



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL' INFORMAZIONE

CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA BIOMEDICA

**“Sviluppo di un dispositivo a Risonanza
Quantica Molecolare (QMR) per la terapia
dell'acufene:
progettazione di un generatore di rumore per
l'analisi del segnale sonoro.”**

Laureanda: Benedetta Chiarella

Relatore: Prof. Simone Del Favero

Correlatore: Ing. Alessandro Pozzato

Anno Accademico 2021/2022

Data laurea: 14 marzo 2022

Indice:

Abstract	4
Introduzione	5
1 La Risonanza Quantica Molecolare	6
1.1 QMR e applicazioni	6
2 I mascheratori di acufene	8
2.1 Anatomia dell'orecchio	8
2.1.1 Generazione di vibrazioni	9
2.2 L'acufene	10
2.3 La terapia	11
2.4 Il dispositivo QMR	12
3 Il segnale sonoro con Matlab	14
3.1 Il rumore bianco	14
3.1.1 Codice Matlab	15
3.1.2 Rumore bianco + tono puro	15
3.2 Codice Matlab: somma e modulazione di sinusoidi	17
3.2.1 Definizione di modulazione	19
3.2.2 Confronto tra i grafici	21
4 Progettazione di un generatore di rumore	24
4.1 Componenti e macchinari utilizzati	24
4.2 Realizzazione di un generatore di rumore bianco	28
4.3 Collegamento generatore rumore bianco con dispositivo QMR	29
4.4 Il rumore rosa	34
4.4.1 Realizzazione di un generatore di rumore rosa	35

4.4.2 Verifica del circuito	38
Conclusione	39
Bibliografia e sitografia	40

Abstract

Questa tesi è frutto dell'attività svolta durante il tirocinio formativo presso l'azienda Telea Medical di Sandrigo, Vicenza. Il lavoro qui presentato mostra una possibile soluzione terapeutica ad un disturbo uditivo chiamato acufene, lavorando su un generatore di rumore da associare ad un dispositivo elettromedicale a Risonanza Quantica Molecolare (QMR).

Il progetto raccoglie le metodiche e i risultati ottenuti dalle prove effettuate su uno dei tre segnali emessi dal dispositivo QMR: il segnale acustico.

I test, condotti durante lo sviluppo del dispositivo, sono stati utili come prequalifica prima di sottoporre il dispositivo alle prove di certificazione presso laboratori accreditati.

Le prove di prequalificazione hanno lo scopo di correggere eventuali problemi prima di sottoporre il dispositivo alle prove di conformità, assicurando una probabilità maggiore di superare i test più rigorosi.

Introduzione

Il progetto realizzato e discusso in questa tesi nasce a seguito di un periodo di tirocinio curriculare di 180 ore svolto presso l'azienda Telea Electronic Engineering srl, con sede in Via Leonardo Da Vinci, 13 a Sandrigo (VI). L'azienda opera nella progettazione, produzione e vendita di dispositivi elettromedicali tutti accumulati dalla tecnologia QMR (Quantum Molecular Resonance o Risonanza Quantica Molecolare). I settori dove viene applicata la QMR variano dalla chirurgia alla fisioterapia, dalla medicina estetica all'oftalmologia, per concludere con la rigenerazione di tessuti biologici.

Durante la mia esperienza di tirocinio presso tale azienda, ho avuto la possibilità di partecipare allo sviluppo di un dispositivo per la terapia di un particolare disturbo dell'orecchio, conosciuto come acufene o *tinnitus*.

Si tratta di un disturbo uditivo costituito da rumori che l'orecchio percepisce come fastidiosi a tal punto da influire sulla qualità della vita del soggetto che ne è affetto. Può essere il prodotto di svariate patologie anche lievi, quindi si può dedurre che l'orecchio svolge un ruolo importante, ma tutto l'organismo può contribuire a generare e mantenere questo fastidioso disturbo [1].

Il dispositivo di cui mi sono occupata lavora sulla base di tre segnali: il primo è il segnale QMR, cuore di tutti i dispositivi Telea, che si suppone abbia proprietà antinfiammatorie e rigenerative che agiscono in modo mirato sul disturbo; il secondo esamina il segnale induttivo che sfrutta le proprietà dei campi elettromagnetici per sperimentare la stimolazione delle cellule danneggiate; infine, il terzo è il segnale che presenterò in questa tesi: un segnale acustico che permette di attuare una vera e propria terapia del suono.

Con particolare riferimento alle prove e ai test di laboratorio eseguiti sul dispositivo e all'analisi dei dati raccolti, il seguente elaborato ha lo scopo di descrivere l'ultimo segnale elencato precedentemente, evidenziando l'efficacia nella trattazione del disturbo.

1 La Risonanza Quantica Molecolare

1.1 QMR e applicazioni

La QMR, tecnologia brevettata da Telea Electronic Engineering, è una tecnologia all'avanguardia con applicazioni sia nel campo chirurgico che in quello fisioterapico e di medicina estetica.

I principali ambiti di applicazione sono la chirurgia, la fisioterapia e medicina estetica.

La chirurgia è il campo in cui la tecnologia QMR trova la sua più immediata applicazione. Al momento esistono tre principali tecnologie applicate alla chirurgia moderna: il laser, gli ultrasuoni e la corrente elettrica.

Queste tre tecnologie hanno in comune un unico elemento: il calore. Infatti, ognuna di esse sfrutta l'energia per aumentare il calore sui tessuti da trattare. Necessitano dunque di sistemi per controllare la dispersione di calore come irrigazioni o l'impiego di materiali preziosi. Il danno termico è infatti collegato con il processo di guarigione e con la formazione di cicatrici.

Al contrario, la tecnologia QMR non sfrutta il calore per interagire con il tessuto biologico, permettendo un funzionamento a temperature al di sotto dei 50 °C, evitando dunque la morte cellulare e di conseguenza il danno termico che è una condizione irreversibile. Il calore generato è trascurabile e non sono necessarie irrigazioni. Consente di avvicinarsi ai tessuti molli senza danneggiarli garantendo una miglior cicatrizzazione del tessuto, una diminuzione dell'infiammazione dell'area trattata e quindi riduzione del dolore. Di conseguenza si riscontrano tempi di recupero più brevi, minor permanenza nella struttura ospedaliera e perciò, su scala generale, minori costi per lo stato.

I dispositivi a QMR sono inoltre in grado di controllare l'impedenza dei tessuti in modo da calibrarsi di conseguenza, per fornire di volta in volta l'esatta quantità di energia.

Infatti, quando si fornisce energia ad un tessuto sotto forma di pacchetti discreti, possono verificarsi due fenomeni:

- se il valore di energia del quanto è uguale a quello dei legami della molecola interessata, allora buona parte dell'energia può essere utilizzata per rompere i legami, non riscontrando così un aumento di energia cinetica tale da danneggiare le cellule attraverso il calore;
- se il valore di energia del quanto è diverso da quello dei legami della molecola colpita, si ha solo un aumento dell'energia cinetica della molecola senza immediata rottura dei legami, e ciò porta ad un aumento della temperatura.

Il processo appena descritto è stato definito “Risonanza Quantica Molecolare”: “Risonanza” perché l’energia fornita dalla QMR è tale da rompere i legami molecolari con un aumento di temperatura trascurabile; “Quantica” perché fa riferimento a quanti, ovvero pacchetti discreti di energia. I quanti hanno un’energia che dipende dalla frequenza f dell’onda che li trasporta secondo la formula

$$E = h \times f,$$

dove E è l’energia del quanto, h la costante di Planck e f la frequenza di oscillazione. Quest’ultima determina la quantità di energia trasmessa dal quanto; e, infine, “Molecolare” perché va ad agire sui legami delle molecole dei tessuti biologici.

Per trasferire l’energia al tessuto, la tecnologia QMR lavora su un ampio spettro di diverse frequenze (comprese tra i 4 MHz ed i 64 MHz) che vengono trasmesse contemporaneamente al tessuto. Impiegando più frequenze, aumenta enormemente la capacità di interagire con il tessuto stesso (ogni frequenza interagisce in modo leggermente diverso rispetto alle altre), stimolandone le capacità rigenerative [2].

Il secondo campo di applicazione della risonanza quantica molecolare comprende la fisioterapia e la medicina estetica. In questo caso l’energia non è più finalizzata a spezzare i legami molecolari all’interno delle cellule. Il giusto mix di frequenze e intensità è finalizzato ora ad indurre una rigenerazione tissutale, attraverso la stimolazione delle cellule staminali adulte [2].

2 I mascheratori di acufene

2.1 Anatomia dell'orecchio

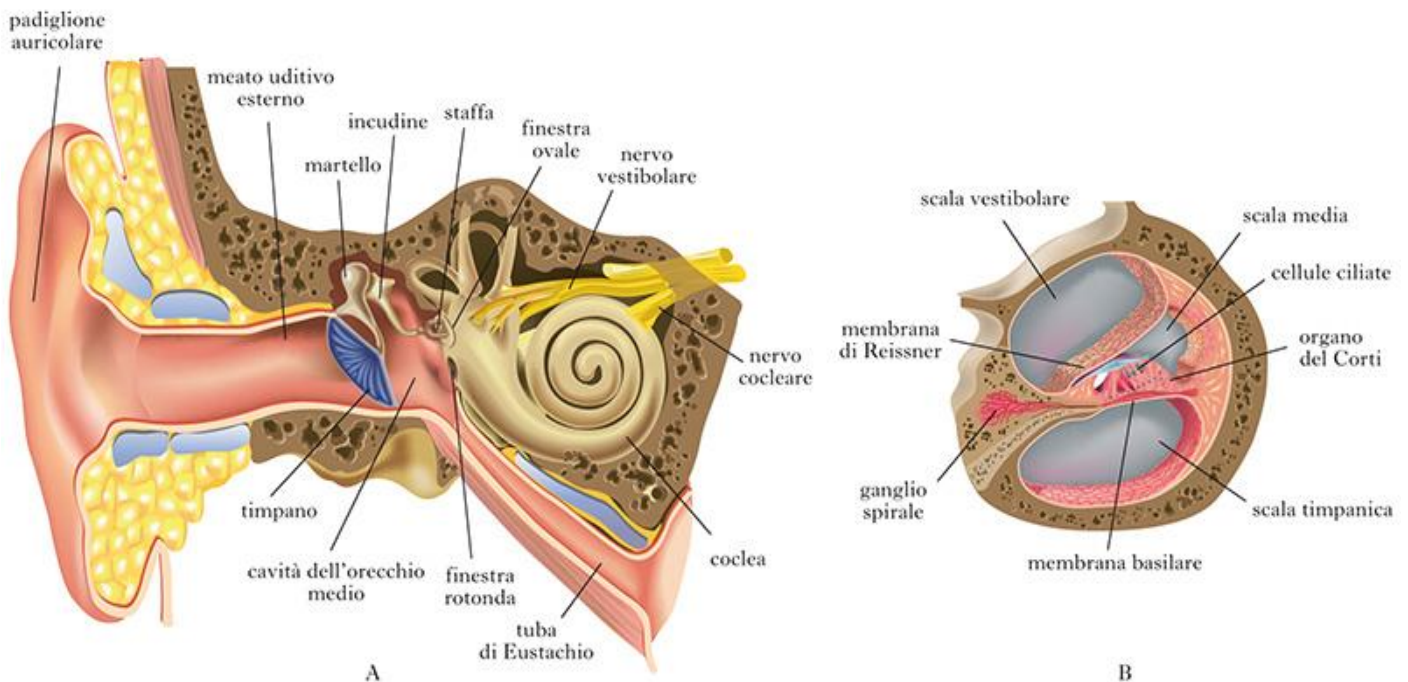


Figura 2.1: Anatomia dell'orecchio a sinistra, struttura della coclea a destra [3]

L'orecchio umano è un organo complesso preposto alla percezione dei suoni e al mantenimento dell'equilibrio.

Esso è costituito da tre parti (Figura 2.1): l'orecchio esterno, l'orecchio medio e l'orecchio interno.

L'orecchio esterno ha il compito di raccogliere e incanalare i suoni provenienti dall'ambiente e di indirizzarli verso l'orecchio medio, costituito dal timpano, una sottile membrana sensibile alle variazioni sonore e da tre ossicini, martello, incudine e staffa che, investiti dall'onda sonora proveniente dal timpano, vibrano e trasmettono l'impulso verso l'orecchio interno. Quest'ultima e più profonda regione dell'orecchio è suddivisa in due porzioni: quella posteriore, che contiene l'organo incaricato del mantenimento dell'equilibrio e quella anteriore, che contiene la coclea. La sua forma ricorda il guscio di una chiocciola, con un canale a spirale avvolto intorno ad un nucleo di forma conica. Essa si divide in tre scale, o rampe: scala vestibolare, scala media (che prevede il condotto cocleare) e la scala timpanica, divise da membrane. La scala vestibolare e la timpanica sono ricche di perilinfa con l'unica funzione di trasmettere le vibrazioni che provengono dalla catena degli ossicini alla scala media nella quale è posto l'organo del Corti, il vero organo neuro-sensoriale uditivo,

responsabile della trasduzione dell'impulso cinetico in elettro-chimico.

L'organo del Corti è una parte dell'orecchio interno, riscontrato solo nei mammiferi, che si trova all'interno della coclea. È formato da una serie di cellule ciliate e fibre nervose attraverso cui viene percepito il suono e trasmesso il potenziale d'azione al cervello.

Le cellule ciliate sono un tipo di cellule presenti nell'orecchio interno che fungono da recettori sensoriali. Il loro nome è dovuto alla presenza, nella parte apicale della cellula, di una serie di particolari microvilli chiamati stereociglia, disposte in file di lunghezze decrescenti a formare una struttura simile a quella delle canne di un organo.

Le cellule ciliate rilevano i suoni ed i movimenti della testa, che sono stati trasformati in movimenti meccanici e poi in impulsi elettrici da mandare al sistema nervoso centrale per dare origine ai processi uditivi e di controllo dell'equilibrio.

Queste sono particolarmente importanti nello studio dell'acufene perché sono direttamente collegate al nervo acustico che, oltre a trasportare i suoni al cervello, ha anche il compito di elaborarli. Quindi, data la loro importanza funzionale, una piccola disfunzione o il banale malfunzionamento di una ristretta zona di queste cellule può generare fastidi che si trasformano in acufene.

2.1.1 Generazione di vibrazioni

Il suono, percepito attraverso il movimento del timpano, viene trasmesso dalla catena degli ossicini (martello, incudine e staffa) che a loro volta ripercuotono l'onda sonora all'interno della coclea. Questa percussione genera movimento nella perilinfa presente in essa e, quindi, una oscillazione delle ciglia rispetto alla membrana tectoria che invece è immobile.

Gli spostamenti di fluido e quindi l'oscillazione delle ciglia portano a cambiamenti del potenziale di membrana. Questi cambiamenti vengono percepiti dal cervello come un cambiamento di frequenza di scarica e tali informazioni vengono poi confrontate con segnali visivi o somatosensitivi che permettono di rilevare la posizione della testa. Nell'uomo lo spettro delle frequenze in grado di eccitare l'apparato uditivo, detto campo di udibilità, varia da 20Hz ai 20kHz.

La membrana basilare con la sua struttura crea una discriminazione piuttosto grezza delle frequenze (detta anche sintonizzazione passiva) che viene migliorata dalle cellule acustiche (tramite la sintonizzazione attiva).

La sintonizzazione passiva è caratterizzata da una membrana basilare (su cui poggia l'Organo di Corti)

che presenta spessore, massa e rigidità diverse man mano che si sale dalla base all'apice della chiocciola: queste differenze generano vibrazioni diverse e, quindi, capacità di captare diverse frequenze.

La sintonizzazione attiva invece si basa sulle differenze di composizione molecolare delle membrane sensitive, sulla forma e sulla lunghezza delle stereociglia: ciglia più lunghe sono sensibili alle basse frequenze, mentre ciglia più corte a quelle alte.

2.2 L'acufene

Un acufene, o tintinnio, è un disturbo uditivo costituito da rumori come fischi, ronzii, fruscii, pulsazioni che l'orecchio percepisce come fastidiosi a tal punto da influire sulla qualità della vita del soggetto che ne è affetto.

Si classifica in:

- acufene oggettivo: rappresenta solo il 5% dei casi di acufene [4], associato ad un rumore fisico che raggiunge l'orecchio sia della persona interessata che di un esaminatore esterno, tramite strumenti che ne consentono l'amplificazione (come uno stetoscopio). L'acufene oggettivo è solitamente causato da condizioni fisiche e da patologie dell'apparato circolatorio o delle strutture anatomiche vicine all'orecchio interno. Ad esempio, l'acufene può essere provocato dalla pulsazione di un vaso nell'orecchio medio che produce una variazione di pressione periodica e quindi un suono udibile;
- acufene soggettivo: un tipo di acufene molto comune, che non viene associato ad un rumore fisico ed è percepito solamente dal paziente. Studi scientifici hanno dimostrato che, ad eccezione dei casi in cui è riconducibile a traumi da rumore, ad effetti collaterali di farmaci specifici e a periodi di forte ansia e stress, in generale l'acufene è sempre legato a danni dell'orecchio interno: le percezioni sensoriali vengono elaborate dal cervello, che non è in grado di percepire direttamente suoni, luci o altri stimoli nella loro forma originaria, ma riceve solo segnali bioelettrici derivati dalla conversione operata da specifici recettori che, nel caso dell'udito, sono le cellule ciliate dell'orecchio interno (nella coclea). Tali cellule presentano delle sottili ciglia che vibrano in risposta a diverse frequenze sonore. Se però, in seguito a traumi o patologie queste cellule vengono danneggiate o distrutte, esse non vengono sostituite e il soggetto può andare incontro alla perdita di udito o alla nascita di disturbi quali la patologia in oggetto.

L'acufene è perciò legato alla presenza di patologie di sistemi non necessariamente legati a quello uditivo, e dunque la terapia deve basarsi, almeno in un primo momento, nel trattamento della causa primaria del disturbo. L'aspetto più critico della terapia riguarda il fatto che, spesso, il fastidio persiste anche se la causa originaria viene rimossa, perché il cervello è in grado di ricordare il suono e di rigenerarlo. Il suo mantenimento è "sponsorizzato" [5] dal cervello. Nel caso dell'acufene, i centri nervosi superiori sviluppano una attenzione selettiva a questo suono e sembra che siano addirittura in grado di autogenerarlo facendolo "udire" anche se la causa di partenza è stata rimossa. Dopo aver trattato la causa scatenante è perciò necessario attuare una terapia mirata anche nei confronti dell'acufene stesso.

2.3 La terapia

Un possibile trattamento per questo disturbo si individua nell'utilizzo dei "mascheratori di acufene", ovvero dispositivi che generano una serie di rumori per mascherare quello fastidioso dell'acufene, con l'obiettivo di ingannare il cervello abituandolo alla presenza del suono stesso. L'aumento del rumore esterno rende più difficile la percezione dei suoni interni, aiutando il cervello a concentrarsi su quelli esterni. Infatti, aumentando il livello di rumore ambientale (riproducendo il rumore bianco nell'orecchio), il volume apparente dell'acufene viene ridotto. Il livello di rumore è vicino e di solito un po' più forte del volume percepito dell'acufene. A seconda dell'intensità del rumore, l'acufene può essere completamente o parzialmente mascherato. Il dispositivo però non può eliminare l'acufene, ma solo ridurre la consapevolezza.

Una delle terapie attualmente più utilizzate è la TRT (Tinnitus Retraining Therapy), che porta un aiuto reale ed efficace a chi soffre di acufene, "riprogrammando il cervello" al fine di ridurre la percezione del disturbo.

Essa consiste nel far individuare al paziente il suo acufene, in termini di frequenza e intensità. Dal momento che l'acufene è definito un fenomeno soggettivo, non può essere misurato oggettivamente con test diagnostici. Lo specialista si deve quindi basare sui "racconti" [6] dei pazienti, e può eventualmente effettuare alcuni esami oggettivi, come un esame dell'udito o una risonanza magnetica.

Successivamente la terapia consiste nel riproporre lo stesso suono durante la seduta di terapia con l'obiettivo di "ingannare" il cervello: in questo modo si è infatti osservato che il paziente con acufene si abitua alla sua presenza e, nel tempo, riesce a farlo diventare un suono neutro e non più fastidioso, ovvero ad escluderlo dalla sua testa.

Infatti, uno degli elementi fondamentali della TRT è costituito dall'”arricchimento sonoro” [7] a cui il paziente deve essere sottoposto per la maggior parte della giornata e durante la notte. Il processo di adattamento richiede dai tre ai nove mesi, durante i quali l'acufene può diventare progressivamente meno fastidioso fino a divenire un elemento del sottofondo sonoro quotidiano trascurabile.

2.4 Il dispositivo QMR

Nel paragrafo precedente si è fatto riferimento al fatto che l'acufene è un disturbo che non implica solo il sistema uditivo. La prima parte della terapia deve quindi coinvolgere l'identificazione e il trattamento della causa scatenante. Una volta risolto il problema principale, entra in gioco la tecnologia QMR.

Durante l'esperienza di tirocinio nell'azienda, mi sono occupata dello sviluppo e perfezionamento di un dispositivo per la terapia dell'acufene. In particolare, questa macchina sfrutta gli effetti antinfiammatori e rigenerativi della tecnologia QMR, che permette di agire sul disturbo in modo mirato e sicuro.

L'aspetto più importante riguarda il fatto che questa tecnologia è finalizzata ad agire per rigenerare il tessuto alterato, lavorando sulle cellule staminali adulte. Si parla di rigenerazione e non di riparazione perché non si tratta di tessuto cicatriziale, ma della sostituzione delle cellule danneggiate con un tessuto che abbia la stessa struttura e funzionalità di quello originale [8].

Il dispositivo è costituito da:

1. Un display LCD, attraverso il quale è possibile scegliere frequenza e volume del suono da riprodurre nelle cuffie, l'intensità del campo magnetico e della QMR, personalizzati per trattare ogni paziente in modo specifico e mirato.

Attraverso questa interfaccia interattiva, è possibile inoltre selezionare entrambi i canali, destro e sinistro, oppure uno solo, in modo da poter trattare sia l'acufene bilaterale che unilaterale.



2. Delle cuffie modello base Sennheiser HD-206, dotate di due bobine (una per lato) che generano un campo magnetico a bassa intensità. Inoltre, Telea ha dotato le cuffie di elettrodi bipolari per la QMR. Una volta indossate le cuffie, l'elettrodo risulterà appoggiato alla zona adiacente al padiglione auricolare. Esse vengono collegate all'apparecchio tramite un attacco jack per il suono, un connettore per l'induttore e un attacco per la QMR.



Come accennato in precedenza, l'acufene è caratterizzato dalla percezione di un suono ad una precisa frequenza sonora (soggettiva ad ogni paziente). Una volta individuata la frequenza corrispondente a quella del suono che percepisce il paziente, il dispositivo QMR può iniziare ad agire, sulla base di 3 segnali:

1. Segnale QMR
2. Segnale induttivo
3. Segnale sonoro

3 Il segnale sonoro con Matlab

3.1 Il rumore bianco

Nel capitolo precedente abbiamo accennato al “rumore bianco”, senza però delinearne in modo particolare la sua utilità in questo trattamento.

Come già descritto, la terapia si basa principalmente nel cercare di ingannare il cervello riproducendo lo stesso ronzio percepito dal paziente, aumentandolo in modo tale da sopraffare quello causato dall’acufene.

Più precisamente, il ronzio di cui parliamo consiste nel malfunzionamento di una ristretta zona di cellule ciliate dell’orecchio, che porta ad un persistente suono che può essere variabile e diffuso su tutte le frequenze dell’udibile. Una volta individuata tale frequenza, la terapia comincia: il segnale che viene riprodotto durante il trattamento fa riferimento ad un suono che comprende tutte le frequenze, conosciuto come rumore bianco, sommato ad un tono puro.

Un tono puro, ovvero un suono ad un’unica frequenza, consiste in una sinusoide ad una precisa frequenza nel range del campo di udibilità. Dopo aver individuato la frequenza e l’intensità dell’acufene tramite un feedback medico-paziente, il dispositivo permette di impostare i parametri di frequenza e di valore in dB in modo da personalizzare il trattamento per ogni singolo individuo. Solitamente, l’acufene non è riferito ad un unico tono puro ma ad una combinazione di essi. In questi casi, perciò, il trattamento prevede di somministrare al paziente una combinazione di rumore bianco e tono puro.

Il rumore bianco è un particolare tipo di rumore caratterizzato dall'assenza di periodicità nel tempo e da ampiezza costante su tutto lo spettro di frequenze. Possiamo fare riferimento a qualcosa di molto simile al suono del phon, della cappa o al suono che fa un una radiolina desintonizzata: sono rumori indefiniti, costanti e monotoni [9].

In realtà, dal punto di vista del suo spettro sonoro, il rumore bianco è un suono speciale che comprende tutte le frequenze e ha un’intensità simile per ciascuna. Esso può fungere quindi da “maschera” per altri suoni, e per questo è utilizzato ad esempio per coprire il rumore di fondo in ambienti interni o per favorire il rilassamento. Allo stesso modo, riveste un ruolo fondamentale nel trattamento dell’acufene in quanto aiuta il cervello ad ignorare i suoni ad una precisa frequenza e intensità: è una

specie di muro sonoro che viene utilizzato da molti come scudo per fermare e mascherare tutti i rumori.

3.1.1 Codice Matlab

Tramite Matlab si è riuscito a creare un file audio che genera rumore bianco. Considerando che la banda delle frequenze udibili è di circa 20kHz e che per il teorema di Shannon la frequenza di campionamento deve essere pari ad almeno il doppio, per un segnale audio ho scelto una frequenza di campionamento pari a 44.1kHz. Il codice seguente genera un file audio con estensione .wav, che è compatibile con un qualunque “sound player” per PC:

```
media=0; % segnale a media nulla
sigma=1; % ampiezza onda
Fs=44100; % campionamento standard audio
t=5; % durata segnale
noise=sigma*randn(1,t*Fs+1)+media;
filename='BIANCO.wav';
sound(noise,Fs)
audiowrite(filename,noise,Fs);
```

Successivamente è stato confrontato con un file audio (mp3) di rumore bianco scaricato da YouTube [10]. Dopo aver convertito il file nel formato .wav, questo può essere caricato ed eventualmente elaborato su Matlab. Il confronto uditivo tra i due suoni ha dato risultati soddisfacenti.

3.1.2 Rumore bianco + tono puro

Una volta ricreato il rumore bianco, con Matlab si andrà ad unire un tono puro, scelto a seconda della frequenza di acufene del paziente.

Questo è il primo passo verso la terapia che, come ho già detto, consiste nel riprodurre un suono di sottofondo che comprende tutte le frequenze (il rumore bianco appena visto) ed un tono puro.

Nel codice Matlab seguente si è impostato di base una frequenza di acufene a 1000Hz:

```
% codice generazione rumore bianco
media=0; % segnale a media nulla
sigma=1; % ampiezza onda
Fs=44100; % campionamento standard audio
t=5; % durata segnale
noise=sigma*randn(1,t*Fs+1)+media;
```

```

% codice generazione tono puro
f=1000; % tono puro a 1KHz
a=1 % ampiezza
c=0 % fase
b=f*2*pi;
t=[0:1/44100:t]; % vettore tempo
x=sin(b*t);

% rumore bianco + tono puro
z=1.3*(x+noise); % sinusoida più rumore
sound(z,Fs)
audiowrite("rumorebianco_tono.wav",z,Fs)

```

Successivamente viene rappresentata la trasformata di Fourier:

```

% trasformata di Fourier
fs = fft(z);
FS = abs(fs);

% plotto la trasformata (Figura 3.1)
len = length(FS);
res = Fs / len; % freq resolution
f = (0:len - 1) * res;
figure
plot(f, FS)
xlim([600 1400])
title("grafico della trasformata di Fourier del segnale")

```

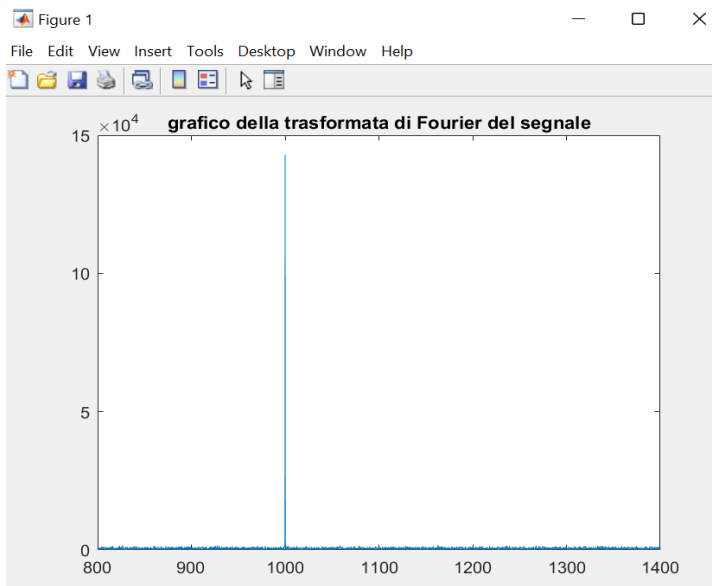


Figura 3.1

3.2 Codice Matlab: somma e modulazione di sinusoidi

Una volta scritto il codice Matlab capace di riprodurre il rumore bianco sommato al tono puro ad una determinata frequenza, è stato elaborato fino ad arrivare al suono che verrà utilizzato nella tecnologia QMR.

Infatti, l'idea di questo dispositivo è riprodurre il rumore bianco e la frequenza dell'acufene (il tono puro), ma anche il suo +10% e -10%. Infatti, l'applicazione di uno stimolo sonoro nel range di frequenze in cui si presenta l'acufene può essere utile nel suo mascheramento.

Con Matlab sono stati sviluppati due tipi di codice che giungono allo stesso risultato, ma uno più vantaggioso dell'altro.

Il primo metodo consiste nel sommare le 3 sinusoidi, quindi la frequenza scelta come tono puro e il suo +10% e -10%:

```
media=0;
sigma=1;
Fs=44100; % campionamento standard audio
t=5; % durata segnale
noise=sigma*randn(1,t*Fs+1)+media;

f1=1000; % tono puro a 1KHz (prima sinusoide)
f2=1100; % seconda sinusoide a 1KHz+10%
f3=900; % terza sinusoide a 1KHz-10%
Fs=44100; %frequenza di campionamento
duration=5;
L = Fs*duration; % frequenza campionamento*durata segnale=numero campioni

a=1; % ampiezza onda
c=0; % fase
b1=f1*2*pi;
b2=f2*2*pi;
b3=f3*2*pi;
t=[0:1/Fs:duration];
x1=sin(b1*t);
x2=sin(b2*t);
x3=sin(b3*t);

xs=x1+x2+x3; % somma delle 3 sinusoidi
sound(xs,Fs)
audiowrite("somma_sinusoidi.wav",xs,Fs)
```

Con la rappresentazione Matlab della trasformata di Fourier delle tre sinusoidi, si può ottenere un grafico da confrontare con il successivo metodo:

```

% trasformata di Fourier
fs = fft(xs);
FS = abs(fs);

% plotto la trasformata (Figura 3.2)
len = length(FS);
res = Fs / len; %freq resolution
f = (0:len - 1) * res;
figure
plot(f, FS)
xlim([600 1400])
title("grafico della trasformata di Fourier del segnale")

```

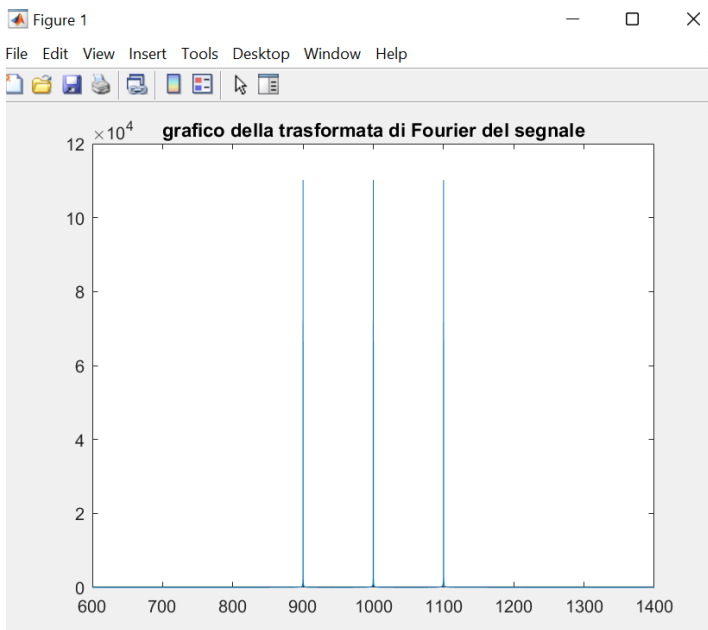


Figura 3.2

Il secondo metodo, invece, consiste nell'inserire solamente due sinusoidi, una il 10% dell'altra:

```

media=0;
sigma=1;
Fs=44100; % campionamento standard audio
t=5; % durata segnale
noise=sigma*randn(1,t*Fs+1)+mu;

f1=1000; % tono puro a 1KHz (prima senoide)
f2=0.1*f1; % la seconda senoide equivale al 10% della prima
Fs=44100; % frequenza di campionamento
duration=5;
L = Fs * duration;

a=1;
c=0;
b1=f1*2*pi;
b2=f2*2*pi;

```

```

t=[0:1/Fs:duration];
x1=sin(b1*t);
x2=sin(b2*t);

xp=x1 + x1.*x2; % equazione dell'onda modulata (*)
sound(xp,Fs)
audiowrite("prodotto_sinusoidi.wav",xp,Fs)

```

Con la rappresentazione Matlab della trasformata di Fourier delle 2 sinusoidi, si può ottenere il secondo grafico da confrontare con il primo:

```

% trasformata di Fourier
fs = fft(xp);
FS = abs(fs);

% Plotto la trasformata (Figura 3.3)
len = length(FS);
res = Fs / len; % freq resolution
f = (0:len-1) * res;
figure
plot(f, FS)
xlim([600 1400])
title("grafico della trasformata di Fourier del segnale")

```

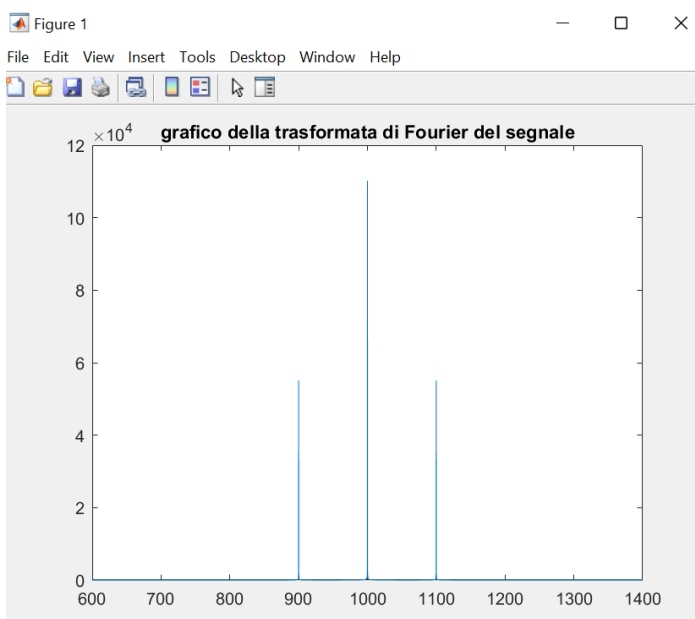
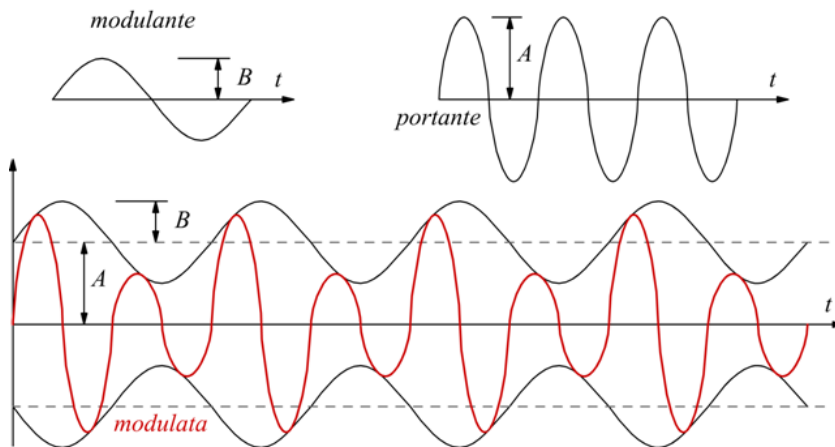


Figura 3.3

3.2.1 Definizione di modulazione (*)

La modulazione è una tecnica di trasmissione usata per trasmettere informazioni utilizzando un segnale a radiofrequenza come segnale portante [11].

Consiste nel modulare l'ampiezza del segnale radio che si intende usare per la trasmissione (detto portante) in maniera proporzionale all'ampiezza del segnale che si intende trasmettere (modulante) e che contiene l'informazione.



$$v_p = A \cos(\omega_p t)$$

$$v_m = B \cos(\omega_m t)$$

Nell'immagine si vede chiaramente come il segnale modulante (v_m) sia il segnale elettrico che contiene il segnale da trasmettere, ovvero la portante (v_p), e che la frequenza dell'onda modulata è la stessa dell'onda portante.

Il segnale modulato ($v(t)$) risulta così la sovrapposizione tra i due precedenti.

$$v(t) = V_M \cos(\omega_p t)$$

dove $V_M = V_M(t)$ cioè l'ampiezza dell'onda modulata viene fatta variare proporzionalmente al valore istantaneo del segnale modulante, secondo la regola:

$$V_M(t) = A + k \cdot v_m(t)$$

in cui $v_m(t)$ è il valore istantaneo dell'ampiezza dell'onda modulata nell'istante t , A l'ampiezza della portante in assenza di modulazione, k la costante di proporzionalità caratteristica del modulatore e $v_m(t)$ il valore istantaneo del segnale modulante. Il valore istantaneo del segnale modulante risulta dunque:

$$V_M(t) = A + k \cdot B \cos(\omega_m t)$$

Reinserendo la precedente, l'equazione dell'onda modulata è:

$$v(t) = \left[A + k \cdot B \cos(\omega_m t) \right] \cos(\omega_p t) \quad [11]$$

ovvero l'equazione che ho utilizzato nel codice Matlab per ottenere il prodotto tra le due sinusoidi.

3.2.2 Confronto tra grafici

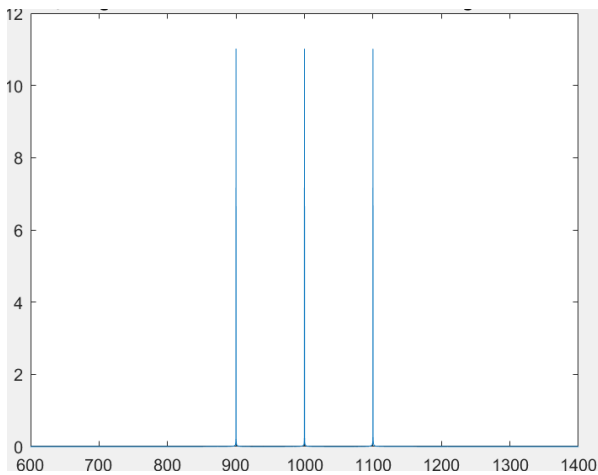


Figura 3.4a: Trasformata Fourier 3 sinusoidi

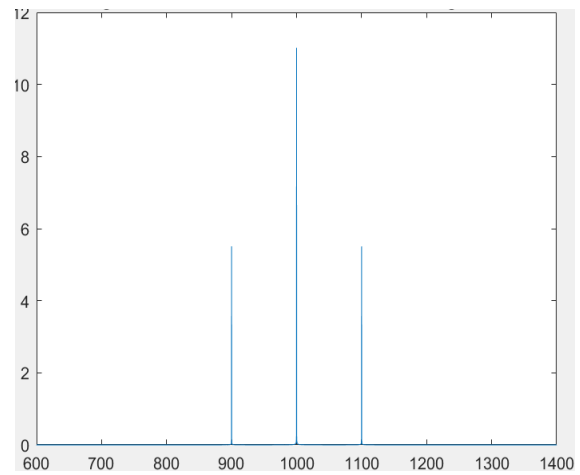


Figura 3.4b: Trasformata Fourier 2 sinusoidi

Per quanto riguarda i vantaggi, il grafico della modulazione di sinusoidi potrebbe dare l'idea di essere il più "semplice" elettronicamente, dato che è sufficiente inserire due sole sinusoidi e il risultato è uguale alla somma delle tre sinusoidi, ma non si ha controllo sull'ampiezza e la modulazione è applicabile solo sulla sinusoide centrale $\pm 10\%$ (Figura 3.4b). La somma di sinusoidi, invece, è più "flessibile": si ha il controllo dell'ampiezza e può comprendere più frequenze (Figura 3.4a).

Infine, si può dimostrare con calcoli a mano che, anche usando solo due sinusoidi, attraverso la modulazione, si possono ottenere tre contributi in frequenza (come nella somma di tre sinusoidi), usando le formule di Eulero per seno e coseno. Vengono tradotte quindi le due sinusoidi in esponenziali e viene applicata la formula della modulazione:

$$x1(t) = \sin(1000 \cdot 2\pi \cdot t) \quad \rightarrow \text{Eulero} \quad \rightarrow \quad x1(t) = \frac{e^{i \cdot 2\pi \cdot 1000t} - e^{-i \cdot 2\pi \cdot 1000t}}{2j}$$

$$x2(t) = \sin(0,1 \cdot x1(t) \cdot 2\pi \cdot t) \quad \rightarrow \text{Eulero} \quad \rightarrow \quad x2(t) = \frac{e^{i \cdot 2\pi \cdot 100t} - e^{-i \cdot 2\pi \cdot 100t}}{2j}$$

$$\begin{aligned} x1(t) \cdot x2(t) &= \sin(1000 \cdot 2\pi \cdot t) \cdot \sin(100 \cdot 2\pi \cdot t) = \\ &= -\frac{1}{4} (e^{i \cdot 2\pi \cdot 1100t} - e^{-i \cdot 2\pi \cdot 900t} - e^{-i \cdot 2\pi \cdot 900t} + e^{-i \cdot 2\pi \cdot 1100t}) = \\ &= -\frac{1}{4} \left(\frac{2 \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot 1100t} + 2 \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot 1100t}}{2} - \frac{2 \cdot e^{i \cdot 2\pi \cdot 900t} + 2 \cdot e^{-i \cdot 2\pi \cdot 900t}}{2} \right) = \\ &= \frac{1}{2} \cos(2\pi \cdot 900t) - \frac{1}{2} \cos(2\pi \cdot 1100t) \end{aligned}$$

L'equazione della modulazione è, come visto prima, $x1(t) + x1(t) \cdot x2(t)$ (*)

Inoltre, la trasformata di Fourier di seno e coseno è:

$$F[A \cdot \cos(2\pi \cdot f0 \cdot t)](f) = \frac{A}{2} \delta(f - f0) + \frac{A}{2} \delta(f + f0) (**)$$

$$F[A \cdot \sin(2\pi \cdot f0 \cdot t)](f) = \frac{A}{2j} \delta(f - f0) - \frac{A}{2j} \delta(f + f0) (***)$$

Da (*), (**) e (***) ottengo:

$$\begin{aligned} F[x1 + x1 \cdot x2] &= F[x1] + F[x1 \cdot x2] = \\ &= F[\sin(2\pi \cdot 1100t)] + F\left[\frac{1}{2} \cos(2\pi \cdot 900t)\right] \cdot F\left[-\frac{1}{2} \cos(2\pi \cdot 1100t)\right] = \\ &= \frac{1}{2j} \delta(f - 1100) + \frac{1}{2j} \delta(f + 1100) + \frac{1}{4} \delta(f - 900) + \frac{1}{4} \delta(f + 900) - \frac{1}{4} \delta(f - 1100) - \frac{1}{4} \delta(f + 1100) \end{aligned}$$

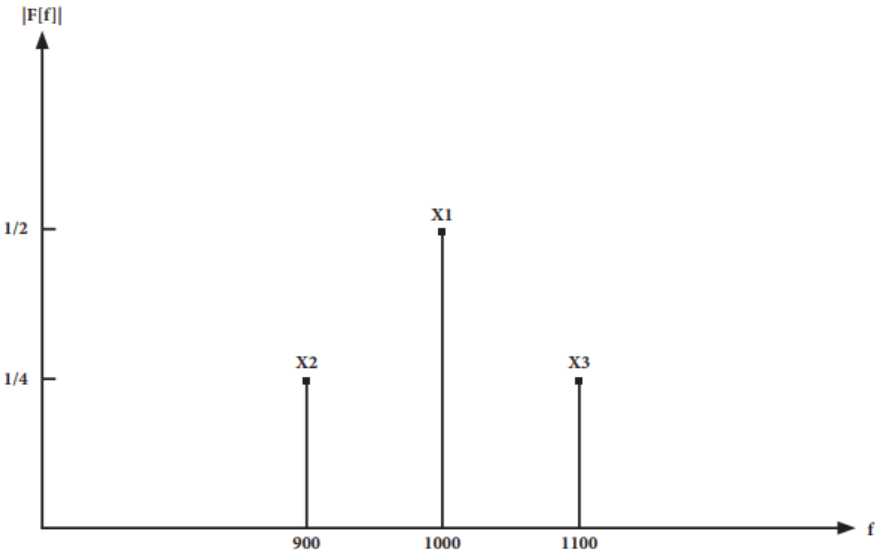
Sapendo che, per segnali reali, la trasformata di Fourier gode di simmetria hermitiana, viene considerata solo la parte positiva del modulo della trasformata ($f > 0$), perciò:

$$|x1| = \left| \frac{1}{2j} \delta(f - 1000) \right| = \left| -\frac{1}{2j} \right| = \frac{1}{2}$$

$$|x2| = \left| \frac{1}{4} \delta(f - 900) \right| = \frac{1}{4}$$

$$|x3| = \left| -\frac{1}{4} \delta(f - 1100) \right| = \frac{1}{4}$$

E il grafico che otteniamo è lo stesso di quello ricavato da Matlab:



4 Progettazione di un generatore di rumore

4.1 Componenti e macchinari utilizzati

Come già accennato nel capitolo 2, il progetto che ho seguito insieme all'azienda Telea consiste nella costruzione di un circuito elettrico che, dopo adattamento e collegamento al dispositivo QMR già esistente, possa generare rumore per la terapia dell'acufene.

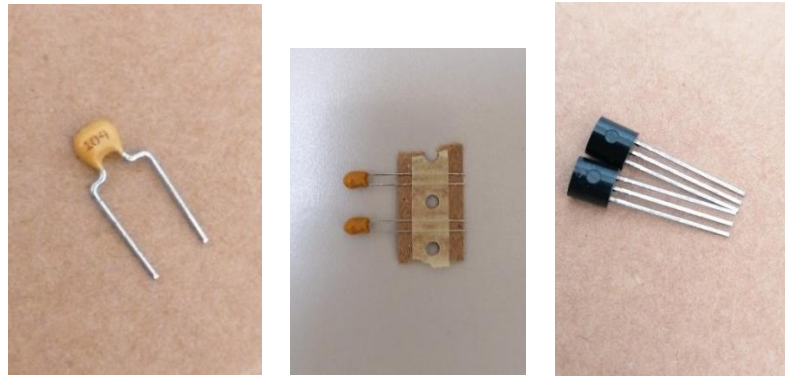
Gli strumenti messi a disposizione dall'azienda sono:

1. Basetta millefori, usata per realizzare il prototipo di circuito elettrico in modo da poter fare controlli e misure prima di procedere allo sviluppo del circuito stampato. È formata da fori regolari a distanza di 2,54 mm l'uno dall'altro che possono essere saldati tra loro.
2. Resistori assiali, si presentano come un cilindretto con 2 fili conduttori, o terminali, detti refori. Questi servono per collegare il resistore al circuito. Normalmente vengono piegati a 90 gradi, e saldati sulla scheda elettronica. Ogni resistore ha un valore numerico per essere identificato o, nel caso in cui non ci siano, si utilizza un codice a colori definito dalla EIA, tramite la "Tabella codici colori EIA-RS-279", come in questo caso. Nel circuito elettrico ho utilizzato resistori da 220K Ω , 475K Ω , 100K Ω , 1K Ω , 470 Ω , 800 Ω , 220 Ω , 600 Ω :

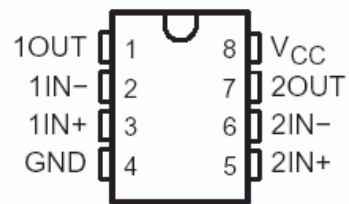
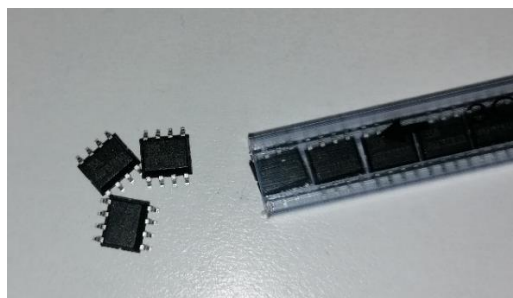


3. Condensatore Ceramico e Tantalo, formato da due lastre piane, dette armature del condensatore, cariche di segno opposte; esso ha la funzione di immagazzinare la carica energetica di un normale campo magnetico, accumulando di conseguenza al suo interno una quantità di carica elettrica, che verrà sprigionata nel caso di assorbimenti di picco del circuito.

Nel circuito elettrico ho utilizzato condensatori da 100nF, 470nF, 10 μ F, 100 μ F, 180nF, 680nF, 200nF:



4. Amplificatore LM358D:



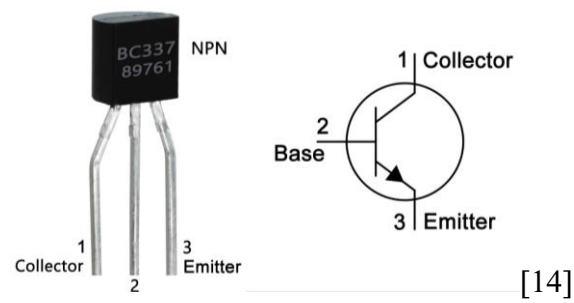
[12]

5. Trimmer resistivo, concettualmente simile ad un potenziometro, impiegato nella fase di taratura del circuito stesso, vale a dire permettere la regolazione fine dei valori elettrici del circuito, per farli coincidere con le specifiche del progetto. La variazione del loro valore di resistenza e capacità è possibile grazie ad un piccolo giravite. Nel circuito elettrico ho utilizzato due Trimmer, uno da 10K Ω e l'altro da 50K Ω :



[13]

6. Transistor NPN BC337:



7. Jack audio femmina:



8. Alimentatore GEN-300-2.5 da laboratorio, in cui la tensione d'uscita è regolabile a piacere dall'utilizzatore in base alla necessità. Questo alimentatore ha anche una limitazione della corrente massima fornita (2.5A), utile per evitare problemi in caso di cortocircuito e per speciali circuiti con alimentazione in corrente costante. L'alimentatore è collegato a due cavi, uno che andrà al morsetto – del circuito (GND) e l'altro al morsetto +:



9. Oscilloscopio LeCroy (*Figura 4.1a*), strumento di misura elettronico che consente di visualizzare, su grafico bidimensionale, l'andamento nel dominio del tempo dei segnali elettrici ed effettuare misure a lettura diretta di tensione e periodo. Questo oscilloscopio digitale, grazie alla possibilità di memorizzare una forma d'onda campionata, permette di effettuare una lettura diretta per mezzo di calcoli sui campioni in memoria.

All'oscilloscopio collego una sonda di tensione (*Figura 4.2b*), divisa in un cavo grigio con cappuccio a hook per agganciarsi al segnale da misurare e in un cavo nero con terminale a coccodrillo che fa da massa:



Figura 4.1a

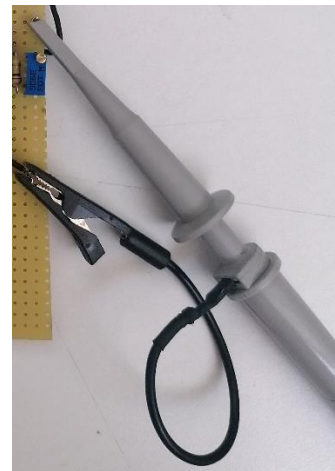


Figura 4.1b

10. Generatore di funzioni HP/Agilent 33120A (*Figura 4.2a*), utilizza la tecnica della sintesi digitale diretta per creare un segnale di uscita stabile, pulito e segnali sinusoidali a bassa distorsione. Permette di creare qualsiasi forma d'onda.

Collegato al generatore di funzione ci sono i connettori a coccodrillo (*Figura 4.2b*), coperti da materiale isolante per ridurre la possibilità di corrocircuiti. Si usano cavi con coccodrilli alle estremità per connessioni temporanee:



Figura 4.2a

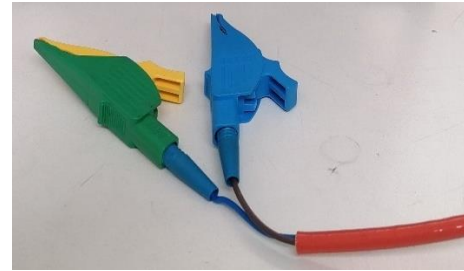


Figura 4.2b

4.2 Realizzazione di un generatore di rumore bianco

La prima parte del progetto consiste nel realizzare un generatore di rumore bianco, con i componenti messi a disposizione.

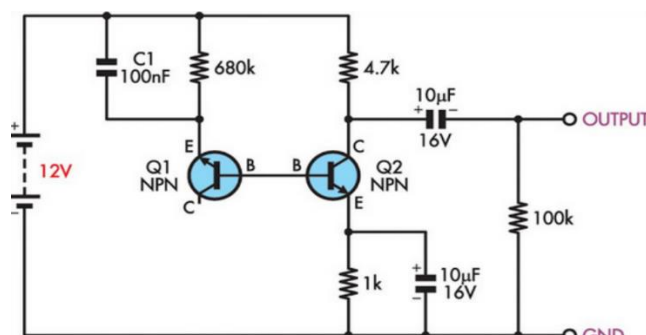


Figura 4.3: White Noise Generator [15]

È stato scelto, come base da cui partire, un circuito già esistente (Figura 4.3).

Con la tecnica della stagnatura sono state effettuate le connessioni tra la basetta millefori e i componenti. La saldatura a stagno richiede un minimo di pratica per riscaldare (senza bruciare) i componenti nella giusta maniera, al fine di evitare le cosiddette saldature fredde.

È stato elaborato il circuito, in modo tale da correggerlo se ci fossero state problematiche e adattarlo ai componenti di cui dispongo. Per esempio, un miglioramento è stato visto connettendo il condensatore C1 a terra (GND), oppure il resistore di 680KΩ è stato diviso in due resistori in serie da 220KΩ e 475KΩ, in modo tale che, sommati, abbiano un valore quasi uguale, dato che quel componente a quel valore non era presente in laboratorio.

Dopo aver disposto e collegato attentamente i vari componenti tra di loro, sono stati stagnati due morsetti in filo di rame (*Figura 4.4*), per delineare il circuito. Uno per connettere l'alimentatore (morsetto +), l'altro messo a terra (morsetto -).

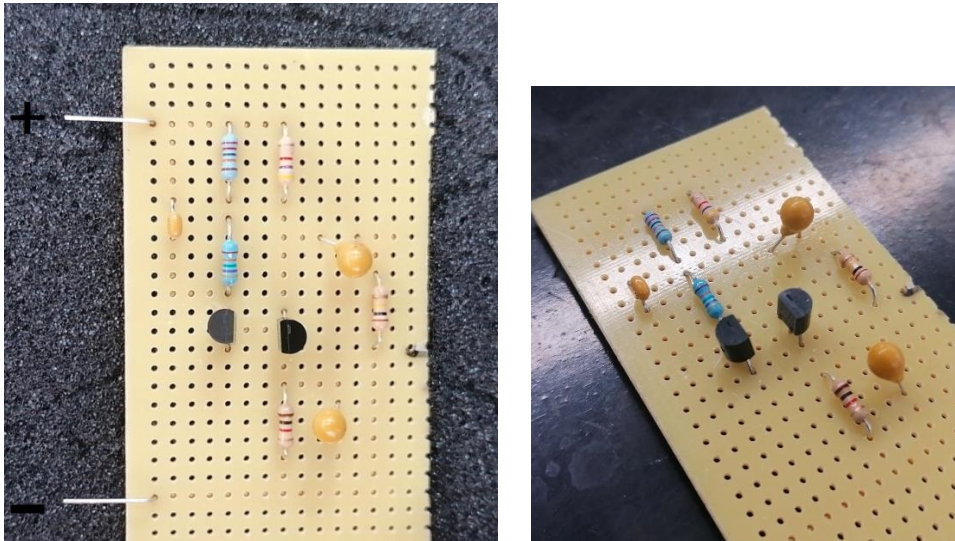


Figura 4.4: Circuito generatore di rumore bianco

4.3 Collegamento generatore di rumore bianco con dispositivo QMR

L'obiettivo del mio progetto in Telea è stato quello di riuscire a collegare in modo opportuno il loro dispositivo QMR al mio generatore di rumore bianco. Infatti, a differenza del tono puro a singola frequenza, che può essere selezionato direttamente dal dispositivo tramite il display LCD, in quanto già implementato in esso, il rumore bianco deve essere inserito dall'esterno. Mi sono dunque occupata di creare un circuito sorgente di rumore bianco da poter collegare al dispositivo QMR durante la terapia.

Per prima cosa sono state apportate delle modifiche al generatore di rumore bianco, collegando un amplificatore sommatore per sommare il segnale a rumore bianco (*Figura 4.5, parte in nero*) con il tono scelto dal macchinario QMR (*Figura 4.5, parte in rosso*):

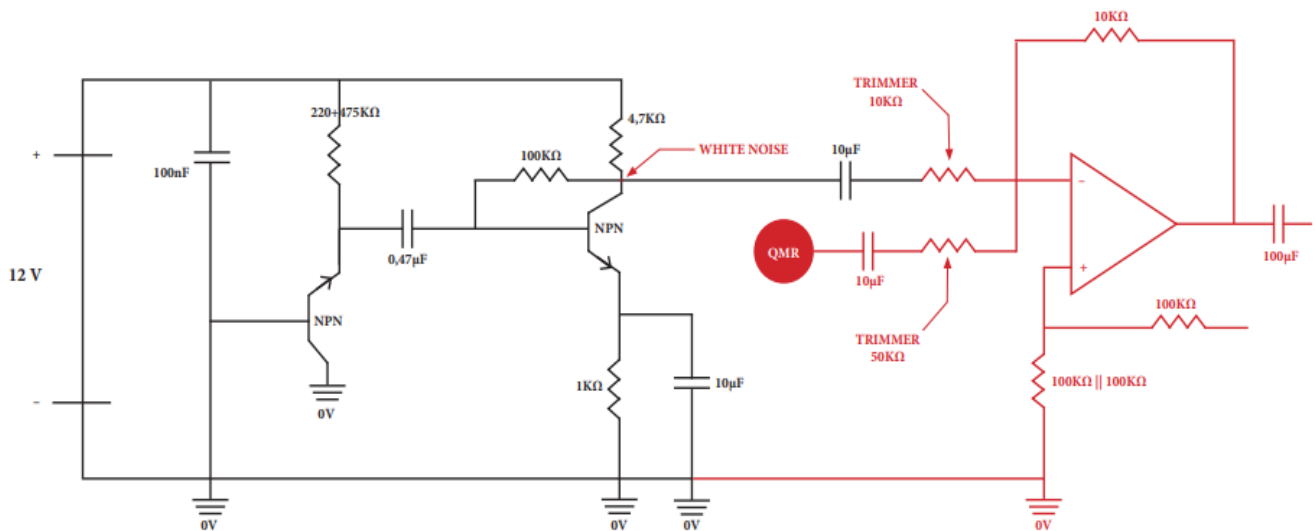


Figura 4.5: Generatore rumore bianco con amplificatore sommatore invertente

Per poter fare ciò, si deve rimuovere la resistenza di carico di $100\text{K}\Omega$ per poi collegare al condensatore di $10\mu\text{F}$ un trimmer da $10\text{K}\Omega$, a cui connettere, come dicevamo, un amplificatore (LM358D) invertente. La caratteristica di questo amplificatore è che la sua tensione di alimentazione duale tipica può essere di $\pm 12\text{V}$, $\pm 15\text{V}$, $\pm 3\text{V}$, $\pm 5\text{V}$, $\pm 9\text{V}$, ovvero rientra nella tensione che darà l'alimentatore GEN-300-2.5 da laboratorio.

Successivamente si deve sommare, sempre al morsetto invertente, un ulteriore trimmer da $50\text{K}\Omega$ e un condensatore da $10\mu\text{F}$, per poi connettere adeguatamente il dispositivo QMR. Il condensatore prima del trimmer da $10\text{K}\Omega$, quello appena aggiunto e quello all'uscita dell'amplificatore sommatore, sono tutti e tre condensatori di bypass. I condensatori di bypass vengono utilizzati per condurre una corrente alternata attorno ad un componente o ad un gruppo di componenti (nel nostro caso, prima dell'amplificatore invertente). Si occupano del rumore, aiutano a creare una corrente diretta più pulita (DC). Cortocircuitando i segnali di corrente alternata (AC) a terra, ogni rumore AC su un segnale DC viene effettivamente rimosso. Il condensatore di bypass, anche a volte definito condensatore di alimentazione (o condensatore di filtro), smorza l'AC o il rumore prodotto da tensione fluttuante.

Il passo successivo è stato collegare un jack audio femmina, composto da due cavi: uno connesso all'uscita dell'amplificatore e l'altro a massa. Questo serve per poter utilizzare le cuffie ad elettrodi bipolari per la QMR.

Per quanto riguarda il collegamento con il dispositivo QMR, si devono separare le due resistenze R16, R6 dal circuito interno del macchinario già esistente e dal test point TP9 si collega il generatore

di rumore bianco (*Figura 4.6*). Infine si connettono le due masse tra loro.

Quindi, apportate le opportune modifiche, si può procedere con il collegamento all'alimentatore di tensione a 12V e all'oscilloscopio (*Figura 4.7*):

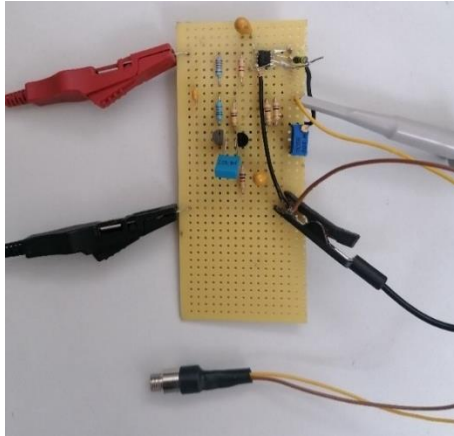


Figura 4.7

L'alimentatore è connesso tramite il cavo con terminale a coccodrillo rosso (alimentazione 12V) e nero (GND). L'oscilloscopio è connesso con il cavo grigio con cappuccio a hook all'uscita dell'amplificatore (prima del condensatore in tensione alternata da $100\mu\text{F}$) ed il cavo nero con terminale a coccodrillo che fa da massa. Il jack audio femmina è connesso con il filo giallo all'uscita dell'amplificatore e il filo rosso a massa.

Impostando momentaneamente il dispositivo QMR a 1000Hz si ottiene una sinusoide che si trasforma in onda quadra man mano che si alza il valore del trimmer da $50\text{K}\Omega$ con un giravite¹ (*Figura 4.8*).

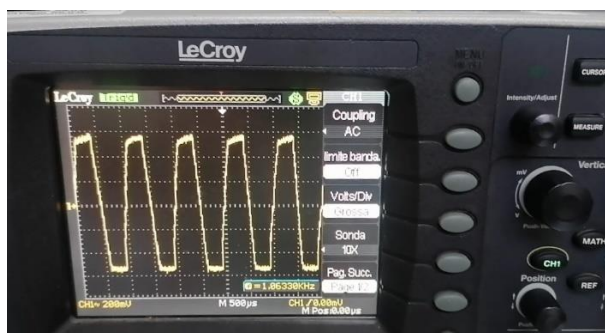
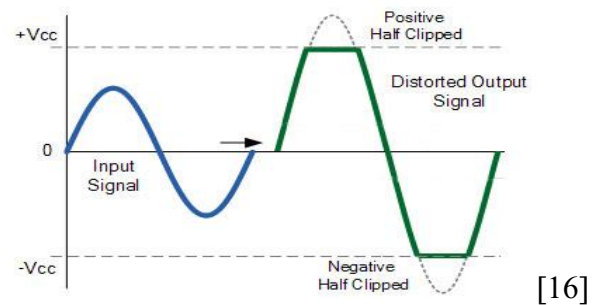


Figura 4.8

¹ Giravite è un cacciavite di taratura per trimmer con la punta in acciaio. Ruotando la sua punta sull'apposite vite posta sul trimmer, riesce a regolare il valore della resistenza che può assumere quel trimmer, stando dentro ai limiti.

La distorsione della forma d'onda si verifica quando un amplificatore è sovrapilotato e tenta di erogare una tensione oltre la sua capacità massima, ovvero va in saturazione. Questo fenomeno è detto “clipping”.



Quando un amplificatore deve produrre un segnale in uscita più elevato della sua tensione di alimentazione (in questo caso 12V), amplificherà il segnale solo fino alla massima capacità e a quel punto il segnale non può essere modificato ulteriormente, ovvero quella parte andrà “tagliata”, con una risultante tipica assimilabile ad un’onda quadra. Troncando la cima della sinusoide, l'amplificatore impone al segnale delle transizioni non contenute nel segnale originario.

Questo genera nuove frequenze non presenti nel segnale iniziale dando origine alla distorsione. Dunque, la tensione di ingresso deve essere sempre entro i limiti indicati nelle specifiche dell'amplificatore riguardo il segnale di ingresso.

Quindi, un possibile metodo è modificare la tensione di offset, ovvero la differenza di potenziale che deve essere applicata ad un amplificatore operativo per ottenere in uscita una tensione nulla.

Si aggiungono allora, al morsetto non invertente, tre resistori, due in parallelo da 100KΩ e uno in serie da 100KΩ. In questo modo, facendo il partitore tra le due resistenze e la tensione di alimentazione di 12V, si dimezza la tensione che entra nell’operazionale per non avere più saturazione.

Una volta corretto il circuito, prima di procedere con la verifica del segnale, si controlla con la sonda con cappuccio a hook che le tensioni al morsetto di alimentazione (*Figura 4.9a*), prima del morsetto invertente (*Figura 4.9b*), prima del morsetto non invertente (*Figura 4.9c*) e all’uscita dell’amplificatore (*Figura 4.9d*), siano corrette:



Figura 4.9a: tensione a 12V



Figura 4.9b: tensione a 6V



Figura 4.9c: tensione a 6V



Figura 4.9d: segnale amplificato e invertito

Le due tensioni V^+ e V^- sono, come volevamo ottenere inserendo un partitore, uguali (entrambe a 6V, per tensione di offset) e il segnale di uscita risulta amplificato e invertito dall'amplificatore invertente.

Ora si può procedere alla visualizzazione della sinusoide reinserendo il tono puro a 1000Hz sul dispositivo QMR per poter successivamente, una volta collegate le cuffie, verificare che il suono sia uguale a quello simulato da Matlab di tono puro (1KHz) sommato al rumore bianco.

Nella prima immagine (Figura 4.10a) è raffigurato il segnale con il dispositivo QMR spento, quindi solamente il rumore bianco, mentre nella seconda (Figura 4.10b) il dispositivo è acceso:



Figura 4.10a

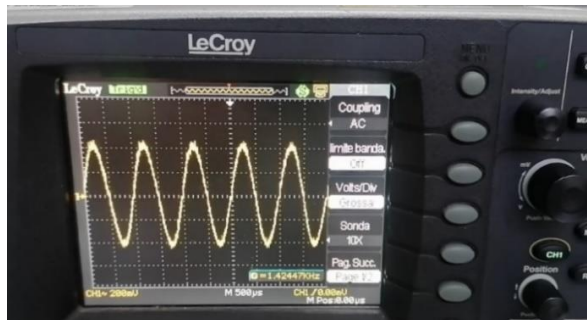


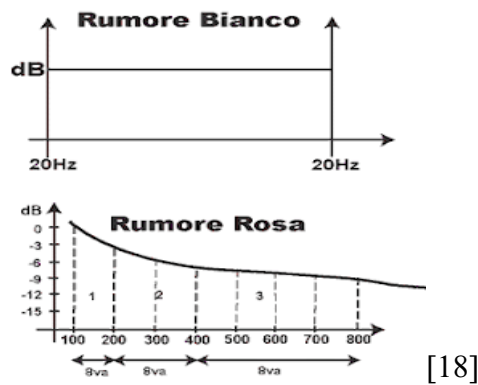
Figura 4.10b

4.4 Il rumore rosa

Si definisce rumore rosa un particolare tipo di rumore in cui le componenti a bassa frequenza hanno potenza maggiore, a differenza del rumore bianco in cui la potenza è uguale per qualsiasi frequenza. Inoltre, esso contiene tutte le frequenze sonore che rientrano nella gamma dell'udito di un essere umano, dai toni più bassi che una persona può sentire ai toni più alti.

I termini "rosa" e "bianco" derivano dall'ottica. Il colore visivo rosa ha una maggiore densità di potenza spettrale alle lunghezze d'onda ottiche più lunghe (frequenze più basse, vicino all'estremità rossa dello spettro visibile) rispetto alle lunghezze d'onda ottiche più corte (frequenze più alte, vicino all'estremità viola dello spettro visibile) [17].

Una caratteristica del rumore rosa è la diminuzione del livello spettrale di 3dB per ottava, eliminando le alte frequenze. Tenendo in considerazione la correzione del rumore rosa è possibile riprodurre correttamente il rumore bianco e quindi conferire al rumore riprodotto la stessa energia per ogni ottava. Un'ottava è una banda la cui frequenza più alta è esattamente il doppio della sua frequenza più bassa.



4.4.1 Realizzazione di un generatore di rumore rosa

Come ho accennato prima, il rumore rosa contiene tutte le frequenze sonore che rientrano nella gamma dell'udito di un essere umano, dai toni più bassi che una persona può sentire ai toni più alti. Ecco perché in questo paragrafo andrò a modificare il circuito appena progettato in un generatore di rumore rosa, dato che il rumore rosa può essere ottenuto dal rumore bianco per mezzo di un filtro passa basso.

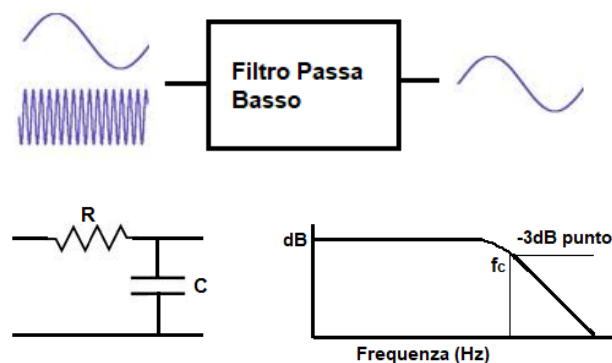


Figura 4.11 [19]

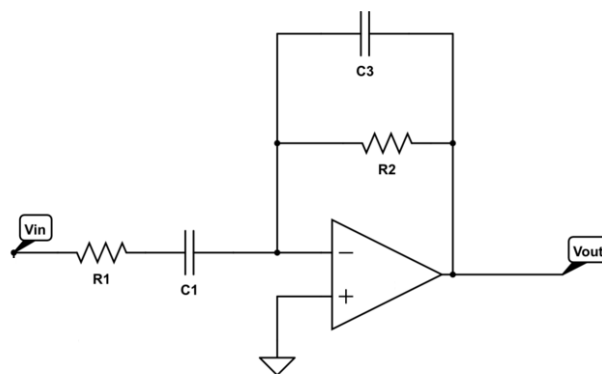
Un filtro passa basso è un circuito filtro, costituito da un resistore e un condensatore, che fa passare i segnali a bassa frequenza e blocca i segnali ad alta frequenza. Quando un resistore è posto in serie con l'alimentatore e un condensatore è posto in parallelo con lo stesso alimentatore (Figura 4.11), questo tipo di circuito forma un filtro passa basso. Lo forma a causa delle proprietà reattive di un condensatore. Ciò significa che la resistenza che offre ad un segnale cambia a seconda della frequenza del segnale. I condensatori sono dispositivi reattivi che offrono una resistenza molto elevata ai segnali a bassa frequenza. Al contrario, offrono meno resistenza all'aumentare della frequenza del segnale. Pertanto, un condensatore offre un'impedenza molto bassa ad un segnale a frequenza molto alta.

La corrente prende sempre il percorso di minor resistenza. Dunque, i segnali ad alta frequenza normalmente prendono il percorso del condensatore, mentre i segnali a bassa frequenza no, passando all'uscita.

I filtri passa basso fanno passare le basse frequenze con un guadagno elevato fino a raggiungere un punto sulla curva di risposta in frequenza in cui non è più possibile passare le frequenze con lo stesso guadagno, chiamato “frequenza di taglio”. La frequenza di taglio è il punto in cui sappiamo che il filtro produce 0,7071V del massimo guadagno di tensione. A questa frequenza, i segnali iniziano ad attenuarsi notevolmente e i segnali ad alto guadagno non passano più.

Come si può vedere dalla *Figura 4.11*, il filtro passa-basso produce il suo pieno guadagno per i segnali a bassa frequenza e quindi inizia a produrre segnali a basso guadagno. Alla frequenza di taglio, c'è una riduzione di 3dB del guadagno. All'aumentare della frequenza, i segnali si attenuano e il guadagno diminuisce ulteriormente, fino a diventare essenzialmente 0 [19].

Detto ciò, nella pratica ho inserito (inizialmente) un condensatore in parallelo alla resistenza dell'amplificatore LM358D, modificandolo in un filtro passa basso,



con $C3 = 1nF$.

Successivamente, sono stati apportati ulteriori modifiche per trasformare il circuito generatore di rumore bianco in un generatore di rumore rosa, inserendo anche un piccolo interruttore che permette il passaggio da uno all'altro:

per prima cosa si scollega il generatore di rumore dal dispositivo QMR, per poter utilizzare il generatore di funzioni HP/Agilent 33120A. Si uniscono poi i connettori a coccodrillo al circuito, un cavo a massa (cavo marrone con terminale azzurro) e uno prima del trimmer da 50KΩ che va a sostituire il dispositivo QMR (cavo blu con terminale verde/giallo) (*Figura 4.12*).

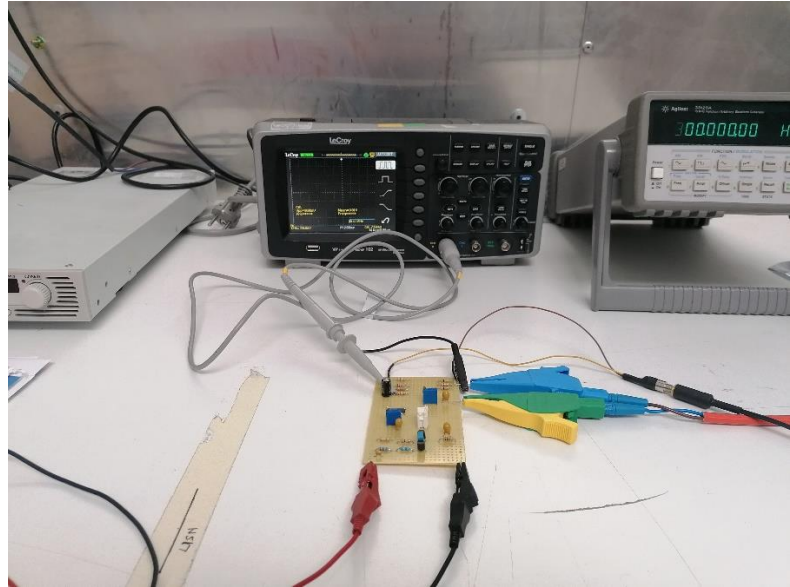
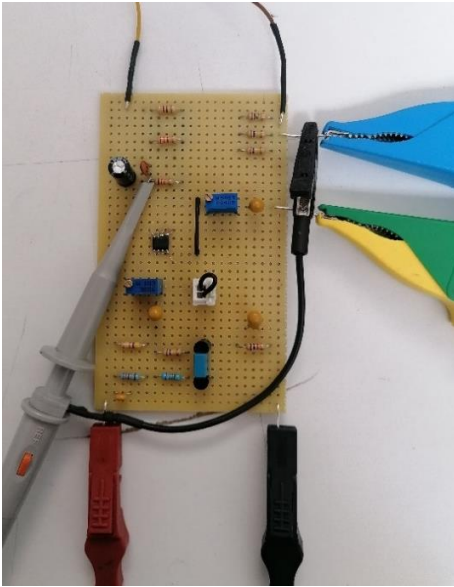


Figura 4.12: circuito connesso ad alimentatore 12V, oscilloscopio, generatore di funzione e cuffie

Con il generatore di funzioni è possibile gestire la frequenza da inserire al segnale, così da poter essere rappresentato dall'oscilloscopio e poter verificare che, aumentando la frequenza, il segnale diminuisce di 3dB per ottava. Se i valori sono esatti, il circuito generatore di rumore rosa dovrebbe funzionare correttamente.

Il passo successivo consiste nell'aggiungere opportuni resistori e condensatori in serie e in parallelo al condensatore di 1nF appena inserito, per renderlo un generatore di rumore rosa.

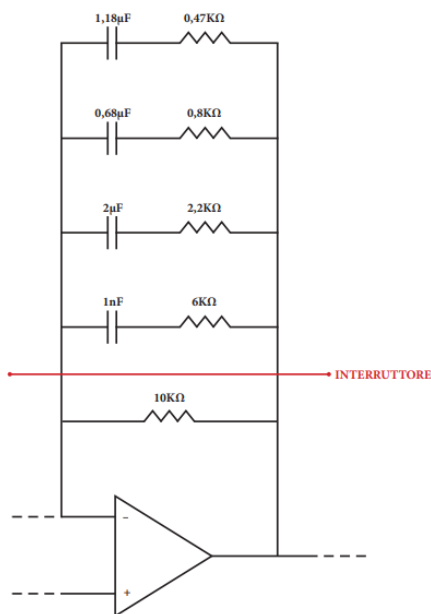
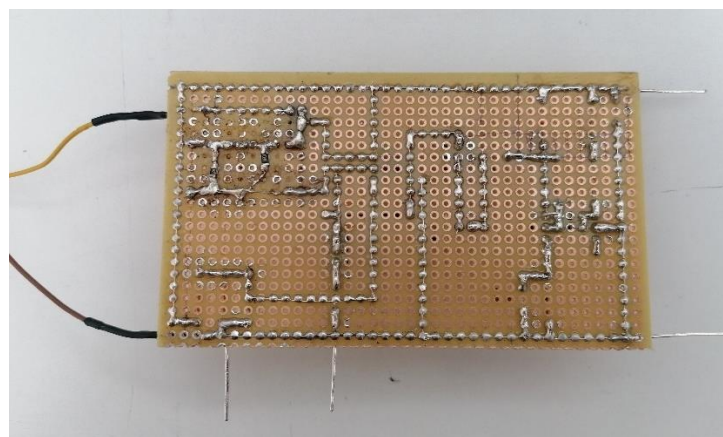


Figura 4.13: componenti aggiunti



Retro della basetta millefori con stagnatura circuito finale

L'interruttore (*Figura 4.13*) è inserito in modo tale da cortocircuitare la rete escludendo i componenti che permettono la trasformazione del circuito in un generatore di rumore rosa, lasciando solo la resistenza iniziale di $10K\Omega$ (circuito originale del generatore di rumore bianco).

4.4.2 Verifica del circuito

L'ultima fase del progetto è stata quella di verificare che il circuito, una volta collegato al generatore di funzione, all'alimentatore e all'oscilloscopio, riesca a diminuire il livello spettrale di 3dB per ottava, attenuando le alte frequenze. Contemporaneamente si farà un confronto, a parità di frequenza, impostando l'interruttore anche sul generatore di rumore bianco.

Per verificare che funzioni correttamente, si userà il valore della tensione picco-picco (V_{pp}). E' un parametro misurato tra il valore massimo di ampiezza del segnale e il suo valore minimo in un singolo periodo. Il dato è indicato sul display dell'oscilloscopio.

In questa tabella sono raccolti i numeri che ho ricavato dai test effettuati, più la frequenza di taglio (**fc**) che ho ottenuto:

Frequenza	Vpp Rumore rosa	Vpp Rumore bianco
1000Hz	524mV	520mV
2000Hz (fc)	520mV	508mV
3000Hz	418mV	510mV
4000Hz	356mV	500mV
5000Hz	317mV	504mV
6000Hz	293mV	516mV
7000Hz	270mV	512mV
8000Hz	252mV	510mV

Conclusione

L'acufene è una patologia ad eziologia multifattoriale e per questo, fin dal momento della diagnosi, va identificata la causa scatenante. Una volta individuata, il dispositivo sviluppato da Telea è progettato in modo da agire in maniera mirata sulle aree dell'organo uditivo interessate dal disturbo.

Questa incredibile tecnologia procede in modo da rigenerare il tessuto alterato e non si limita solo a ripararlo. Ha infatti la capacità di interagire strettamente con le cellule del tessuto stimolandone le capacità rigenerative, e portando alla formazione di un tessuto funzionalmente e strutturalmente uguale al tessuto originario.

Il macchinario di cui mi sono occupata durante l'esperienza di tirocinio in Telea è un dispositivo medico da dare in dotazione al paziente soggetto ad acufene come trattamento terapeutico a lungo termine. I parametri sono settati dal medico in seguito all'individuazione della frequenza e dell'intensità del suono percepito dal paziente.

La tecnologia QMR è applicata al dispositivo per mezzo di un elettrodo bipolare, la cui intensità è regolabile dal medico e internamente agisce andando a stimolare le cellule del tessuto e promuovendone la rigenerazione.

Tra i tre segnali che stanno alla base di questo dispositivo QMR, io mi sono occupata del segnale sonoro, alla frequenza e intensità dell'acufene indicato dal paziente, che stimola il cervello con l'obiettivo di abituarlo alla percezione del disturbo, fino alla completa rimozione dello stesso. Infatti, il progetto proposto da Telea in questo tirocinio è stato quello di realizzare un generatore di rumore, descritto nella sua progettazione passo per passo nel capitolo 4. Questo contribuirà, insieme al segnale QMR e segnale induttivo, alla terapia per l'acufene.

Infine, l'esperienza di tirocinio mi ha permesso di avvicinarmi per la prima volta al mondo del lavoro, mostrandomi nella pratica e concretezza ciò che ho studiato in questa triennale. Mi ha dato la possibilità di interagire con figure professionali, lavorando al loro fianco e confrontandomi. Inoltre, l'utilizzo del laboratorio, degli strumenti di stagnatura per il progetto realizzato e delle apparecchiature più significative sono stati aspetti che hanno contribuito molto alla mia formazione professionale.

Bibliografia e sitografia

- [1] “Acufene”, Dott.ssa Daria Caminiti, <https://www.dariacaminiti.it/acufene/>
- [2] “QMR, La rigenerazione tissutale in fisioterapia”, Fisioblu.it
- [3] “Anatomia dell’orecchio”, <https://www.audiologica.net/>
- [4] Adaobi E. Osuji. “Tinnitus, Use and Evaluation of Sound Therapy, Current Evidence and Area of Future Tinnitus Research.” In: International Tinnitus Journal 25.4 (2021), pp. 83–86
- [5] “Cos’è l’acufene? Conoscerlo per curarlo”, <https://www.tinnitusclinic.it/acufene-cos-e>
- [6] “L’acufene: un disturbo dell’orecchio da non sottovalutare”, <https://www.marionegri.it/magazine/acufene>
- [7] “TRT Tinnitus Retraining Terapy per la cura dell’acufene”, <https://www.acufene.it/terapia/trt-tinnitus-retrainig-terapy-cura-acufene>
- [8] “Il Futuro Della Medicina Sarà La Rigenerazione”, Ing. Gianantonio Pozzato, <https://teleamedical.com/qmr-therapy-in-continua-crescita-e-sviluppo%E2%80%8B-2/>
- [9] “Rumore Bianco: la verità, i danni e le controindicazioni”, <https://www.sorgedil.it/blog/?verita-rumore-bianco>
- [10] Rumore bianco.mp3, <https://sounds-mp3.com/i-it-white-noise>
- [11] “Modulazione in ampiezza”, <http://www.edutecnica.it/elettronica/ma/am.htm>
- [12] Amplificatore operativo datasheet, <https://forum.arduino.cc/t/aiuto-per-collegamento-amplificatore-operazionale/106037>
- [13] Trimmer multigioco, <https://campoelettrico.it/materiale-elettrico/trimmer-multigioco-bourns-3296y-1-502lf-25-giri-lineare-05-w-5-ky-9000-o-1-pz.html>
- [14] Transistor n-mos, <https://www.componentsinfo.com/bc337-transistor-pinout-equivalent/>
- [15] “Simple White Noise Generator”, posted Friday, April 19, 2013, <https://www.eeweb.com/simple-white-noise-generator/>
- [16] MTX Audio, <https://international.mtx.com/>
- [17] “Rumore rosa”, <https://tecnologico.wiki/rumore-rosa/>

[18] Rumore rosa, <http://acusticarustica.blogspot.com/2009/04/rumore-bianco-rumore-rosa.html>

[19] “Calcolatrice di Filtro Passa Basso”,

<http://www.learningaboutelectronics.com/Articoli/Calcolatrice-filtro-passa-basso.php>

[20] “Filtri”, Elemania, <http://www.elemania.altervista.org/filtri/filtri/filtri4.html>