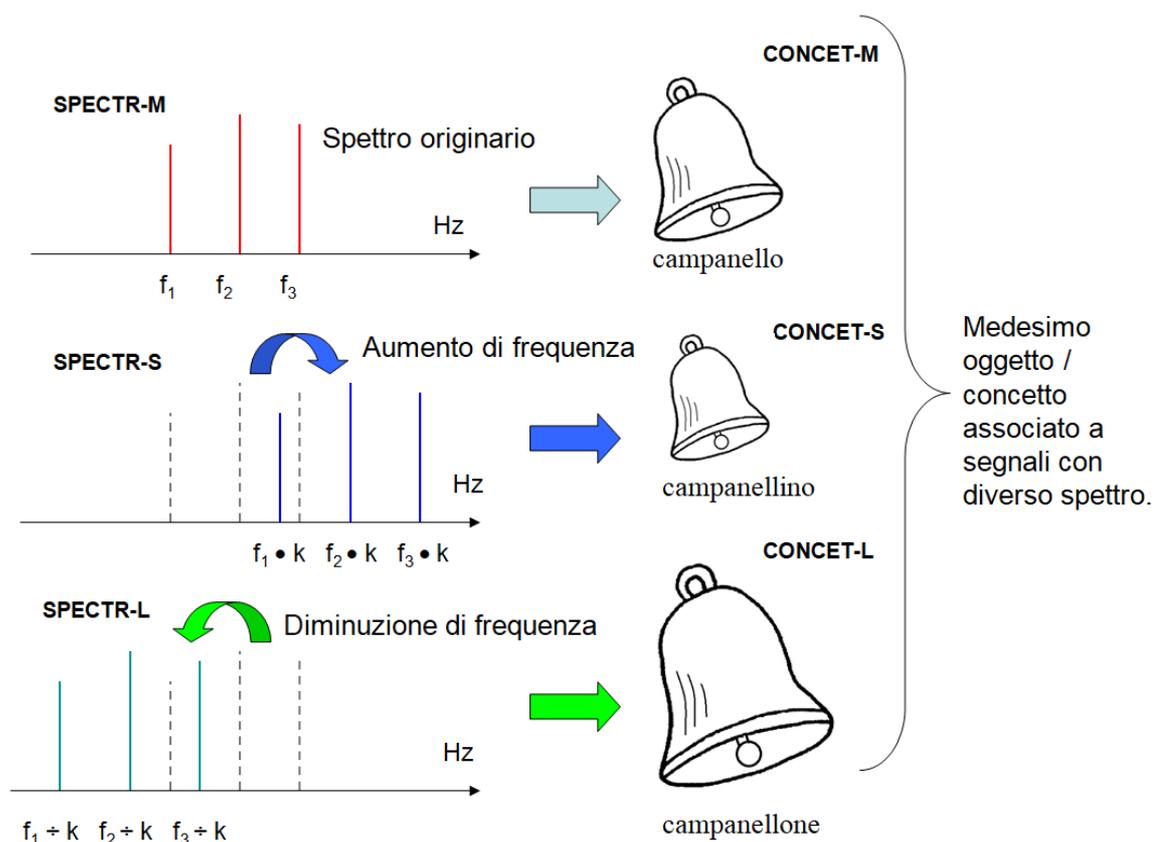
### 3.10 TRASLAZIONE IN FREQUENZA DEI SEGNALI CON MANTENIMENTO DEL RAPPORTO DI ASSOCIAZIONE

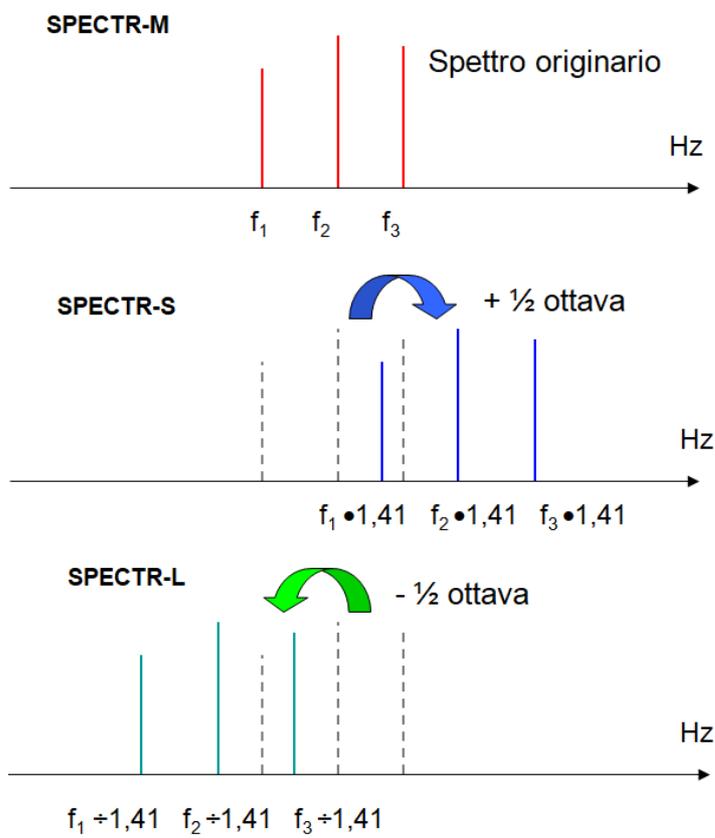
Come esempio si può considerare un suono che corrisponde ad un campanello. Se le componenti formanti sono allocate in una parte dello spettro più bassa l'effetto sarà quello di un campanello di dimensioni maggiori rispetto al campanello corrispondente alle formanti allocate in una parte dello spettro più alta.

Se le componenti formanti sono allocate in una parte dello spettro più alta l'effetto sarà quello di un campanello di dimensioni minori rispetto al campanello corrispondente alle formanti allocate in una parte dello spettro più bassa.

Una sorta di campanello che passa da campanello grande (campanellone), a campanello normale (campanello) e campanello piccolo (campanellino), ma il soggetto lo interpreta sempre come uno stesso oggetto: il campanello.

Con tale tecnica è possibile selezionare l'ingombro frequenziale di ciascun suono, potendolo traslare ragionevolmente di +/- 1/2 ottava, senza modificare il corrispondente oggetto/concetto. Una modifica dell'oggetto comporterebbe una notevole complessità per il bambino.





E' possibile realizzare uno spostamento frequenziale arbitrario agendo sul coefficiente moltiplicativo della frequenza (esempio di 1/2 ottava).

Figura 13: Grafica esplicativa dello spostamento frequenziale



## Capitolo 4

# METODO DI ESECUZIONE DEL TEST CON I SUONI DI SINTESI E CRITERI DI SCELTA DEI CONCETTI DA RAPPRESENTARE

### 4.1 CRITERI E MODALITÀ DI SCELTA DEI CONCETTI – PRIMA FASE: RACCOLTA DEI SUONI POTENZIALMENTE RICONOSCIBILI

La vita quotidiana presenta una gamma di suoni enorme ed è chiaramente impossibile sintetizzare ogni suono immaginabile pretendendo che sia funzionale da un punto di vista tecnico-misuristico e, al tempo stesso, facilmente identificabile dai bambini in età prescolare, quindi c'è la necessità di un criterio di selezione dei suoni-concetti da poter rappresentare con un segnale di sintesi.

Essendo il target di riferimento la fascia di età prescolare, il criterio più ragionevole sembra essere quello di interpellare dei soggetti che hanno a che fare tutto il giorno con i bambini come ad esempio dei Tecnici audio, Operatori Sanitari, Logopedisti, Ingegneri, Operatori nelle Scuole Primarie e d'Infanzia. Si procede ad un colloquio con un gruppo di esperti tra cui almeno un operatore nella scuola dell'infanzia, che noi stessi abbiamo effettuato con diverse maestre della scuola materna "Maria Assunta" di Albaredo d'Adige (VR), dopo aver illustrato loro il progetto e aver spiegato cosa cercavamo. Dopo il colloquio, abbiamo ottenuto una lista di possibili suoni che fanno quotidianamente parte del mondo dei bambini, i quali dovrebbero essere molto più propensi a riconoscere immediatamente e con facilità i concetti ad essi associati.

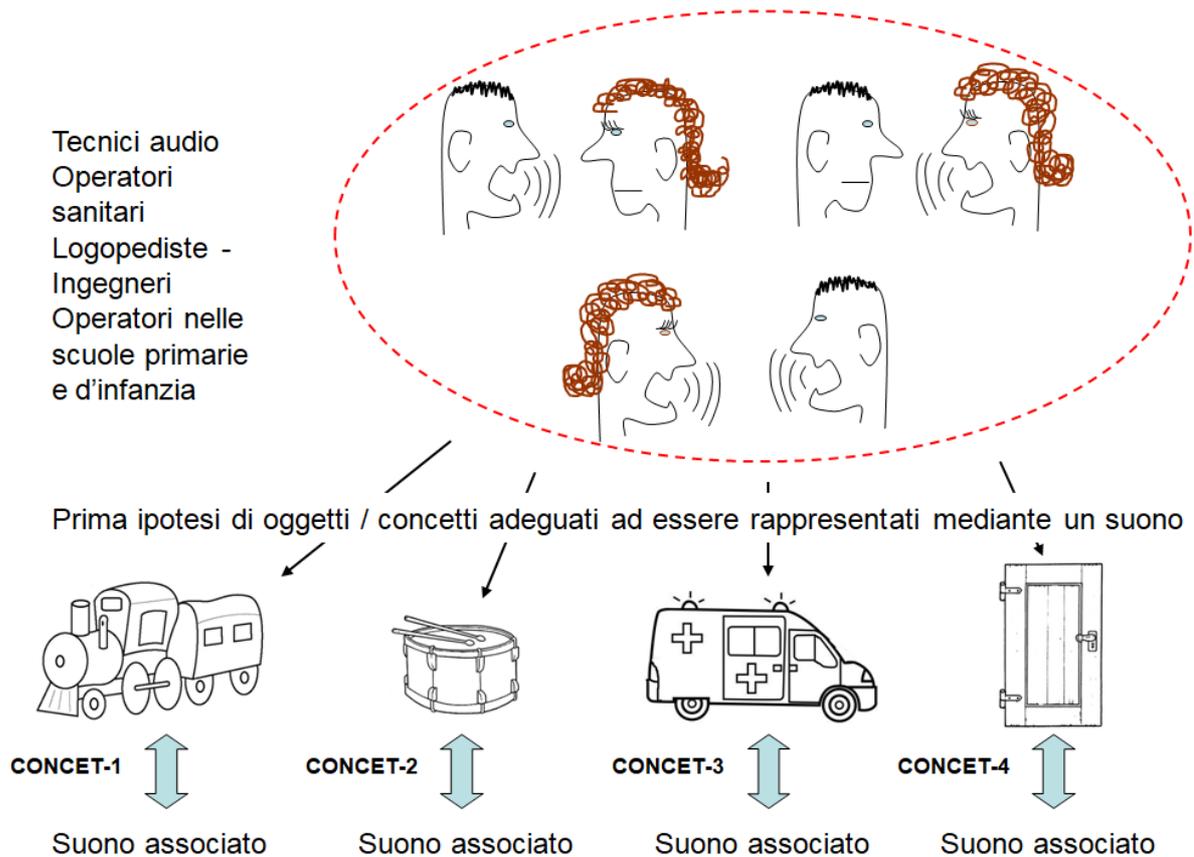


Figura 14: Prima fase di selezione suoni: incontro con professionisti familiari con il mondo dei bambini

## 4.2 CRITERI E MODALITÀ DI SCELTA DEI CONCETTI – SECONDA FASE: VERIFICA DELLE CONDIZIONI DI SINTETIZZAZIONE

A questo punto tocca alla fase di realizzazione vera e propria dei diversi segnali, realizzazione messa in atto da personale tecnico. Si passa quindi alla fase di valutazione tecnico-misuristica. Va tenuto presente che **non tutti i suoni risultano sintetizzabili con le caratteristiche necessarie per un test audiometrico.**

Un possibile percorso progettuale può essere così riassunto:

Si realizza una prima analisi frequenziale e temporale di suoni reali corrispondenti agli oggetti / concetti individuati per verificare se il suono in esame può essere scomposto e ricostruito con accettabile approssimazione con solo poche componenti frequenziali allocate su una estensione non superiore a una ottava o al massimo una ottava e mezza. Da ciò si può passare alla scelta delle componenti formanti minime per ottenere una buona o almeno accettabile riconoscibilità da parte di un bambino.

Una volta individuate le componenti formanti si individua una evoluzione temporale che renda il suono più realistico possibile. Per fare ciò, da parte del "Tecnico del suono" è necessaria la conoscenza di alcuni concetti fondamentali: oggetti, situazioni, suoni, equazioni, teorema di Fourier, oscillatori, rampe, tempo, involuppo, rumore bianco, filtri, modulazione.

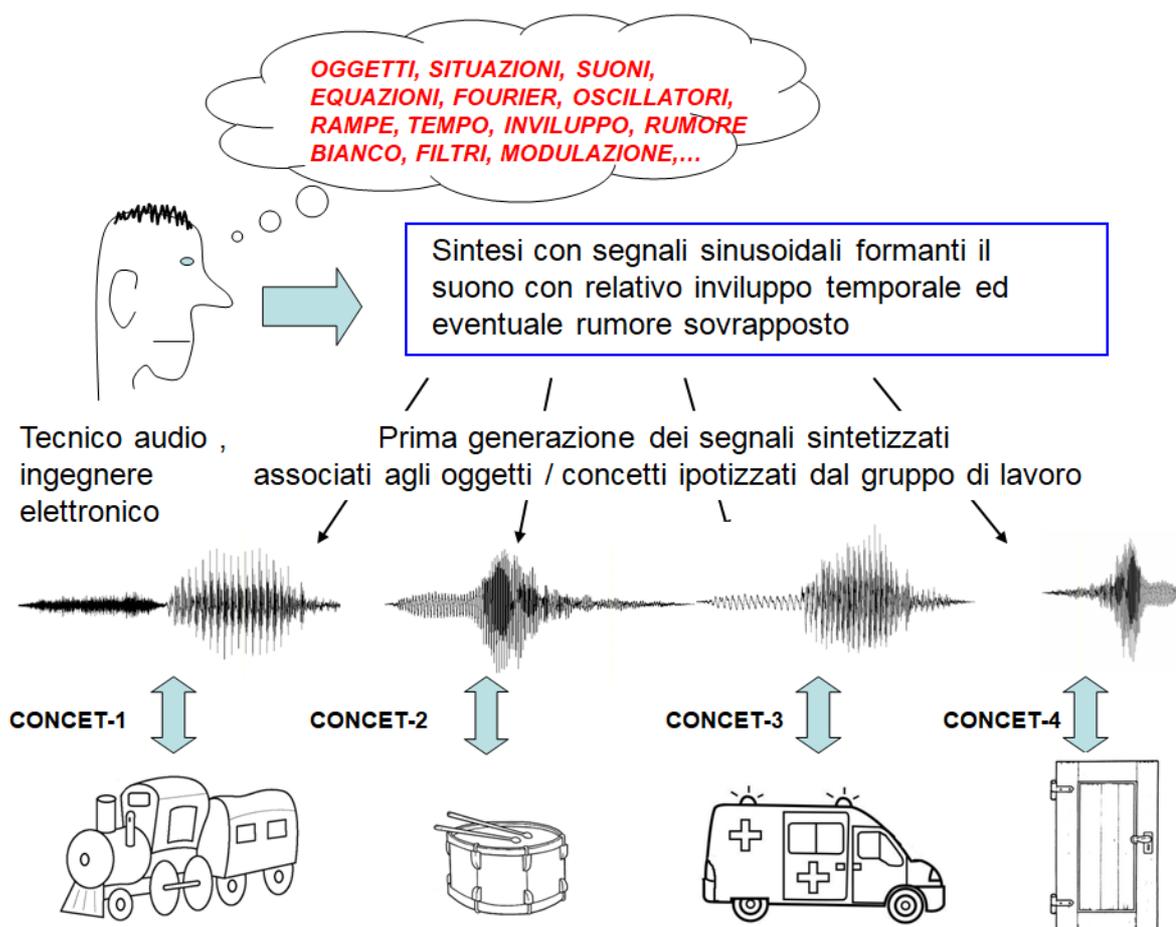


Figura 15: Seconda fase di selezione suoni: verifica da parte del tecnico delle condizioni adatte di un suono affinché possa essere artificialmente sintetizzato

### 4.3 CRITERI E MODALITÀ DI SCELTA DEI CONCETTI – TERZA FASE: ASCOLTO DEI SUONI DA PARTE DEL GRUPPO DI LAVORO

Il terzo passo per la realizzazione dei suoni di sintesi è costituito dall'ascolto, da parte del gruppo di lavoro, lo stesso che aveva ipotizzato una serie di suoni e oggetti/concetti associati, dei suoni sintetizzati dal personale tecnico, per verificare l'effettiva associazione tra suono e oggetto/concetto. Potrebbe risultare che alcuni suoni necessitino di essere modificati e migliorati, grazie a delle indicazioni fornite al tecnico del suono da parte del gruppo di lavoro. Si tratta di un lavoro congiunto tra gruppo di lavoro e tecnico del suono, per ottenere dei suoni ben adatti ai bambini.

Può essere che qualche suono non sia immediatamente riconoscibile o, persino, risulti poco adatto ad un bambino. In tal caso, già a livello di gruppo di lavoro, tale suono viene scartato.

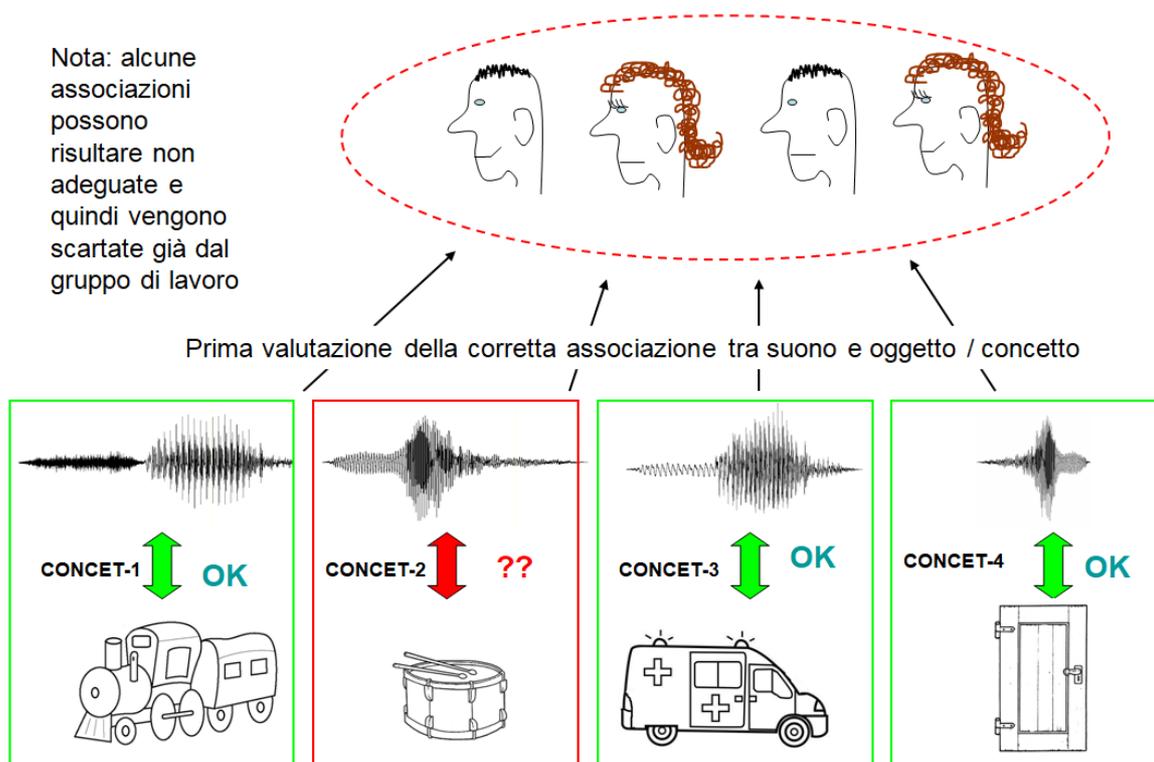


Figura 16: Terza fase di selezione suoni: ascolto da parte degli esperti dei primi risultati di sintesi

#### 4.4 CRITERI E MODALITÀ DI SCELTA DEI CONCETTI – QUARTA FASE: ASCOLTO DEI SUONI DA PARTE DI UN GRUPPO DI BAMBINI NORMOACUSICI

Il quarto passo per la realizzazione dei suoni di sintesi è costituito dall'ascolto, da parte di un gruppo di bambini normoudenti, dei suoni sintetizzati per verificare il successo dell'associazione tra suono e oggetto/concetto. Può succedere che qualche suono sia di non immediata interpretazione o venga interpretato in maniera errata dai bambini, oppure corrisponda ad un oggetto/concetto non del tutto familiare ai bambini. Associazioni che risultano meno intuitive vengono scartate.

Un aspetto molto importante da verificare è la partecipazione dei bambini, certamente legata ai suoni prodotti. Alcuni suoni possono essere associati a situazioni di gioco o, comunque, piacevoli: tali suoni e i corrispondenti oggetti/concetti sono da preferire.

Nota: alcune associazioni possono essere non del tutto intuitive per i bambini e, di conseguenza, saranno scartate per i test successivi

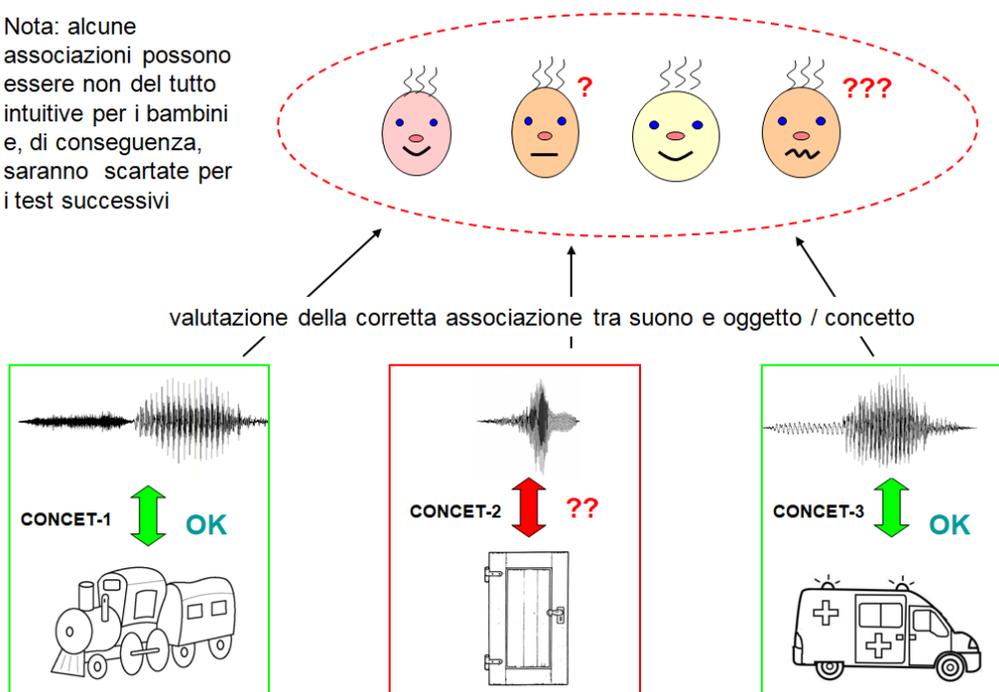


Figura 17: Quarta fase di selezione dei suoni: somministrazione dei segnali a bambini normoudenti

#### **4.5 ESECUZIONE DEL TEST CON L'UTILIZZO DEI SEGNALI DI SINTESI**

Una volta individuati i segnali adatti a eseguire il test, si passa alla esecuzione del test stesso sui pazienti per la determinazione della soglia uditiva.

Il test viene somministrato da personale medico, eventualmente coadiuvato da personale scolastico.

Si fanno sentire i vari suoni, che coprono il range frequenziale adeguato alla finalità del test, a diverse intensità, per individuare il livello minimo di intensità a cui ciascun suono viene ancora percepito dal soggetto, in modo da determinare la soglia percettiva nelle diverse zone frequenziali. In base al valore di tale soglia si può determinare se il soggetto può essere considerato normale da un punto di vista della percezione acustica oppure ipoacusico.

Nota: il test vero e proprio è preceduto da un breve addestramento per validare, da parte dei soggetti che partecipano al test, la corretta associazione tra suono e oggetto / concetto corrispondente. Tale addestramento consiste nel far sentire i diversi suoni, mostrando tutte le immagini (immagini che sono rappresentate secondo una veste grafica sicuramente compresa dei bambini, avvalorata sia dal gruppo di lavoro che dal campione di somministrazione dei bambini normoudenti), verificando che sia ben avvalorata ciascuna associazione: suono – concetto/immagine.

Al soggetto (bambino) vengono messe a disposizione diverse immagini, ciascuna corrispondente ad uno dei suoni che vengono presentati durante il test. Le immagini potrebbero essere stampate su un tabellone ed il bambino indica l'immagine corretta, oppure potrebbero essere stampate su diversi supporti, ad esempio cartoncini, ed il bambino solleva il cartoncino corrispondente all'immagine corretta corrispondente al suono percepito

(tale modalità è già stata sperimentata con successo su due gruppi di bambini di classe prima della Scuola dell'Infanzia).

È allo studio la possibilità di interagire con un singolo bambino o un gruppo di bambini mediante dei tablet touchscreen, gestito da un'unità PC centrale, dove le immagini possono essere statiche o dinamiche e con la possibilità di un'interrogazione delle risposte del bambino sul tablet mediante l'unità PC centrale.

Se il bambino percepisce correttamente tutti i suoni è in grado di associare correttamente ciascun suono col corrispondente oggetto / concetto indicando la figura corrispondente sul tabellone, cartoncino o dispositivo multimediale touch screen come illustrato nella fig. 18.

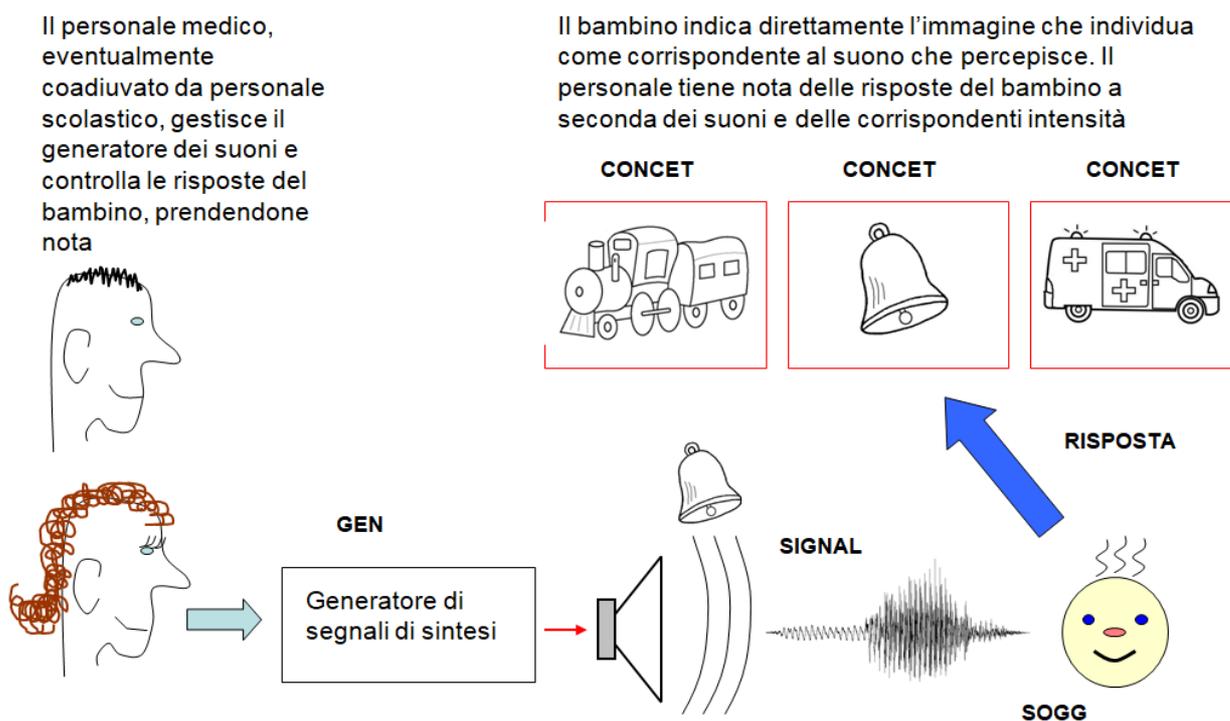


Figura 18: Procedura esecutiva del test uditivo su un bambino singolo che identifica correttamente gli input

Se il bambino invece ha qualche difficoltà nella percezione di alcuni suoni mostrerà qualche indecisione nella determinazione dell'oggetto / concetto esatto, indicando la figura sbagliata o presentando indecisione ed esitazione, come illustrato nella fig. 19.

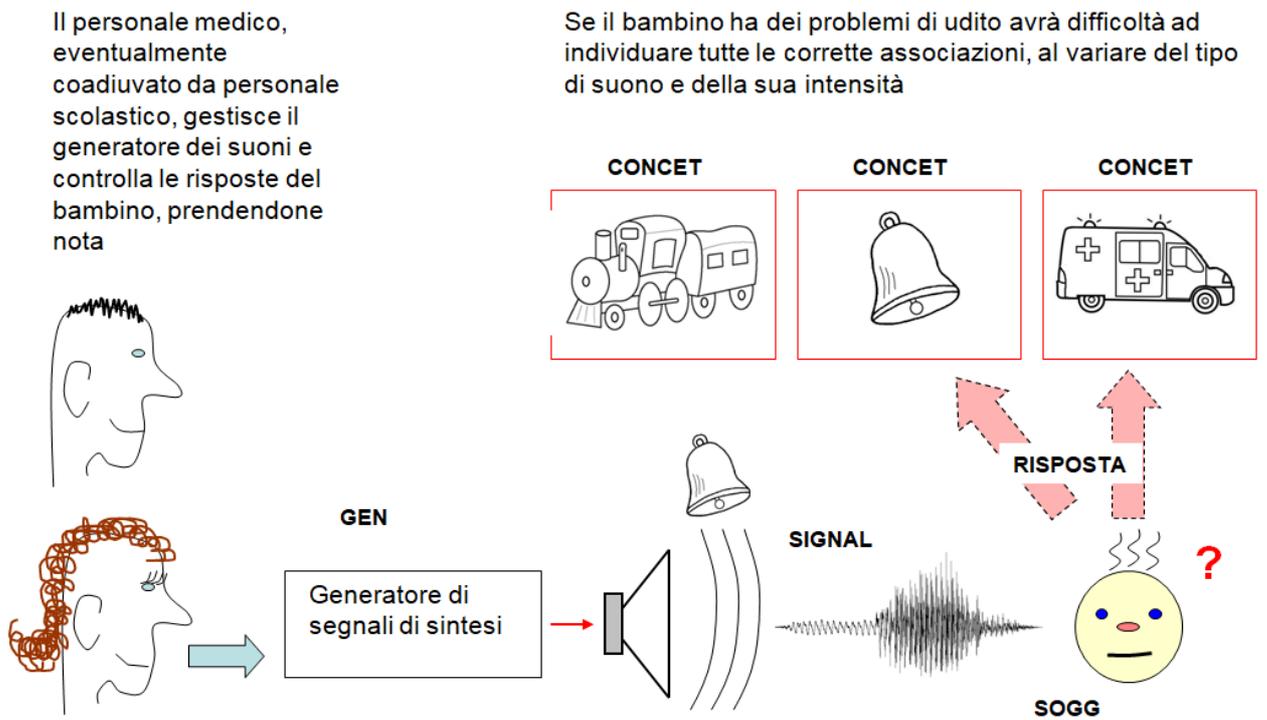


Figura 19: Procedura esecutiva del test uditivo su un bambino singolo che ha delle incertezze sull'associazione suono-concetto/oggetto

## Capitolo 5

# TABELLE COSTRUTTIVE DEI SUONI SINTETIZZATI

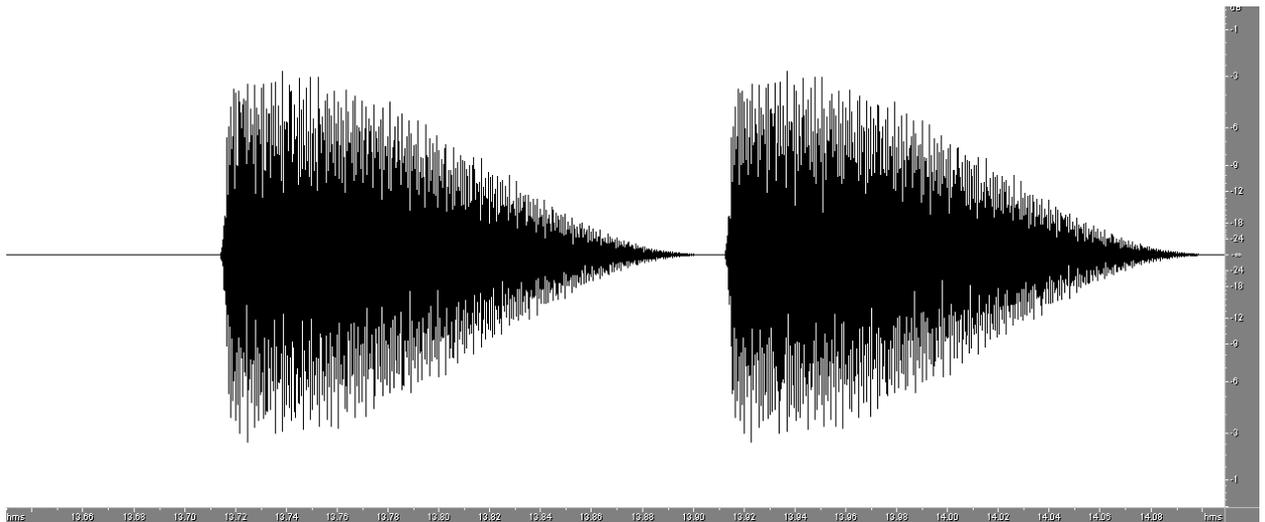
### 5.1 CAMPANELLO (4kHz – 6kHz)

Il suono di sintesi associabile al tintinnio di un campanello è stato sintetizzato in due forme trasposte in frequenza: uno con frequenza fondamentale a 4kHz e uno con frequenza fondamentale a 6kHz per una maggiore copertura dello spettro uditivo sfruttando lo stesso input associativo.

Si tratta di un segnale sinusoidale (tono puro) non filtrato della durata di 200ms che si ripete per 5 colpi ("ding") ritmici per agevolare l'associazione suono-concetto.

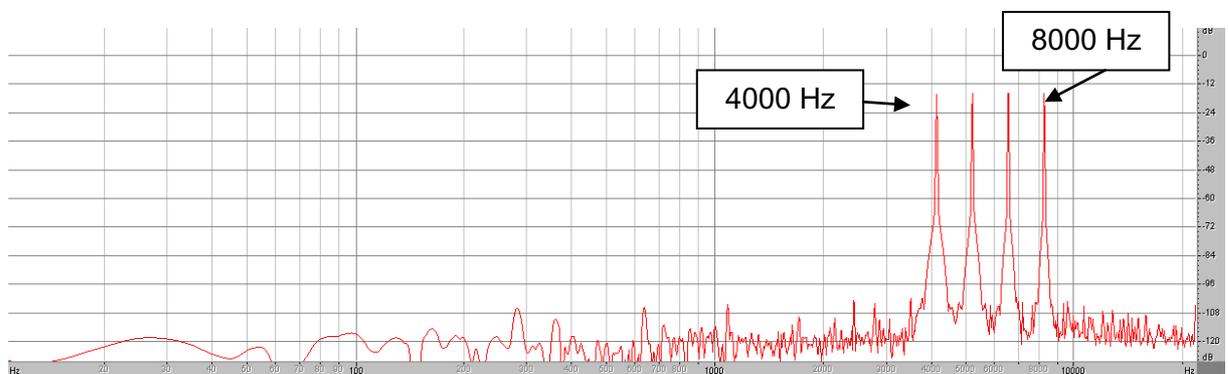
<p>COMPONENTI SINUSOIDALI</p> <table><tr><td>F1 = 4000 Hz</td><td>AMPIEZZA = 100%</td></tr><tr><td>F2 = F1 * 1.26 = 5040 Hz</td><td>AMPIEZZA = 100%</td></tr><tr><td>F3 = F1 * 1.58 = 6320 Hz</td><td>AMPIEZZA = 100%</td></tr><tr><td>F4 = 2 * F1 = 8000 Hz</td><td>AMPIEZZA = 100%</td></tr></table> <p>EQUIVALENTE 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>	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>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>ASSENTI</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>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>								

Tabella III: parametri/regole costruttive del segnale "Campanello 4kHz"



**Figura 20: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Campanello 4kHz"**

Tramite il grafico nel dominio del tempo riusciamo ad individuare visivamente l'andamento degli impulsi, la loro quantità e la distanza tra un colpo e il colpo successivo nei segnali che presentano più di un unico colpo. Apprezzabile nello specifico caso del campanello anche il tempo di fine attuato tramite un effetto "fade-out", che copre la maggior parte dell'impulso (150ms su 200ms). La durata totale del segnale comprensiva di tutti e 5 i colpi con le relative pause intermedie è di 1s.



**Figura 21: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Campanello 4kHz"**

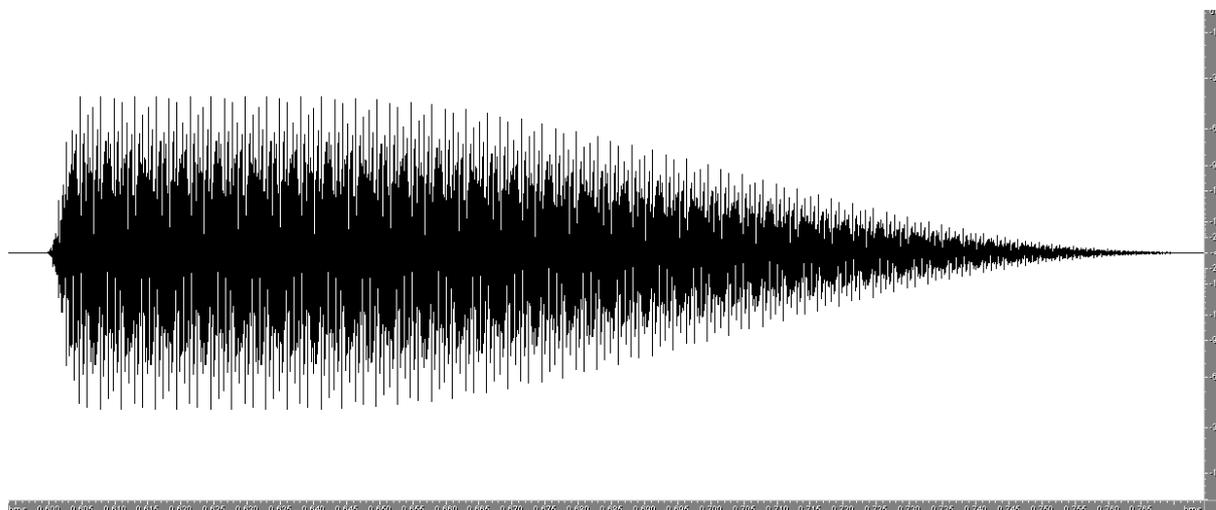
Con il grafico nel dominio della frequenza sono ben identificabili i picchi delle 4 frequenze fondamentali (specificati nella Tabella III), che ricoprono il range di 1/8 (un'ottava), che il suono è destinato a testare (range dei suoni acuti), indice di massima controllabilità del suono a fini misuristici.

COMPONENTI SINUSOIDALI	
F1 = 6000 Hz	AMPIEZZA = 100%
F2 = F1 * 1.26 = 7560 Hz	AMPIEZZA = 100%
F3 = F1 * 1.58 = 9480 Hz	AMPIEZZA = 100%
F4 = 2 * F1 = 12000 Hz	AMPIEZZA = 100%
EQUIVALENTE AD UN ACCORDO "MAGGIORE"	
INVILUPPO DELL'AMPIEZZA	
Tr = 5 ms ; Ts = 25 ms ; Tf = 150 ms ;	
MODULAZIONE AM = 100%	
PERIODO DI RIPETIZIONE = 200 ms	
PER UN TOTALE DI 5 COLPI (1s)	
NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB	

COMPONENTI DEL RUMORE
ASSENTI

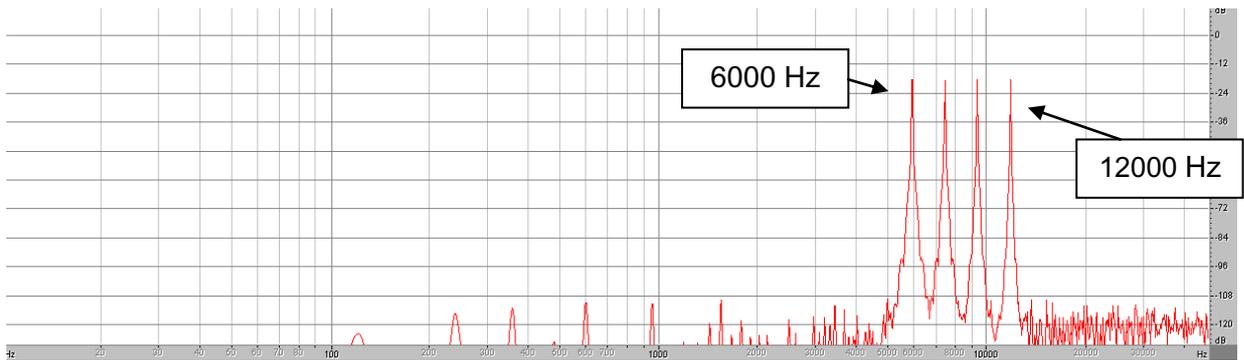
Note: suono che ricorda molto un campanellino di bronzo o simile, dal suono gradevole in quanto corrispondente ad un accordo tonalità maggiore; la frequenza di ripetizione scelta può esser variata a piacere in modo da passare da un suono quasi continuo a dei ding nettamente distinti a seconda delle esigenze diagnostiche.

**Tabella IV: parametri/regole costruttive del segnale "Campanello 6kHz"**



**Figura 22: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Campanello 6kHz"**

Essendo il grafico nel dominio del tempo della versione a 6kHz del segnale "campanello" analoga alla controparte a 4kHz, qui mostriamo uno zoom sullo spettro di uno solo dei 5 colpi che compongono il segnale, così da avere una panoramica più dettagliata dei tempi di attacco e di fine dell'impulso.



**Figura 23: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Campanello 6kHz"**

Con il grafico nel dominio della frequenza sono invece apprezzabili le sostanziali differenze tra le due versioni: qui osserviamo i picchi delle frequenze fondamentali traslati rispetto all'altra versione, ma comunque in grado di rendere il segnale associabile al suono di un campanello, magari più piccolo, essendo un suono più acuto. Le modalità di composizione del segnale e le proporzioni tra picchi di frequenze fondamentali sono i medesimi. In questo modo con un solo concetto associato è possibile coprire da un punto di vista misuristico il range tra i 4kHz e i 12kHz, avendo un'ottima panoramica sulle capacità uditive del soggetto esaminato in tutto lo spettro delle frequenze acute.

## **5.2 TRENINO (1kHz – 800Hz)**

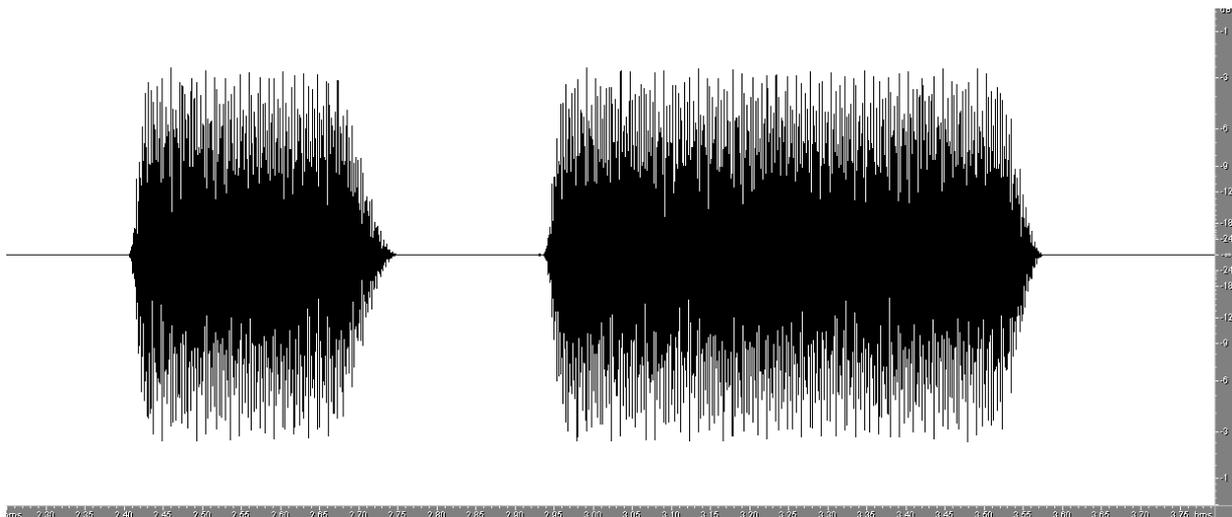
Anche il suono di sintesi associabile al fischio di un treno è stato sintetizzato in due forme trasposte in frequenza: uno con frequenza fondamentale a 1kHz e uno con frequenza fondamentale a 800Hz, sempre per una maggiore copertura dello spettro uditivo sfruttando lo stesso input associativo.

Si tratta di due segnali sinusoidale (toni puri) in successione intervallati da una breve pausa, dove il primo colpo ha una durata minore del secondo. La

durata totale del segnale corrisponde ad 1.15s. I segnali sinusoidali sono abbinati ad un rumore bianco filtrato con filtro passa banda del quarto ordine di Bessel con frequenze di taglio a 2kHz e 8kHz, con ampiezza massima di -40dB rispetto alle componenti sinusoidali. La funzione del rumore filtrato ci permette di dare al suono quella componente di distorsione necessaria a rendere riconoscibile il concetto associato, in quanto in questo caso con il mero uso delle componenti sinusoidali è alquanto improbabile associare il suono al concetto desiderato.

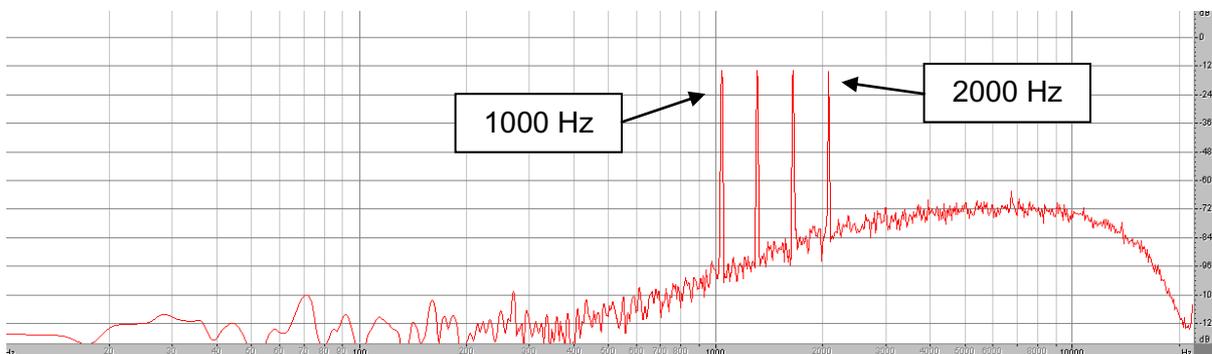
<p>COMPONENTI SINUSOIDALI (PRIMO COLPO)</p> <p>F1 = 1000 Hz                      AMPIEZZA = 100%  F2 = F1 * 1.26 = 1260 Hz      AMPIEZZA = 100%  F3 = F1 * 1.58 = 1580 Hz      AMPIEZZA = 100%  F4 = 2 * F1 = 2000 Hz          AMPIEZZA = 100%</p> <p>EQUIVALENTE AD UN ACCORDO "MAGGIORE"</p> <p>COMPONENTI SINUSOIDALI (SECONDO COLPO)</p> <p>F1 = 1000 Hz                      AMPIEZZA = 100%  F2 = F1 * 1.26 = 1260 Hz      AMPIEZZA = 100%  F3 = F1 * 1.58 = 1580 Hz      AMPIEZZA = 100%  F4 = 2 * F1 = 2000 Hz</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (PRIMO COLPO)  Tr = 25 ms ; Ts = 250 ms ; Tf = 75 ms ;  MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (SECONDO COLPO)  Tr = 25 ms ; Ts = 500 ms ; Tf = 75 ms ;  MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>PAUSA TRA I DUE COLPI = 200 ms</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 1.15 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>RUMORE BIANCO FILTRATO " PASSA BANDA"</p> <p>F1 = 2000 Hz    Fh = 8 000 Hz</p> <p>QUARTO ORDINE DI BESSEL</p> <p>AMPIEZZA MAX -40 dB RISPETTO ALLE COMPONENTI SINUSOIDALI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il classico treno di Far West. Nel caso dell'esempio si tratta di un accordo in tonalità maggiore.</p>

**Tabella V: parametri/regole costruttive del segnale "Trenino 1kHz"**



**Figura 24: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Trenino 1kHz"**

Con questo grafico possiamo vedere come sono divisi i due colpi che formano il segnale: entrambi i colpi condividono tempi di attacco e di fine, rispettivamente di 25ms e 75ms, mentre ciò che cambia è il tempo di sostentamento, che corrisponde a 250ms per il primo colpo e a 500ms per il secondo. La pausa tra un colpo e l'altro è di 200ms.



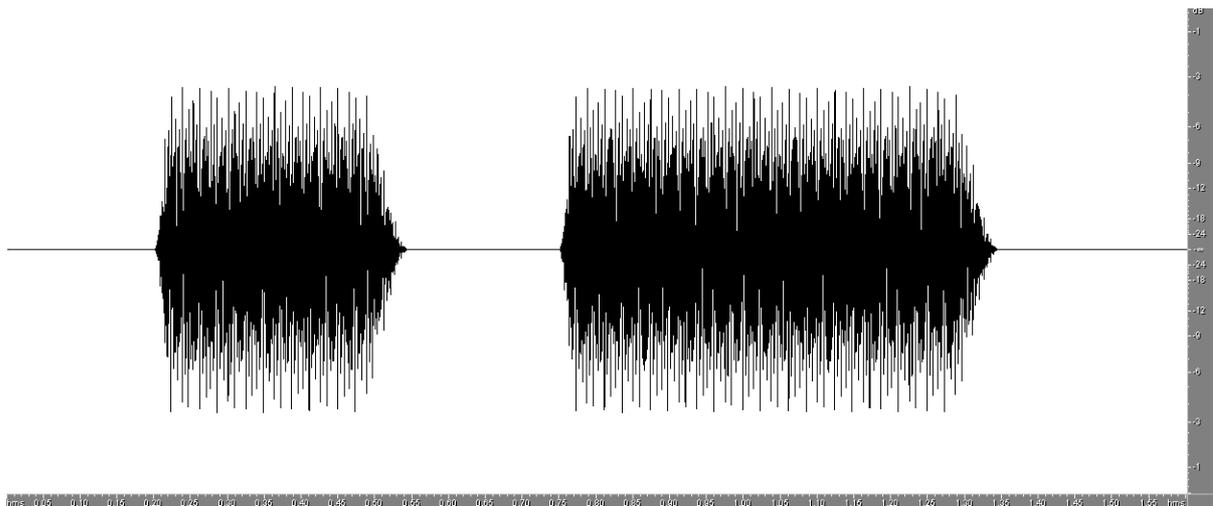
**Figura 25: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Trenino 1kHz"**

Essendo il segnale composto sia da componenti sinusoidali che da rumore filtrato, il grafico nel dominio della frequenza mostra anche lo spettro del rumore, dove sono ben identificabili anche le frequenze di taglio. È inoltre chiaramente visibile come il rumore filtrante non comprometta in alcun modo l'accuratezza misuristica del segnale in quanto i picchi fondamentali della componente sinusoidale hanno un'ampiezza di almeno 40dB superiore a quella del filtro.

<p>COMPONENTI SINUSOIDALI (PRIMO COLPO)</p> <p>F1 = 800 Hz                      AMPIEZZA = 100%  F2 = F1 * 1.26 = 1008 Hz      AMPIEZZA = 100%  F3 = F1 * 1.58 = 1264 Hz      AMPIEZZA = 100%  F4 = 2 * F1 = 1600 Hz          AMPIEZZA = 100%</p> <p>EQUIVALENTE AD UN ACCORDO "MAGGIORE"</p> <p>COMPONENTI SINUSOIDALI (SECONDO COLPO)</p> <p>F1 = 800 Hz                      AMPIEZZA = 100%  F2 = F1 * 1.26 = 1008 Hz      AMPIEZZA = 100%  F3 = F1 * 1.58 = 1264 Hz      AMPIEZZA = 100%  F4 = 2 * F1 = 1600 Hz          AMPIEZZA = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (PRIMO COLPO)  Tr = 25 ms ; Ts = 250 ms ; Tf = 75 ms ;  MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (SECONDO COLPO)  Tr = 25 ms ; Ts = 500 ms ; Tf = 75 ms ;  MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>PAUSA TRA I DUE COLPI = 200 ms</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 1.15 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>RUMORE BIANCO FILTRATO "PASSA BANDA"</p> <p>F1 = 2000 Hz    Fh = 8 000 Hz</p> <p>QUARTO ORDINE DI BESSEL</p> <p>AMPIEZZA MAX -40 dB RISPETTO ALLE COMPONENTI SINUSOIDALI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il classico treno di Far West. Nel caso dell'esempio si tratta di un accordo in tonalità maggiore.</p>

**Tabella VI: parametri/regole costruttive del segnale "Trenino 800Hz"**

La seconda versione del segnale "trenino" ha come frequenza fondamentale 800Hz. La componente di rumore rimane invariata.



**Figura 26: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Trenino 800Hz"**

Come si evince dal grafico nel dominio del tempo, le caratteristiche di durata e articolazione dei colpi rimane totalmente invariata.

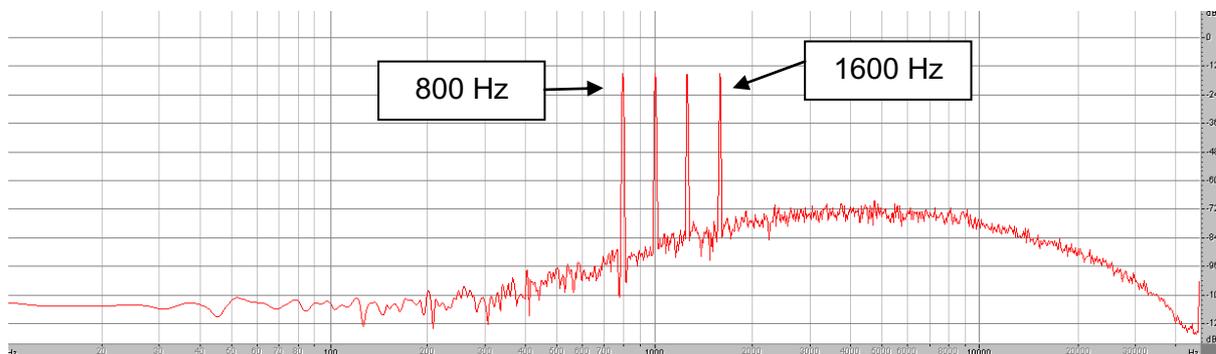


Figura 27: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Trenino 800Hz"

Apprezzabile invece la differenza della posizione dei picchi fondamentali del grafico nel dominio della frequenza. Entrambi i segnali "trenino" insieme coprono uno spettro frequenziale dagli 800Hz ai 2kHz, fornendo dati misuristici relativi ad un range di altezza media.

### 5.3 MOTIVO MUSICALE

È una melodia studiata appositamente per ricoprire un'intera ottava. Copre le frequenze dalla nota Do a 523Hz alla successiva nota Do a 1046Hz. Il motivetto presenta 21 note distinte, quindi a sua volta si può evincere che il segnale include 21 componenti sinusoidali di frequenza variabile in base alla nota rappresentata. Non è presente una componente di rumore. Il punto forte di questo segnale è che può essere potenzialmente trasposto in qualsiasi punto dello spettro frequenziale senza mai perdere di significato, presentando quindi una copertura massima e ottimale di tale spettro. Essendo un suono più dinamico rispetto agli altri segnali di sintesi

ricreati finora, è anche un ottimo strumento per divertire i bambini e mantenere la loro attenzione.



Motivetto composto da Angelica e Chiara

<p>COMPONENTI SINUSOIDALI (PRESENTI UNA ALLA VOLTA)</p> <p>FREQUENZA dal DO (523 Hz) al DO (1046 Hz) mediante trasposizione è possibile occupare sempre una ottava ma posizionata in un range frequenziale arbitrario</p> <p>TUTTE DELLA MEDESIMA AMPIEZZA</p> <p>MODULAZIONE AM = 100% Tr = 10 ms ; Tf = 50 ms ;</p> <p>NUMERTO NOTE = 21</p> <p>DURATA COMPLESSIVA 3 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>RUMORE ASSENTE</p> <p>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.</p>
--	---

Tabella VII: parametri/regole costruttive del segnale "Motivo musicale"

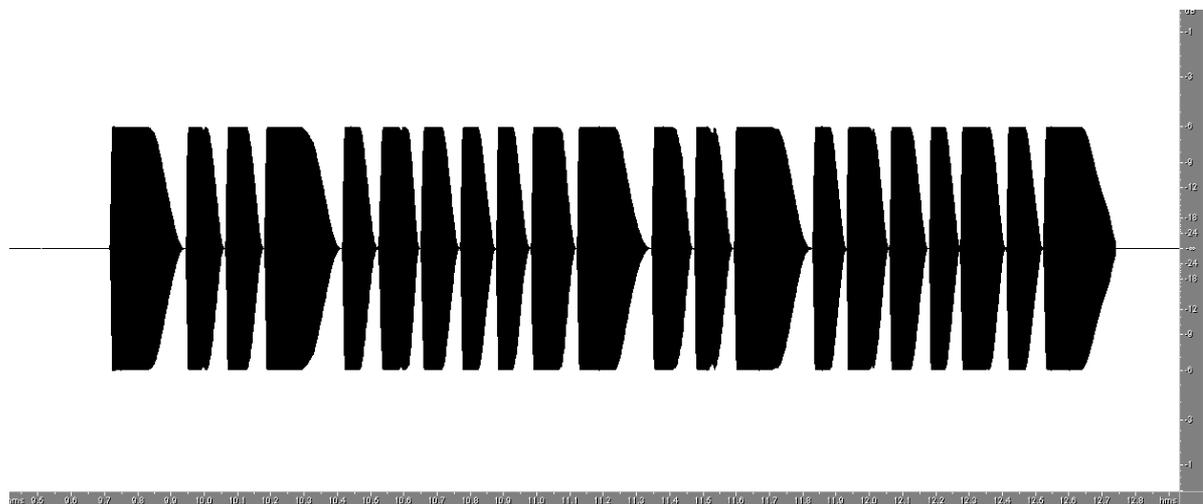
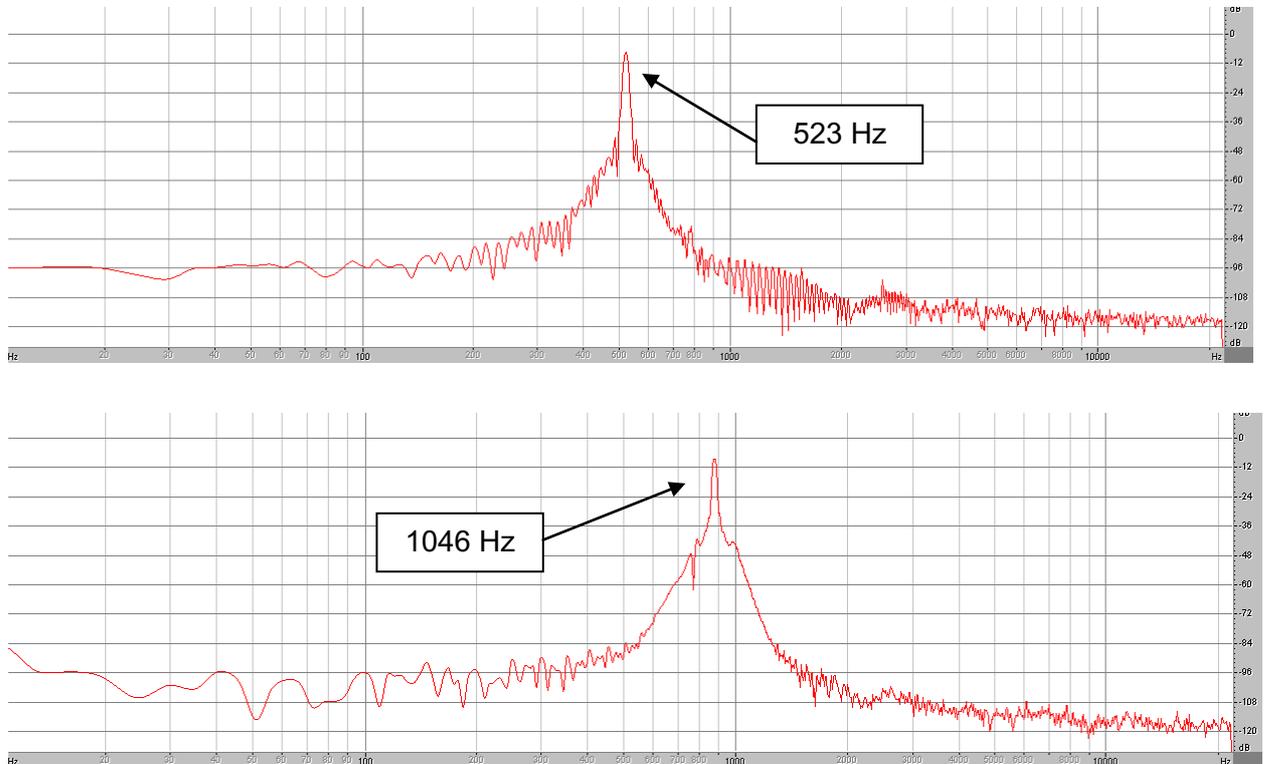


Figura 28: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Motivo musicale"

Il grafico nel dominio del tempo del segnale "motivo musicale" permette di avere un quadro visivo della suddivisione temporale delle 21 note incluse al suo interno, di differente durata. La durata complessiva del segnale è di 3s.



**Figura 29: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Motivo musicale" - frequenza più grave nel primo grafico e frequenza più acuta nel secondo grafico**

I due grafici insieme mostrano nel dettaglio due dei 21 picchi frequenziali del segnale sintetizzato. Apprezzabile la precisione e pulizia del risultato.

## 5.4 SIRENA

Il segnale "sirena" è un segnale differente da tutti i precedenti in quanto ha come formante un'onda quadra vobulata e filtrata. È un segnale che non presenta una componente di rumore. La frequenza minima della formante è 1kHz, mentre la

massima si stanza a 2kHz. La frequenza modulante è 1Hz. È un segnale unico, quindi non presenta colpi multipli, bensì continua costantemente dall'inizio alla fine dello stimolo. Il segnale modulato è quindi poi filtrato con un filtro passa basso del terzo ordine di Bessel con una frequenza di taglio sita a 1kHz.

<p>FORMANTE: ONDA QUADRA VOOLTA E FILTRATA</p> <p>Fmin = 1 kHz – Fmax = 2 kHz</p> <p>Frequenza modulante = 1 Hz</p> <p>Segnale filtrato con filtro passa basso del 3 ordine di Bessel con freq di taglio = 1 kHz</p> <p>Tr = 100 ms ; Tf = 1000 ms ;</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 3 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A – 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>ASSENTI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto la classica sirena di un'ambulanza o simile</p>

Tabella VIII: parametri/regole costruttive del segnale "Sirena"

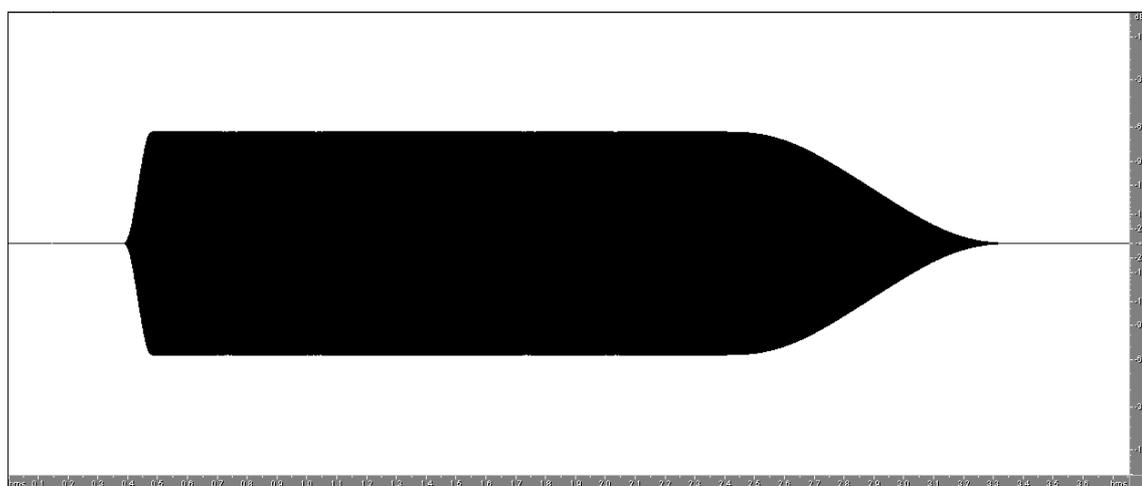
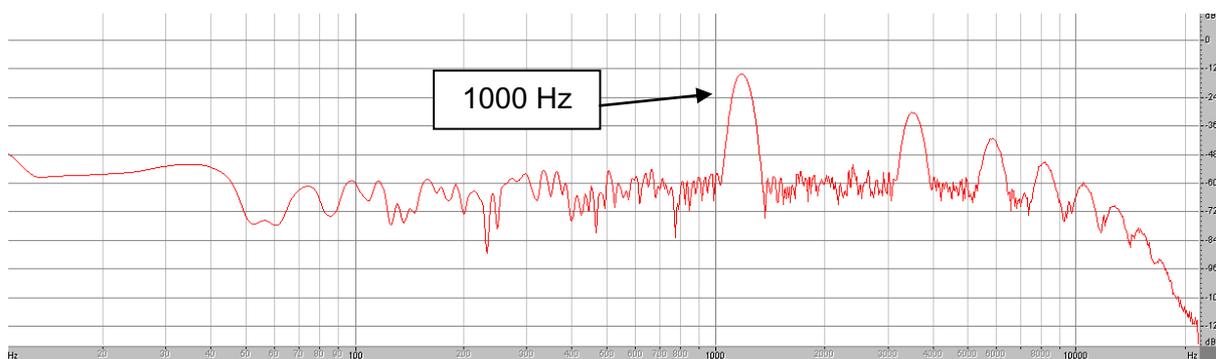


Figura 30: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Sirena"

La durata totale dello stimolo è di 3s. Dal grafico nel dominio del tempo di può apprezzare bene l'effetto di fading adottato sia all'inizio che alla fine del segnale. In particolare il tempo di fine è molto più lungo del tempo di inizio proprio per rendere in maniera realistica l'idea di una sirena dei soccorsi che lentamente si allontana dal soggetto.



**Figura 31: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Sirena"**

La componente significativa ai fini del test è quella di ampiezza maggiore. Le componenti ulteriori di frequenza più elevata, hanno un'ampiezza che man mano decresce all'aumentare della frequenza per la presenza di un'azione di filtraggio passa basso nei confronti del segnale originario costituito da un'onda quadra.

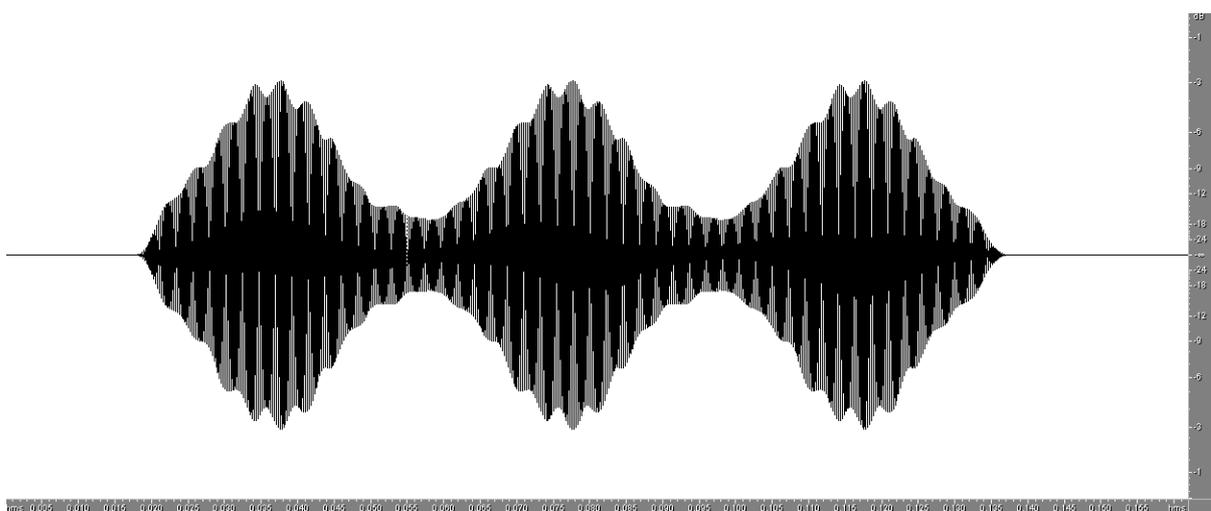
## 5.5 GRILLO

Un altro segnale modulato è il segnale "grillo", associabile al canto di un grillo, composto da una formante sinusoidale a 4kHz modulata in ampiezza con un segnale composito. Presente una modulante a 25Hz con una profondità di modulazione del 75%, abbinata ad un'altra sinusoide a 250Hz di ampiezza pari ad 1/10 dell'ampiezza della componente a 25Hz. Non sono presenti componenti del rumore. Il segnale è composto da 4 colpi, ognuno comprendente 3 periodi completi della sinusoide modulante a 25Hz. Il segnale potrebbe essere di riconoscimento situazionale in base

all'ambiente dove vive il bambino: ad esempio se vive nel centro di una frenetica città è molto meno probabile che abbia avuto esperienza del suono in questione per poterlo associare correttamente. È comunque raccomandato un colloquio iniziale con gli esaminati per capire gli stili di vita a cui sono abituati e a che suoni sono costantemente sottoposti.

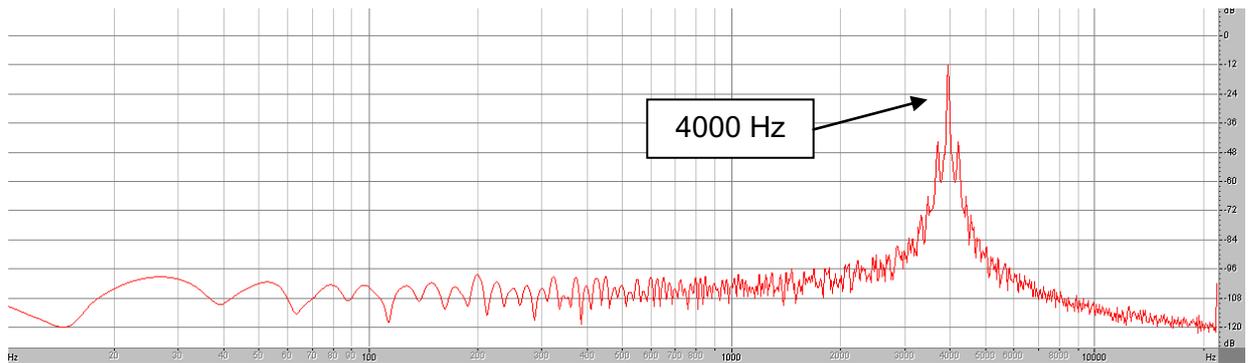
<p>COMPONENTE SINUSOIDALE MODULATA IN AMPIEZZA CON SEGNALE COMPOSITO</p> <p>F1 = 4000 Hz                      AMPIEZZA = 100%</p> <p>PROFONDITA' DI MODULAZIONE 75% (RIFERITA ALLA MODULANTE A 25 Hz)</p> <p>MODULANTE COMPOSITA: SINUSOIDE 25 Hz + SINUSOIDE 250 Hz DI AMPIEZZA PARI A 1/10 DELL'AMPIEZZA DELLA COMPONENTE A 25 Hz</p> <p>SINGOLO COLPO: 3 PERIODI COMPLETI DELLA MODULANTE A 25 Hz</p> <p>NUMERO COLPI TOTALI: 4 COLPI SEPARATI DA 200 ms DI PAUSA</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>ASSENTI</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il canto del grillo di campagna</p>

**Tabella IX: parametri/regole costruttive del segnale "Grillo"**



**Figura 32: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Grillo"**

Il relativo grafico nel dominio del tempo permette di apprezzare dettagliatamente l'andamento delle due sinusoidi modulanti, che danno come effetto il caratteristico "tremolio" del suono prodotto da un vero grillo. Sono facilmente identificabili anche i 3 periodi della modulante a 25Hz che delimitano uno dei quattro colpi del suono. Nel grafico è rappresentato solo un colpo, gli altri colpi sono intervallati tra loro da una pausa di 200ms.



**Figura 33: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Grillo"**

Le caratteristiche peculiari del segnale "grillo" risiedono principalmente nella modulazione, apprezzabile nella fig. 32. Il grafico nel dominio della frequenza ci mostra come il segnale sia incentrato sulla frequenza 4kHz.

## 5.6 "TOC TOC" DELLA PORTA

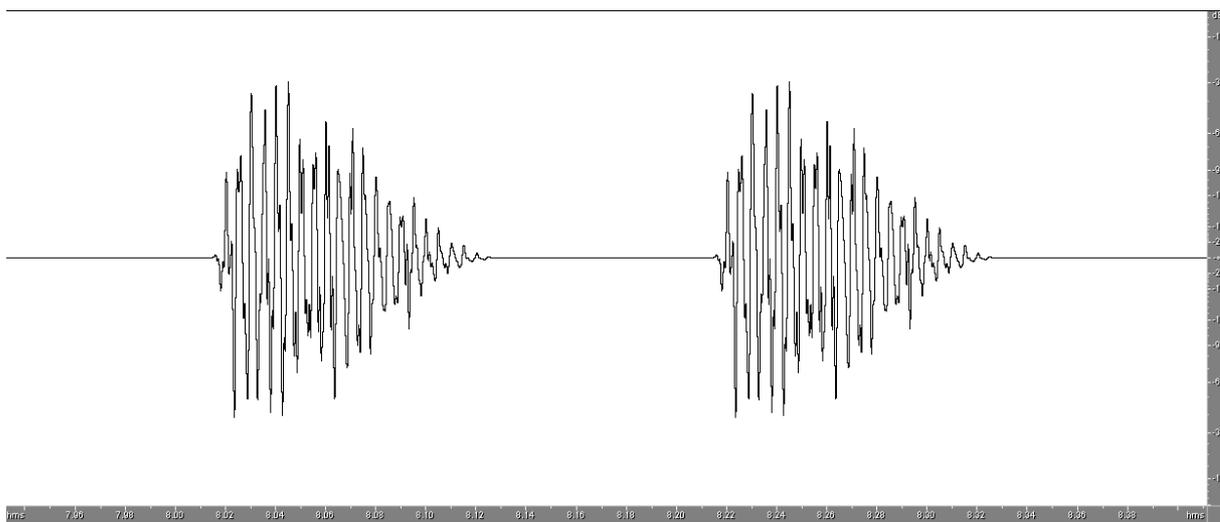
Questo è un segnale che è stato rielaborato dopo un insuccesso relativo all'associazione suono-concetto ed è attualmente in attesa di nuovi test di verifica dopo aver apportato le opportune modifiche.

Il segnale è composto da una componente sinusoidale formante a 200 Hz con la presenza di una componente di rumore filtrato. Il segnale è composto da 4 colpi intervallati da una pausa di 90ms per una durata totale del segnale di 0,8s. La

componente di rumore è un rumore bianco filtrato con filtro passa banda del quinto ordine di Butterworth con frequenze di taglio a 200Hz e 400Hz con un'ampiezza massima di -15dB rispetto alla componente formante.

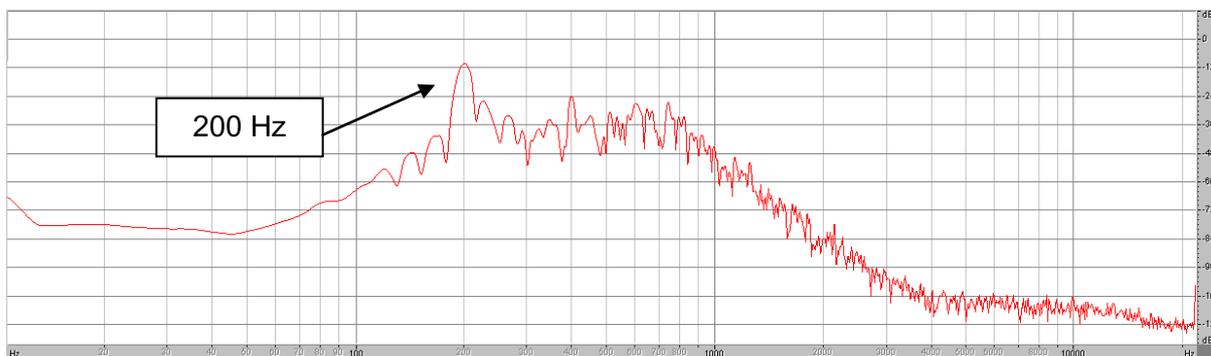
<p>COMPONENTI SINUSOIDALI</p> <p>F1 = 200 Hz                      AMPIEZZA = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (PER OGNI COLPO)  Tr = 10 ms ; Ts = 15 ms ; Tf = 75 ms ;  DURATA DI CIASCUN COLPO = 100 ms  MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>PAUSA TRA I COLPI = 90 ms</p> <p>NUMERO COLPI = 4</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 0,8 S  NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>RUMORE BIANCO FILTRATO " PASSA BANDA"</p> <p>F1 = 200 Hz    Fh = 400 Hz</p> <p>QUINTO ORDINE DI BUTTERWORTH</p> <p>AMPIEZZA MAX -15 dB RISPETTO ALLA COMPONENTE SINUSOIDALE</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il bussare ad una porta</p>

**Tabella X: parametri/regole costruttive del segnale "Toc Toc della porta"**



**Figura 34: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Toc Toc della porta"**

Il grafico nel dominio del tempo del segnale “toc toc” è composto da vari colpi intervallati ritmicamente e di durata molto breve: ogni colpo ha una durata totale di 100ms ed è caratterizzato da un tempo di inizio molto breve, solo 10ms, e un tempo di fine, che copre la maggior parte dell’impulso, della durata di 75ms .



**Figura 35: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Toc Toc della porta"**

I picchi frequenziali di questo segnale non sono così di spicco nel loro contesto come i segnali che abbiamo visto in precedenza per via del tipo di rumore filtrante utilizzato allo scopo di rendere il segnale associabile al “toc toc” di quando qualcuno bussa alla porta. Ad ogni modo è apprezzabile un picco di intensità in corrispondenza dei 200Hz, permettendo al segnale di valutare le capacità uditive in una parte del range di registro grave dello spettro frequenziale nei soggetti esaminati.

## 5.7 LEGNETTI

Il segnale che ricorda il suono dei legnetti è composto in maniera molto simile a quello del “toc toc” della porta: presenta una componente sinusoidale formante ad una frequenza di 1kHz e una componente di rumore bianco filtrato con un filtro passa banda del quinto ordine di Butterworth con frequenze di taglio a 800Hz e 1600Hz con un’ampiezza massima di -20dB rispetto alla componente sinusoidale. Anche questo segnale presenta delle ripetizioni di colpi ma, diversamente dal segnale “toc toc”, i

colpi sono quattro e sono disposti aritmicamente con pause irregolari all'interno della durata totale del segnale (1,25s).

COMPONENTI SINUSOIDALI

F1 = 1000 Hz                      AMPIEZZA = 100%

INVILUPPO DELL'AMPIEZZA DEL SEGNALE  
SINUSOIDALE E DEL RUMORE

Tr = 5 ms ; Ts = 20 ms ; Tf = 100 ms ;  
MODULAZIONE AM = 100%

RIPETIZIONE ARITMICA  
PER UN TOTALE DI 4 COLPI (1,25 s DI DURATA  
TOTALE)

NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB

COMPONENTI DEL RUMORE

RUMORE BIANCO FILTRATO "PASSA BANDA"

F1 = 800 Hz    Fh = 1600 Hz

QUINTO ORDINE DI BUTTERWORTH

AMPIEZZA MAX -20 dB RISPETTO ALLA  
COMPONENTE SINUSOIDALE

Note: suono che ricorda molto una  
coppia di legnetti che vengono percossi  
uno sull'altro

Tabella XI: parametri/regole costruttive del segnale "Legnetti"

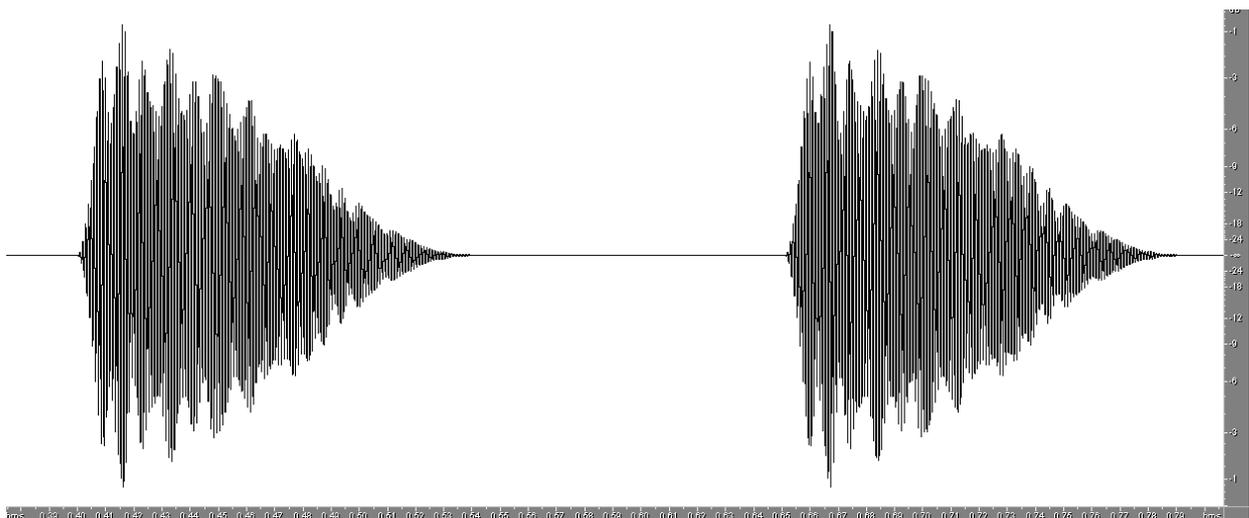
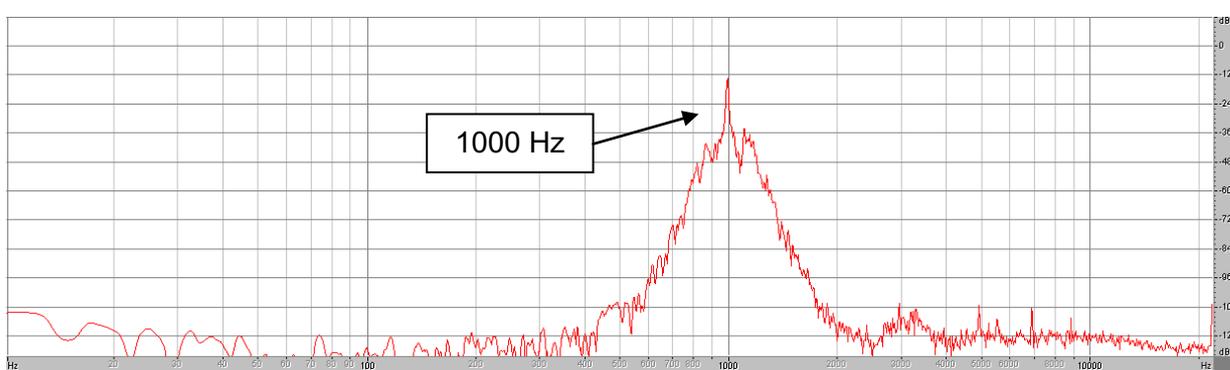


Figura 36: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Legnetti"

Nel grafico del dominio del tempo relativo al segnale “legnetti” sono state rappresentate solo due delle ripetizioni dei colpi per poter osservare meglio i dettagli dell’andamento delle curve. Ogni colpo ha una durata di 125ms, suddivisi in questo modo: tempo di attacco di 5ms, tempo di stazionamento di 20ms e tempo di fine di 100ms. Come accennato in precedenza, la ripetizione dei colpi nel segnale è aritmica e gli intervalli tra un colpo e un altro sono di durata diversa e totalmente personalizzabile. La caratteristica dell’aritmicità di ripetizione dei colpi aiuta il soggetto esaminato ad associarlo ad uno strumento musicale in quanto con questo tipo di ripetizione è possibile simulare un piccolo ritmo musicale, associabile più facilmente ad uno strumento a percussione.



**Figura 37: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Legnetti"**

Il grafico nel dominio della frequenza mette in evidenza la frequenza fondamentale a 1kHz. Il segnale va quindi a valutare le capacità uditive nello spettro delle frequenze medie.

## **5.8 GRANCASSA**

Il segnale “grancassa” è al momento il segnale più grave che sia stato sintetizzato, con una componente sinusoidale formante a soli 64Hz. Per rendere il suono un po’ più “sordo” per simulare più accuratamente il suono della grancassa di una banda, è

stata inserita una componente di rumore bianco filtrato con filtro passa banda del quinto ordine di Butterworth con frequenze di taglio a 64Hz e 128Hz con ampiezza massima di -20dB rispetto alla componente sinusoidale.

COMPONENTI SINUSOIDALI

F1 = 64 Hz                      AMPIEZZA = 100%

INVILUPPO DELL'AMPIEZZA (PER OGNI COLPO)  
 Tr = 0 ms ; Ts = 50 ms ; Tf = 400 ms ;  
 DURATA DI CIASCUN COLPO = 450 ms  
 MODULAZIONE AM = 100%

PAUSA TRA I COLPI = 50 ms

NUMERO COLPI = 4

NOTE: DURATA COMPLESSIVA 2 s

NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB

COMPONENTI DEL RUMORE

RUMORE BIANCO FILTRATO " PASSA BANDA"

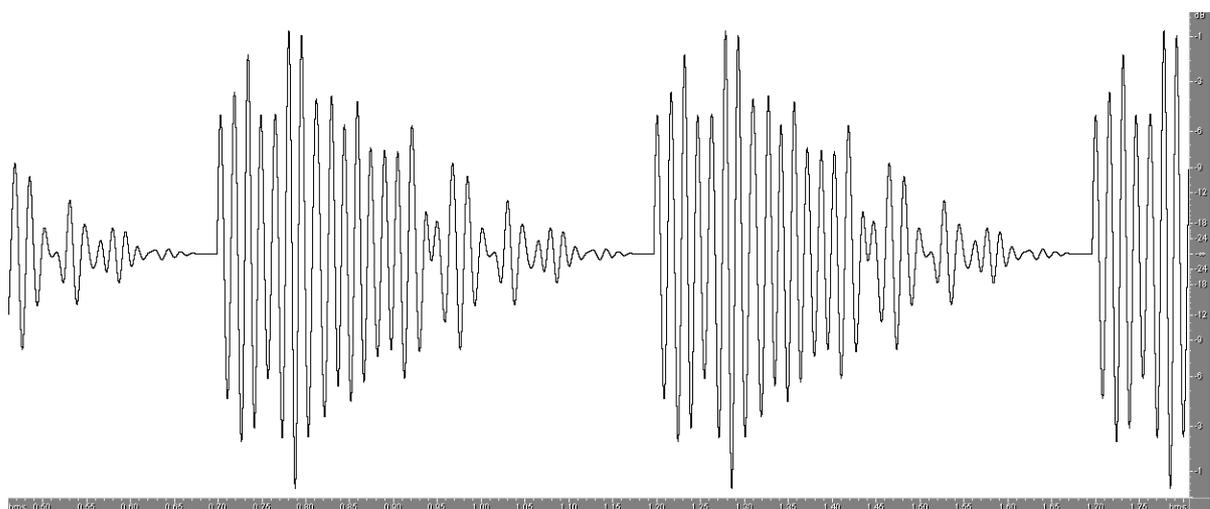
F1 = 64 Hz      Fh = 128 Hz

QUINTO ORDINE DI BUTTERWORTH

AMPIEZZA MAX -20 dB RISPETTO ALLA  
 COMPONENTE SINUSOIDALE

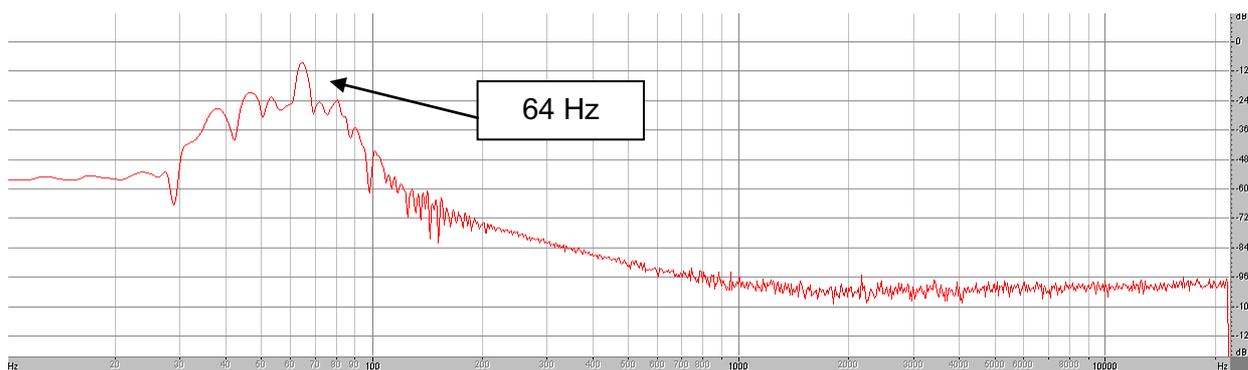
Note: suono che ricorda molto la gran  
 cassa di una banda musicale

**Tabella XII: parametri/regole costruttive del segnale "Grancassa"**



**Figura 38: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Grancassa"**

Tramite il grafico nel dominio del tempo è apprezzabile la ripetizione dei 4 colpi che compongono il segnale, ciascuno di una durata di 450ms con 50ms di pausa tra un colpo e l'altro (ripetizione ritmica). I colpi non presentano un effetto di fade-in quindi hanno un tempo di attacco di 0ms, il tempo di sostentamento corrisponde a 50ms mentre il tempo di fine dura per i rimanenti 400ms di ogni singolo colpo. Il segnale ha una durata complessiva di 2s.



**Figura 39: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Grancassa"**

Il grafico nel dominio della frequenza del segnale "grancassa" mostra la fondamentale a 64Hz. Il resto delle componenti formanti comunque occupa un ingombro di banda non superiore ad un'ottava..

## 5.9 SPRUZZINO

Il segnale "spruzzino" è stato inserito in quanto dopo la pandemia da Covid-19 i dispositivi di disinfezione sono utilizzati all'ordine del giorno, specie in ambienti con molte persone come le scuole. Il gruppo di esperti consultato per la selezione dei suoni ha confermato che sicuramente un bambino oggi giorno familiarizza con il suono dello spruzzino del disinfettante, in quanto abituato a sentirlo in continuazione.

La caratteristica peculiare del segnale “spruzzino” è che le componenti sinusoidali sono completamente assenti ed il segnale è formato solamente da un rumore bianco filtrato con filtro passa alto del quarto ordine di Butterworth con frequenza di taglio a 8kHz.

<p>COMPONENTI SINUSOIDALI: ASSENTI</p> <p><math>F4 = 2 * F1 = 1600 \text{ Hz}</math>      AMPIEZZA = 100%</p> <p>INVILUPPO DELL'AMPIEZZA CIASCUN COLPO <math>Tr = 5 \text{ ms}</math> ; <math>Tf = 10 \text{ ms}</math> ; MODULAZIONE AM = 100%</p> <p>IL TEMPO <math>Ts</math> RISULTA VARIABILE TRA: 150 ms e 200 ms</p> <p>SUCCESSIONE COLPI : ARITMICA</p> <p>NOTE: DURATA COMPLESSIVA 2 s</p> <p>NORMALIZZARE IL LIVELLO A - 1 dB</p>	<p>COMPONENTI DEL RUMORE</p> <p>RUMORE BIANCO FILTRATO “ PASSA ALTO”</p> <p><math>Ft = 8000 \text{ HZ}</math></p> <p>QUARTO ORDINE DI BUTTERWORTH</p>
	<p>Note: suono che ricorda molto il rumore dello spruzzino per i disinfettante di superfici, tanto comune al tempo del Covid.</p>

Tabella XIII: parametri/regole costruttive del segnale "Spruzzino"

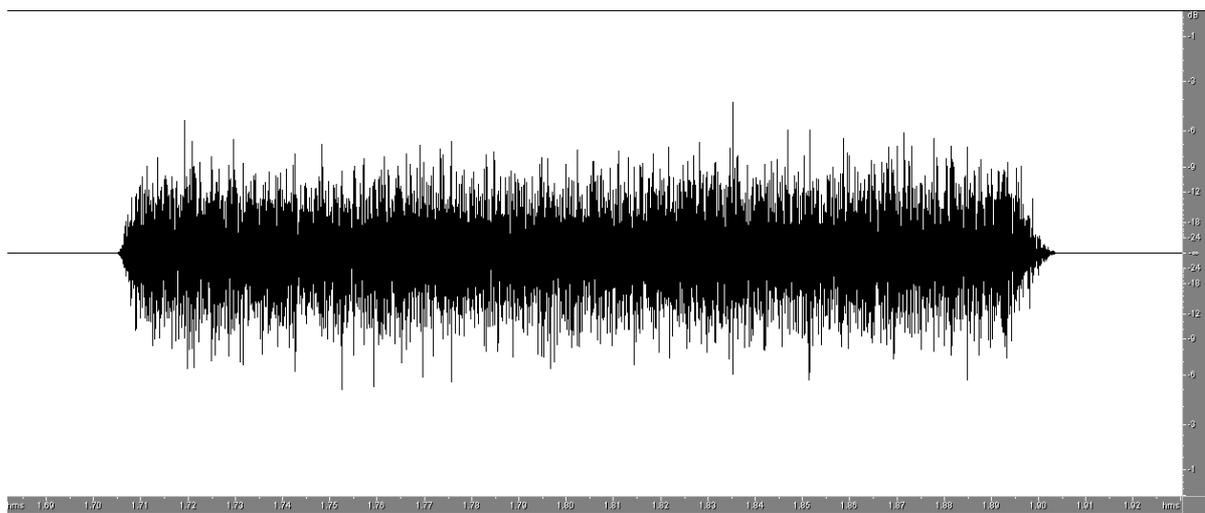
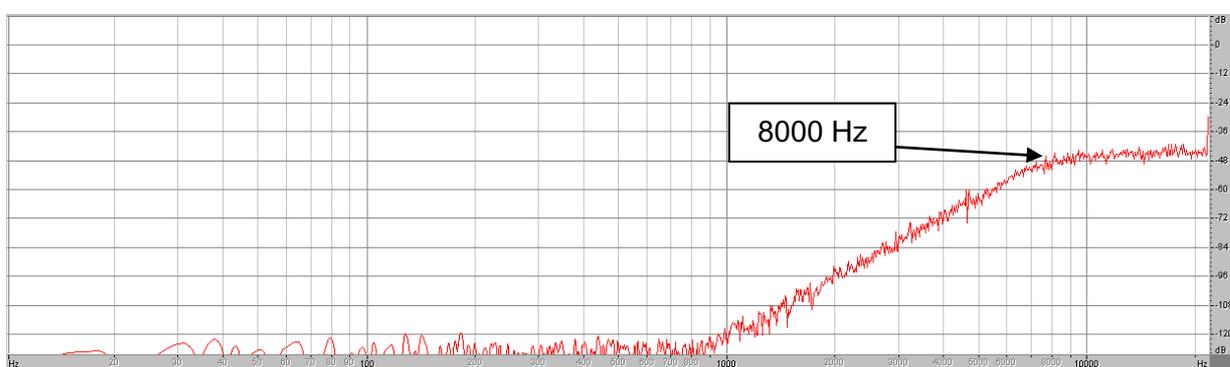


Figura 40: Grafico nel dominio del tempo dello spettro acustico del segnale "Spruzzino"

Il segnale “spruzzino” è composto da vari colpi in successione aritmica variabili a discrezione sia in termini di intervallo tra un colpo e l’altro, sia in termini di durata dei colpi stessi, pur lasciando inalterata la relazione suono-concetto. Il grafico nel dominio del tempo (fig. 40) mostra uno dei possibili colpi del segnale. A livello di intelligibilità è ritenuto comunque opportuno che ogni colpo abbia un tempo di sostentamento variabile tra 150ms e 200ms per poter essere associato correttamente al concetto designato. I tempi di inizio e fine di ogni colpo sono relativamente limitati: rispettivamente 5ms e 100ms. La durata ideale del segnale completo si aggira sui 2s.



**Figura 41: Grafico nel dominio della frequenza dello spettro acustico del segnale "Spruzzino"**

Il grafico nel dominio della frequenza del segnale “spruzzino” ci permette di avere una panoramica visiva dello spettro frequenziale che verrebbe testato sul soggetto, in questo caso si tratta del range di suoni molto acuti a partire dagli 8kHz.

## CONCLUSIONI

Al termine del progetto possiamo confermare che i suoni attualmente presenti in campo diagnostico (toni puri, toni puri vobulati, rumori bianchi, stimoli vocali, suoni ambientali, suoni di Ling) non sono ottimali alla misurazione audiometrica infantile, specie in età prescolare, per due motivi principali: non agevolano la partecipazione ed il coinvolgimento dei bambini esaminati nonostante la loro estrema precisione tecnica, risultando così ottimi per individuare specifiche frequenze ma senza avere mai un test completo su tutto il range dovuto alla mancata concentrazione e collaborazione del paziente, risultando più difficile anche ai tecnici stessi portare a termine il test (toni puri, vobulati, rumori bianchi); non permettono una precisione misuristica per via dei grandi range frequenziali che compongono i segnali stessi, risultando ottimi per il coinvolgimento dei pazienti, ma senza poter avere dati specifici sulle loro capacità uditive dovute alla variabilità/non ripetitività dei test effettuati con tali segnali (suoni ambientali, stimoli vocali, suoni di Ling).

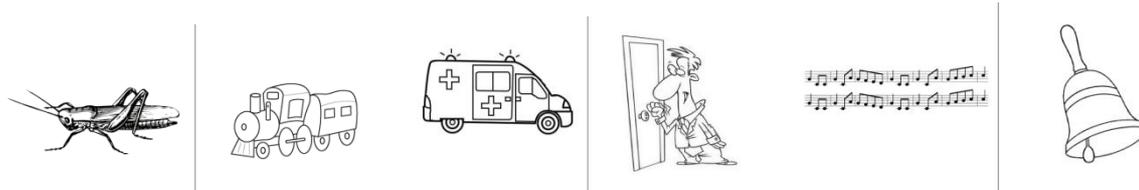
Con questo progetto si punta ad ottenere dei segnali che siano il giusto compromesso tra le due casistiche appena esplicitate, in modo tale da avere sì dei dati abbastanza specifici alla mano ma al tempo stesso agevolare la partecipazione e la collaborazione dei piccoli pazienti durante un test di norma molto monotono puntando a renderlo per loro quasi come un gioco. I segnali di sintesi in questo sono risultati vincenti: dopo alcuni test effettuati sui bambini, è stato ricevuto un feedback molto positivo e un alto indice di gradimento dell'attività da parte dei pazienti stessi. Altro punto a favore dell'applicazione di questo metodo diagnostico è la capacità di mantenere dei livelli di attenzione e coinvolgimento molto alti anche in bambini di 2-3 anni. Dopo aver sottoposto i bambini sia al classico test audiometrico che al test audiometrico con i segnali di sintesi, è stato chiesto ai soggetti quale dei due test fosse sembrato loro più lungo in termini di tempo e univocamente hanno affermato che il test audiometrico classico con toni puri è durato di più, nonostante sia oggettivamente durato il 30% in meno rispetto al test effettuato con i segnali di sintesi.

La difficoltà maggiore di attuazione e regolamentazione di questa metodica risulta essere la capacità di individuare quali possano essere dei concetti/oggetti comuni ed intuitivi nel mondo dei bambini che però al tempo stesso risultino sintetizzabili sotto forma di suoni strettamente regolati nel dominio del tempo e della frequenza. Ad esempio si è potuto constatare che il semplice verso del gatto, che sarebbe riconoscibilissimo da un bambino, non sarebbe adatto al metodo in quanto, limitando il segnale ad un range frequenziale di un'ottava, il suono non avrebbe più le caratteristiche adatte a renderlo riconoscibile ed associabile al concetto designato. La varietà di suoni sintetizzabili quindi risulta limitata.

Un'altra difficoltà riscontrabile in questo progetto è la regolazione dell'intensità dei suoni di sintesi durante i test. Risulta al momento complicato calibrare correttamente i dispositivi di uscita segnale per avere un output controllato in termini di dB.

Una terza problematica è relativa alla stimolazione in HL che impone una ponderazione frequenziale con un'ampiezza, per ogni singola componente, che dovrebbe seguire una curva esattamente complementare alla curva di risposta pesata "A" dei fonometri.

La strategia migliore per cercare di aggirare i limiti che la prima problematica elencata sopra di questo progetto impone, è quella di utilizzare appunto la possibilità di trasposizione frequenziale, cosicché lo stesso concetto possa coprire, con due o più segnali distinti, anche dei range superiori ad un'ottava, in modo tale da avere una copertura più vasta possibile su tutto lo spettro uditivo del bambino (es. suono del campanello, motivetto musicale, suono del trenino). Dopo aver accumulato abbastanza concetti/suoni adatti al metodo si ha una copertura molto ampia: partendo dal segnale "grancassa" (molto grave - 64Hz), procediamo fino al segnale "spruzzino" (molto acuto - 8kHz), passando per suoni gravi ("toc toc" 200Hz), medio-gravi (trenino 800Hz), suoni medi (trenino 1kHz, legnetti 1kHz), suoni medio-acuti (sirena 1-2kHz) e suoni acuti (grillo 4kHz, campanello 4-6kHz), da aggiungere poi il motivetto musicale che, tramite trasposizione, può coprire ogni singola ottava dello spettro.



**Figura 42: Immagini rappresentanti alcuni dei concetti associati ai segnali di sintesi**

Gli sviluppi futuri del progetto riguarderanno la ricerca di nuovi concetti/ suoni sintetizzabili adatti al metodo per avere una copertura sempre più varia e più vasta dello spettro uditivo del bambino anche al di fuori del solito range 250Hz-4kHz di solito considerato durante i classici test audiometrici. Essendo lo spettro uditivo del bambino molto più ampio, limitarsi ad un range di esami nazione così ridotto non renderebbe giustizia alle capacità del bambino, specie se ipoacusico, che non ha bisogno solo di sentire e comprendere solo i suoni rientranti nello spettro del parlato ma è legittimo che abbia anche la possibilità di apprezzare tutti i suoni dell'ambiente in cui vive. A questo proposito si ritiene che avere dei dati misuristici al di fuori del solito range sopra esplicitato, possa incoraggiare in futuro anche l'ampliamento range di elaborazione dei segnali degli apparecchi acustici, per permettere non solo ai bambini di poter apprezzare una gamma di suoni molto più vasta e comprensiva dei suoni del mondo e le loro sfumature.



## BIBLIOGRAFIA E STRUMENTAZIONI

Tutti i dati sono stati presi dal brevetto allegato nell'introduzione, dalle dispense del corso di Misure Elettriche tenuto dall'Ing. Selmo, dal materiale raccolto dall'Ing. Selmo e dall'Ing. Gheller e dai risultati delle misurazioni da noi stessi effettuate.

I suoni sono stati generati nel laboratorio dell'Ing. Selmo con questa strumentazione:

- computer "Amilo" con interfaccia "Firewire"
- scheda audio "Terratec" modello "PHASE88rack"
- cassa acustica attiva: "BEHRINGER" modello "B2031A"
- software: "Cool Edit Pro 2.0".

La verifica della correttezza dell'analisi di Fourier è stata effettuata tramite l'analizzatore di spettro hardware "HP" modello "3585A".



Figura 43: Laboratorio dell'Ing. Selmo dove sono stati sviluppati i suoni di sintesi con tutte le apparecchiature sopraelencate



# **RINGRAZIAMENTI**

Grazie a tutti.

Fine del meme.

Testo di sotto