



# INFORMATICA MUSICALE

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CATANIA**  
**DIPARTIMENTO DI MATEMATICA E INFORMATICA**  
**LAUREA TRIENNALE IN INFORMATICA**  
**A.A. 2019/20**  
**Prof. Filippo L.M. Milotta**

**ID PROGETTO:** 1A

**TITOLO PROGETTO:** I toni binaurali

**AUTORE:** Ferro Michele

## Indice

<b>1. Obiettivi del progetto</b> .....	2
<b>1.1. Descrizione e comprensione del fenomeno</b> .....	2
<b>1.2. Riferimenti storici</b> .....	4
<b>1.3. Applicazioni (verificate)</b> .....	4
<b>1.4. Applicazioni (non verificate)</b> .....	5
<b>1.5. Riferimenti nella cultura di massa</b> .....	5
<b>2. Riferimenti Bibliografici</b> .....	8
<b>3. Argomenti Teorici Trattati</b> .....	9
<b>3.1. Psicoacustica</b> .....	9
<b>3.2. Differenza tra funzionamento fisiologico e funzionamento cognitivo</b> .....	9
<b>3.3. Grandezze fisiche che influenzano la percezione sonora</b> .....	11
<b>3.4. Toni binaurali</b> .....	11
<b>3.5. Battimenti</b> .....	11

# 1. Obiettivi del progetto

## 1.1. Descrizione e comprensione del fenomeno

Un **battimento** è generato dalla sovrapposizione tra due onde che hanno vicina frequenza, ma che possono avere anche ampiezza diversa: il risultato di tale sovrapposizione sarà un **terzo suono** la cui frequenza è pari alla media delle frequenze delle due onde originali, e i cui picchi d'ampiezza dipendono direttamente dalla differenza tra le rispettive frequenze delle due onde: in pratica maggiore è tale differenza, maggiore sarà il numero di picchi d'ampiezza in un secondo.

Da qui, si potrebbe già capire che questo terzo tono risultante dalla sovrapposizione tra i primi due non è uniforme come quello emesso da ciascuna sorgente presa singolarmente; piuttosto esso è composto da una serie di picchi intervallati da progressivi incrementi e affievolimenti, che danno una sensazione di “vibrato”: praticamente è un suono armonico la cui ampiezza varia periodicamente nel tempo.

Volendo fare un esempio: se le due sorgenti sonore prese in considerazione emettono onde con una frequenza pari rispettivamente a 400 Hz e 402 Hz, il risultato sarà un terzo suono con frequenza pari a 401 Hz e con due picchi d'ampiezza al secondo. Tali picchi d'ampiezza sono proprio i battimenti.

Volendo ancor di più semplificare la trattazione, si prenda come riferimento il suono di una campana che suona: quella sorta di “vibrazione” emessa dalla campana altro non è che la conseguenza dei battimenti che si verificano nel momento in cui la campana viene colpita, e onde con diverse frequenze, ma comunque molto vicine tra loro, vengono sovrapposte.

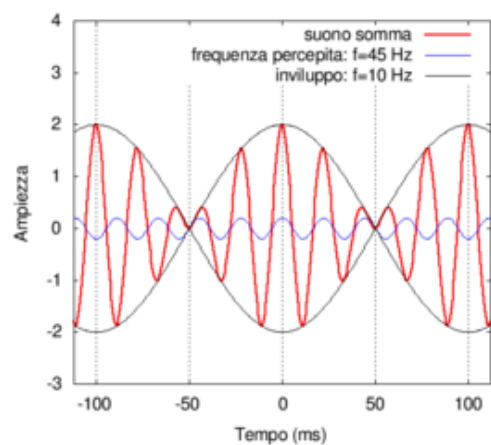
Naturalmente, l'orecchio umano, potendo percepire “solamente” onde con frequenza variabile tra i 20 Hz ed i 20 kHz, non è in grado di percepire dei battimenti la cui frequenza supera otto picchi al secondo. Otto picchi, infatti, sono pari ad una frequenza di 8 Hz: il periodo di tale frequenza è di 0,125 s. Quindi questo limite è imposto direttamente dalla natura del nostro orecchio, il quale non è in grado di percepire suoni emessi ad una distanza di tempo pari a 0,1s.

Questa introduzione ai battimenti è stata necessaria per poter descrivere i **toni binaurali**, i quali sono classificati come una particolare tipologia di battimento. Tale particolarità è dovuta al fatto che, esattamente come una qualunque illusione sonora e a differenza dei tradizionali battimenti, tale fenomeno non è conseguenza di un processo fisico (quale la sovrapposizione tra due onde), ma puramente cognitivo.

Le condizioni affinché il fenomeno si verifichi, sono molto simili a quelle richieste dai battimenti tradizionali, ma in questo caso:

- le frequenze dei due toni utilizzati devono essere sotto i 1000-1500 Hz;
- la differenza in frequenza tra i due toni non deve essere maggiore di 30 Hz.

Tali condizioni, sono necessarie affinché i suoni non siano fin troppo alti e discostati come frequenza, altrimenti verrebbero percepiti da noi per quello che sono: due suoni diversi! Inoltre, è necessario che l'ascoltatore indossi delle cuffie: ogni cuffia, rispettivamente, dovrà riprodurre il tono (puro, naturalmente) assegnato, ricordando che, in ogni caso, la differenza tra le loro frequenze non superi i 30 Hz. Soddisfatte tutte queste condizioni e avviate le due tracce audio, il **cervello** andrà a generare un **terzo tono** (un battimento che in realtà non esiste) con frequenza pari alla differenza tra le due originali, e che verrà percepito dall'ascoltatore come se fosse un battimento acustico. Fin qui, il fenomeno sembra molto molto simile ad un tradizionale battimento, che però viene generato non dalla sovrapposizione dei due suoni, ma dal nostro cervello. Dove sta allora la differenza? La differenza principale è indotta dal fatto che, per

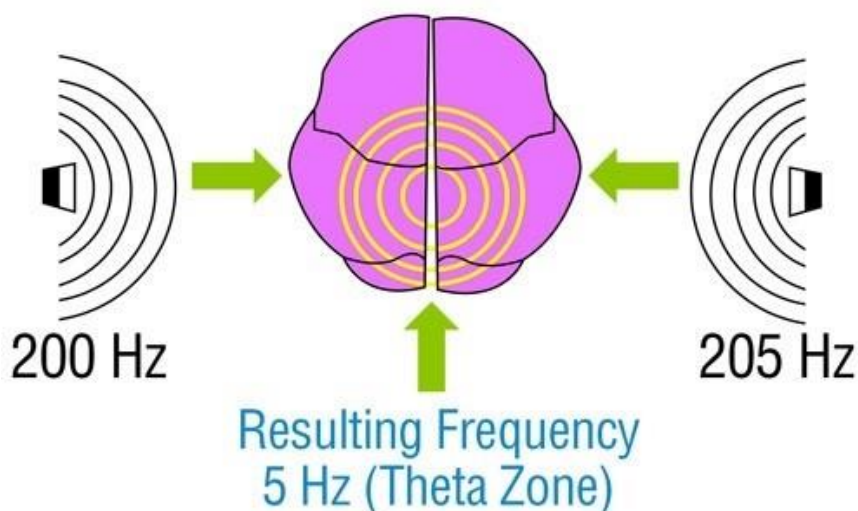


**risonanza**, il nostro cervello andrà a “sincronizzarsi” con questo terzo tono generato, come se volesse assumere il suo stesso “ritmo”.

I **neuroni** nel nostro cervello comunicano mediante impulsi elettrici. Tali impulsi, possono essere osservati solamente mediante un **elettroencefalogramma** (da qui in poi, ECG), in grado di registrare tali attività sotto forma di onde la cui frequenza varia in un range che va fino ai 40 Hz: tali onde sono note col nome di **onde cerebrali**. Il range di frequenza delle onde cerebrali, a sua volta, si può suddividere in altri cinque intervalli più piccoli, ognuno dei quali “contiene” una frequenza d’onda che si manifesta solo sotto determinate condizioni alle quali il soggetto è sottoposto:

1. **Onde Delta** – dai 4 Hz in giù: si manifestano durante il sonno profondo, ma fuori dalla fase Rapid Eye Movement (REM).
2. **Onde Theta** – dai 4 ai 7 Hz: si manifestano quando un soggetto sogna (o durante la fase REM) e durante una profonda meditazione;
3. **Onde Alpha** – dai 7 ai 13 Hz: si manifestano durante una fase di rilassamento, di sonnolenza pre-sonno o post-veglia;
4. **Onde Beta** – dai 13 ai 39 Hz: si manifestano durante una fase di concentrazione, di cognizione o durante un’attività mentale vigile;
5. **Onde Gamma** – 40 Hz in su: si manifestano in momenti di paura, di percezione, durante una fase di problem solving o comunque di un’attività mentale elevata.

Il cervello, appunto, entrerà in risonanza con quel tono risultante dal “battimento” e – a seconda della frequenza di quest’ultimo – emetterà onde cerebrali la cui frequenza è appartenente ad uno dei range descritti in precedenza, generando lo stato d’animo ad esso associato (rilassamento per le *Alpha*, concentrazione per le *Beta*, e così via). Sappiamo benissimo che tali frequenze (salvo parte delle onde *Beta* e delle *Gamma*) si trovano al di fuori del dominio della percezione umana; per cui, questo è l’unico modo conosciuto finora affinché il cervello possa entrare in risonanza con onde che in realtà non possiamo percepire, e generare uno stato d’animo di conseguenza. È come se, grazie a questo fenomeno, nel nostro corpo si aprisse una backdoor, e si possano immettere dei dati in input che altrimenti non si potrebbero inserire.



C’è anche da dire, tuttavia, che non tutti percepiscono i toni binaurali alla stessa frequenza e soprattutto allo stesso modo: esattamente come per gli acufeni, ogni soggetto potrebbe percepire i toni binaurali in modo diverso dall’altro.

## 1.2. Riferimenti storici

Fu il medico e meteorologo prussiano **Heinrich Wilhelm Dove** a scoprire per la prima volta i toni binaurali, nel 1839. Dopo aver posto un soggetto in una stanza e posizionati due diapason all'interno di essa (più precisamente, uno nel lato della stanza in corrispondenza di un orecchio del soggetto, ed il secondo nel lato parallelo), egli si rese conto che i due strumenti non vibravano alla medesima frequenza, ma che il soggetto poteva percepire quella differenza in frequenza come un suono combinato, ossia battimento molto lento, da quel momento in poi noto come tono binaurale.



Tuttavia, l'argomento venne poi messo da parte dalla comunità medica e scientifica, e venne ripreso solamente quasi un secolo e mezzo dopo – nel 1973 – dal dottor **Gerald Oster**, il quale riuscì a sperimentare il fenomeno e a documentarlo in un articolo pubblicato sotto il nome “**Auditory Beats in the Brain**” (“Battimenti Acustici nel Cervello”). Nell'articolo citato, Oster affermò come i toni binaurali possano essere un potentissimo strumento di studio e ricerca nel campo della neuroscienza cognitiva – ossia la branca scienze riguardanti il sistema nervoso che si interessano principalmente alle basi cerebrali del pensiero. Inoltre, egli suggerì il loro utilizzo come strumento per diagnosi mediche nelle problematiche di natura uditiva o neurologica. A tal proposito, Oster riuscì a scoprire che parte dei soggetti affetti dal

morbo di Parkinson o che avevano subito gravi ictus non erano in grado di percepire i toni binaurali: ciò pertanto confermò che non tutti li percepiscono, e che in ogni caso, non tutti li percepiscono allo stesso modo. Tali differenze di percezione potevano anche essere dettate dal sesso, perciò egli ipotizzò anche che i toni binaurali potessero essere utilizzati come strumento misura del livello di estrogeni nel sangue.

Uno dei nomi legati ai toni binaurali, situato temporalmente nell'arco di quel secolo e mezzo di distacco tra Dove e Oster, è quello di **Shirō Ishii**. Generale e chirurgo giapponese dell'Unità 731, somministrò delle sessioni di toni binaurali ai prigionieri in Manciuria “a scopo scientifico”. In realtà è noto come l'Unità 731 del Giappone fosse un programma segreto di ricerca e sviluppo di armi biologiche; per cui sarebbe corretto dire che quelle somministrazioni erano letteralmente delle orrende e disumane torture, i quali risultati sarebbero poi stati risultati di ricerca.



## 1.3. Applicazioni (verificate)

Sono molti gli utilizzi ai quali i toni binaurali si prestano (alcuni sono stati citati nel corso della trattazione). Di seguito si elencano quelli verificati.

### Estrogeni

È stato rilevato che nelle donne esistono due picchi massimi di percezione dei battimenti: precisamente al momento dell'ovulazione e quindici giorni dopo; pertanto, tali dati li rendono potenzialmente utili come riferimento alla concentrazione e al ciclo degli estrogeni.

### Parkinson

Come già citato precedentemente, i malati di Parkinson hanno difficoltà o inabilità totale nel percepire le frequenze dei battimenti generati dal cervello. È stato inoltre verificato che, al migliorare del decorso della malattia, si ottiene un miglioramento della percezione dei battimenti; ciò quindi rende i toni binaurali un efficace strumento diagnostico dell'effetto delle terapie somministrate ai malati di Parkinson.

### Epilessia

Il battimento del cervello può essere ottenuto non solo mediante via uditiva, ma anche per via ottica secondo il medesimo principio. Sottoponendo un soggetto ad uno stimolo simile sia mediante via uditiva sia mediante via ottica, è possibile generare in questi una epilessia foto sensitiva.

## Ormoni

Alcune frequenze binaurali sono in grado di stimolare alcune ghiandole a secernere delle quantità di ormoni: più precisamente, mediante un esperimento, si è scoperto che un mix di onde Alfa-Theta è in grado di far generare delle beta-endorfine.

### 1.4. Applicazioni (non verificate)

Esistono tantissimi usi dei toni binaurali i cui effetti non sono scientificamente verificati.

Non è raro, infatti – digitando sulla barra di ricerca di YouTube “toni binaurali” – imbattersi in **video** il cui titolo afferma che l’ascolto può giovare l’organismo potenziandone la memoria, l’apprendimento, o addirittura guarendolo da malattie (anche molto gravi). Altri ancora, invece, affermano di poter amplificare le energie spirituali dell’individuo, di aprire il suo terzo occhio e di portarlo su un presunto “piano superiore”. In realtà, come già affermato, non c’è nessuna dimostrazione scientifica di tutto ciò, pertanto i video vanno considerati dei semplici “acchiappa-click” ed eventuali reazioni positive sono da considerarsi solamente frutto di un effetto placebo.

In passato inoltre, più precisamente alla fine dello scorso decennio, venne affermato che toni binaurali sotto certe frequenze possono essere considerate delle “**droghe digitali**” (“**iDoser**” fu il nome dato a queste presunte droghe).

Stando a un comunicato stampa del 2008 della Guardia di Finanza italiana, una società offriva sul proprio sito – sotto pagamento – delle dosi sonore, che tuttavia, alternativamente, potevano facilmente essere reperite gratuitamente dopo aver effettuato una ricerca su Google. Queste dosi sonore consistevano in archivi zip che, una volta scompattati, rivelavano al loro interno centinaia di file audio catalogati con i nomi delle sostanze di cui avrebbero dovuto simulare l’effetto (quindi cocaina, oppio, eroina, marijuana e via dicendo). In realtà, attraverso un accurato studio dell’Istituto di Scienze Neurologiche del Cnr di Catanzaro, e più precisamente del dottor Michelangelo Iannone, saltarono fuori nient’altro che ipotesi e speculazioni sul fenomeno. Vennero infatti somministrati in modo “sommatorio” una leggera dose di ecstasy e un suono di intensità pari a 95 dB (il massimo consentito nelle discoteche, quindi) a degli animali da laboratorio. Venne verificato che, applicato il suono, l’effetto dell’ecstasy veniva realmente amplificato: tuttavia lo stesso medico asserì che in realtà non c’era una vera e propria correlazione tra il tono applicato e il potenziamento degli effetti della droga: affinché tale dipendenza sia reale, infatti, è necessario che il tono stimoli dei determinati neurotrasmettitori; tuttavia, non c’è alcuno studio che possa accertare l’esistenza di questi specifici neurotrasmettitori, e ciò rende i risultati inaffidabili.

### 1.5. Riferimenti nella cultura di massa

Oggigiorno, esistono molti miti e leggende sui toni binaurali. A cominciare da quelli descritti tra le applicazioni i cui effetti non sono scientificamente verificati, fino a terminare con leggende metropolitane a sfondo horror note sul web col nome di **Creepypasta**. Molte di queste hanno la stessa morale: i toni binaurali possono danneggiare in modo significativo l’organismo o portare addirittura chi le ascolta alla morte. Naturalmente, nulla di tutto ciò è reale, ma queste storie non fanno altro che aumentare il mistero che si cela dietro queste frequenze emesse dal nostro cervello.

Qui viene riportato l’esempio più clamoroso il quale, dopo aver alzato un polverone mediatico durato diversi anni, si scoprì (mediante accurate analisi) essere una vera e propria bufala: si parla di quella che è stata definita “**Sindrome di Lavandonia**”.

Prima di poterne parlare è necessario fare una piccola ma doverosa parentesi.

Chiunque avrà avuto a che fare, direttamente o indirettamente, col brand “**Pokémon**” nel corso della propria infanzia (e non). Ebbene, i primi giochi di questa serie – **Versione Rossa** e **Versione Blu** (**Verde** in Giappone) – vennero sviluppati per la console portatile **Game Boy** di Nintendo intorno ai primi anni ’90, pubblicati nel ’96 e rilasciati in territorio nostrano solamente tre anni dopo.

La presunta “Sindrome” prende il nome da una città presente nei suddetti titoli, la quale aveva un’atmosfera decisamente differente rispetto a quelle alle quali i giocatori si erano abituati andando avanti nel corso della loro personale avventura digitale. Una volta messo piede nella città di *Lavandonia*, circa a un quarto della trama principale, una tetra nenia veniva emessa dalle casse del Game Boy, mettendo inquietudine a chiunque giocasse.

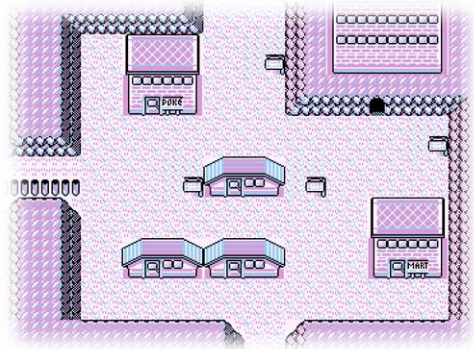
Secondo la Creepypasta dall’omonimo titolo, pubblicata su Pastebin nel 2010, quella soundtrack – composta da **Junichi Masuda** – avrebbe portato al suicidio, nel 1996, circa 200 bambini giapponesi.

Stando a questa versione dei fatti, la melodia conteneva dei toni binaurali in grado di causare nell’organismo diversi effetti collaterali fisici e psichici: si parla emicrania, giramenti di testa, vertigini, vomito, depressione e manie di autolesionismo; tutti questi sintomi, nei casi più gravi, avrebbero appunto portato al suicidio. Il polverone mediatico fu tale che molti particolari vennero aggiunti alla storia: persino l’immagine modificata del presunto **spettrogramma** della melodia, che avrebbe presentato dei messaggi subliminali. Su YouTube sono presenti dei video che cercano di mostrare questi presunti messaggi subliminali (rappresentati con la forma di uno spettro) ma è ovvio che lo spettrogramma sia stato semplicemente alterato da chi ha realizzato e caricato questi video sulla piattaforma, così da poter dare dimostrazione a questa tesi.

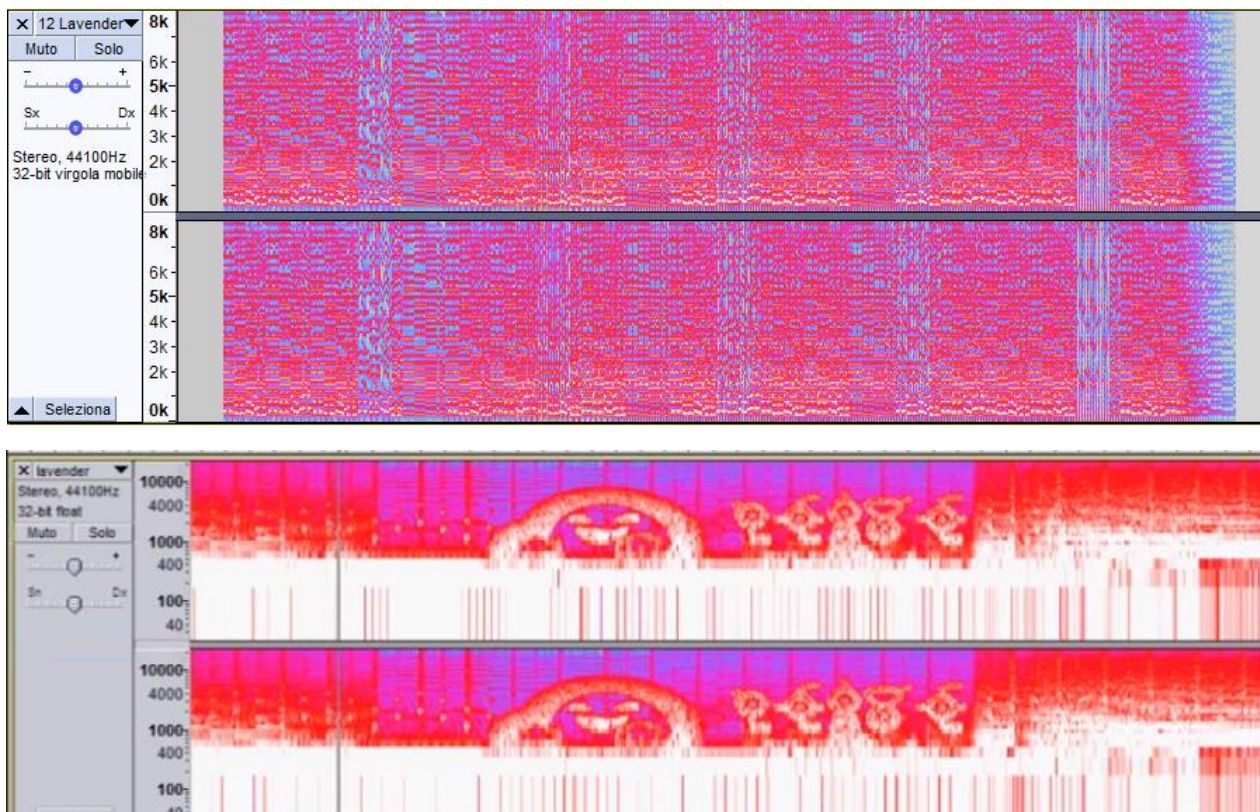
Naturalmente, nulla di tutto ciò è reale, e nulla di tutto ciò era presente in questi giochi (nessuno sviluppatore avrebbe motivo di mettere in vendita dei giochi per il semplice fatto di voler portare al suicidio ai suoi piccoli clienti).

Esistono diverse versioni di questa leggenda metropolitana, alcune con dettagli in più, altre con dettagli in meno. Volendo citare una di queste (solo perché in relazione ad argomenti qui trattati), in alcune versioni delle cartucce in questione, sarebbero presenti dei dati di una creatura tascabile nota come “**731**”, in riferimento all’Unità 731 già citata in precedenza. Le texture di questo presunto Pokémon sono fotografie in sequenza e in due bit di Shirō Ishii, del quartier generale dell’Unità 731 e della bandiera giapponese recante la scritta in kanji “*Imperatore*”. Il tutto, col sottofondo della soundtrack di Lavandonia, accelerata di tre volte. In caso di cattura, il gioco si bloccherebbe, e la velocità di riproduzione della soundtrack arriverebbe a ben dieci volte. Anche in questo caso esistono video su YouTube, ma sono semplicemente frutto di hacking del gioco: si nota come gli ideatori di questa versione della leggenda abbiano voluto accostare il tema dei toni binaurali all’Unità 731, che torturava i suoi prigionieri facendone uso.

Di seguito, si mostra il reale spettrogramma (analizzato con *Audacity*) della soundtrack in questione (in alto), confrontato con uno preso da uno dei video sopracitati (in basso), in dimostrazione del fatto che nulla di quanto descritto dalla sopracitata leggenda metropolitana è reale.







Ciò non toglie comunque che la melodia sia piuttosto inquietante, e che i più sensibili potrebbero avvertire (non più) di un brivido sulla schiena!

## 2. Riferimenti Bibliografici

### 2.1 Elementi generali sui toni binaurali, elementi di carattere scientifico e storico:

[https://it.wikipedia.org/wiki/Toni\\_binaurali](https://it.wikipedia.org/wiki/Toni_binaurali)

### 2.2 Introduzione sui battimenti, per poter meglio comprendere il fenomeno ad essi associato:

[https://it.wikipedia.org/wiki/Battimenti\\_\(musica\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Battimenti_(musica))

### 2.3 Elementi descrittivi e approfondimenti non presenti sulla Wiki italiana:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Beat\\_\(acoustics\)#Binaural\\_beats](https://en.wikipedia.org/wiki/Beat_(acoustics)#Binaural_beats)

### 2.4 Vicenda e indagine relativa agli iDoser:

[https://www.corriere.it/salute/08\\_luglio\\_01/droga\\_onde\\_sonore\\_e2d3b57e-4780-11dd-8c36-00144f02aabc.shtml](https://www.corriere.it/salute/08_luglio_01/droga_onde_sonore_e2d3b57e-4780-11dd-8c36-00144f02aabc.shtml)

### 2.5 Approfondimenti relativi alle frequenze delle onde cerebrali e alla risonanza tra cervello e toni:

<https://knowingneurons.com/2017/12/21/binaural-beats/>



### 3. Argomenti Teorici Trattati

#### 3.1. Psicoacustica

La **psicoacustica** studia la percezione soggettiva umana dei suoni: in pratica, è solo tramite la psicoacustica che si è in grado di comprendere in che modo un suono possa essere percepito da un essere umano. In particolare, un suono altro non è che uno stimolo acustico composto da onde di pressione che si propagano attraverso l'aria. Questo vuol dire che affinché il suono possa essere realmente percepito sono necessari tre elementi: un **corpo vibrante** (e quindi in grado di emettere un suono), un **mezzo di trasmissione** (quale l'aria) e qualunque cosa possa essere in grado di **captare** uno stimolo sonoro (come l'orecchio umano, appunto). Teoricamente, un suono – essendo un segnale analogico continuo – può portare ad un infinito numero di informazioni. Tuttavia, solo una minima parte viene colta dal nostro sistema uditivo a causa della struttura intrinseca. Infatti, considerando che un suono è caratterizzato, come vedremo meglio, da ampiezza, frequenza e fase, noi possiamo percepire solamente un ristretto **range** di frequenze: nello specifico dai 20 Hz ai 20000 Hz.

Mediante la psicoacustica si è in grado di capire e studiare le molteplici funzioni del nostro sistema uditivo. Infatti, mediante questo complesso sistema sensoriale, siamo in grado di:

1. **Comprendere un messaggio sonoro**, distinguendo la lingua parlata (per esempio, l'italiano rispetto all'inglese), la sorgente sonora e l'ascolto musicale;
2. **Ricostruire una mappa spaziale a 360° delle sorgenti sonore**, riuscendo anche a localizzare oggetti circostanti, fermi o in movimento che siano;
3. **Comprendere la natura dell'ambiente circostante**.

Queste tre funzioni rendono il sistema uditivo uno dei più potenti, se non il più potente, mezzo che l'uomo ha per interfacciarsi col mondo esterno.

#### 3.2. Differenza tra funzionamento fisiologico e funzionamento cognitivo

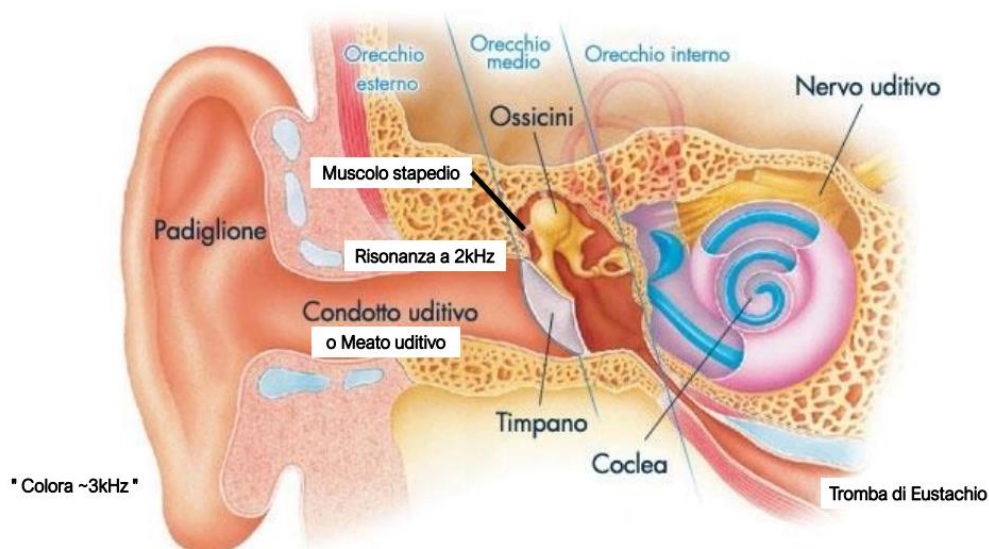
La percezione del suono non è solamente frutto dell'operato delle nostre orecchie. Affinché un suono venga realmente percepito, è necessario che collaborino il funzionamento fisionomico e quello cognitivo del nostro sistema uditivo.

Il **funzionamento fisiologico**, in particolare, è il comportamento che sta alla base del nostro apparato uditivo. Tramite il funzionamento fisiologico siamo in grado di comprendere come una pressione dell'aria, quale è il suono, venga poi trasformato in un impulso elettrico che viene mandato nel nostro cervello.

Nello specifico, il suono in questione viene prima "raccolto" dalla fascia più esterna dell'orecchio, ossia il padiglione auricolare, e passa poi per il condotto uditivo. Una volta arrivato nelle profondità di questo condotto, raggiunge l'area che separa l'orecchio esterno da quello medio, ossia il timpano. A causa della pressione, il timpano comincia a vibrare, e questa vibrazione attraversa poi l'orecchio medio, che è un complesso sistema composto da tre ossicini: martello, incudine e staffa. Tale sistema, a sua volta, ha diverse funzioni che dipendono direttamente dalla forma, dalla dimensione e dalla posizione delle tre ossa stesse:

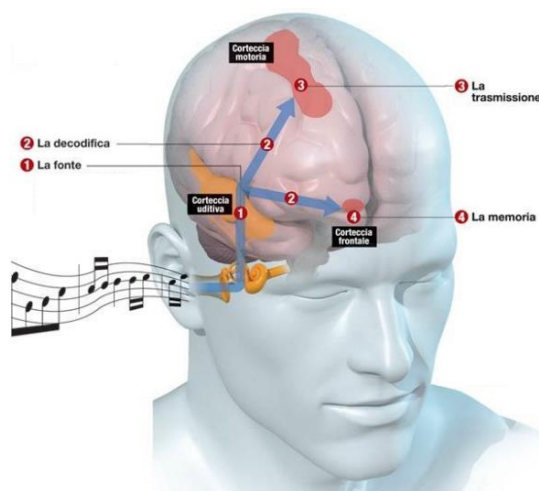
1. **Amplificare le vibrazioni che giungono dal timpano**: il martello è "collegato" al timpano, il quale ha una superficie estremamente più grande rispetto alla staffa; questo passaggio di superficie (da una più grande ad una più piccola) permette un aumento della pressione iniziale;
2. **Proteggere il timpano dai suoni forti**: in questo caso è un muscolo – nello specifico il muscolo stapedio – a prevenire il danneggiamento del timpano, fermando la propagazione del suono mediante un blocco dei tre ossicini;
3. **Propagare la vibrazione fra due mezzi diversi**: in questo caso, potremmo dire che l'orecchio medio funge da una vera e propria interfaccia tra aria e liquido. L'aria è il mezzo della propagazione, mentre il liquido è quello contenuto all'interno della coclea, organo presente nella fascia più interna.

La **coclea**, organo presente nell'orecchio interno è composta al suo interno da diverse membrane (vestibolare, basilare e tettoriale, rispettivamente dalla fascia più esterna a quella più interna). Al suo interno, come accennato precedentemente, contiene un liquido molto viscoso che spostandosi genera dei movimenti della membrana basilare. Questi movimenti vengono percepiti dalle ciglia, le quali si attivano e mandano un impulso che poi arriva al cervello. Ad ogni "range" di ciglia corrisponde un range di frequenze, contenuto in un insieme che va dai 20 Hz ai 20000 Hz: questo è il motivo per il quale non riusciamo a percepire gli infrasuoni e gli ultrasuoni.



Il **funzionamento cognitivo**, invece, è ancora oggetto di studio, in quanto non è ancora del tutto chiaro come i segnali provenienti dalle due orecchie vengano mischiati per produrre la sensazione di musica. Il funzionamento cognitivo è più legato al sistema nervoso e al cervello piuttosto che all'apparato uditivo in sé. Un possibile schema potrebbe essere il seguente:

1. **fonte**: il suono arriva all'orecchio e mediante il meccanismo già analizzato raggiunge la corteccia;
2. **decodifica**: la corteccia uditiva contiene aree distinte in grado di selezionare le varie componenti, come toni e frequenze.
3. **trasmissione**: le informazioni vengono trasmesse a molte altre regioni del cervello, localizzate principalmente nell'emisfero destro;
4. **memoria**: la corteccia frontale interpreta le informazioni musicali e le associa a delle emozioni.



Mediante il funzionamento cognitivo, siamo perfettamente in grado di dire che il suono percepito dipende dallo stato d'animo di chi ascolta, o comunque principalmente dalla sua psiche. In questo caso, è direttamente il cervello ad interpretare le informazioni che riceviamo mediante l'orecchio: potremmo quasi dire che se l'orecchio ci permette di sentire, il cervello ci permette di ascoltare!

Il funzionamento cognitivo dell'uomo, inoltre, è così complesso da essere caratterizzato anche da meccanismi di automatismo, come l'**isolamento dei suoni** (per esempio, durante una conversazione, isolare una voce dalle altre che la circondano) e la **cancellazione dei segnali superflui** (quello che in pratica succede quando ascoltiamo così tanto un rumore – come quello del traffico urbano – da abituarci e quasi non sentirlo più). Un altro meccanismo interessante, invece, potrebbe essere quello di "allerta": ebbene, nel cervello

dell'uomo è presente un altro importante sistema automatico – questa volta di attenzione – che filtra i segnali acustici mentre si dorme; solo i segnali veramente importanti (ad una certa ampiezza e/o ad una certa frequenza, come il rumore della sveglia) fungono da “campanello di allarme” e ci destano dal sonno.

### 3.3. Grandezze fisiche che influenzano la percezione sonora

Le principali grandezze che influiscono sulla percezione umana del suono sono:

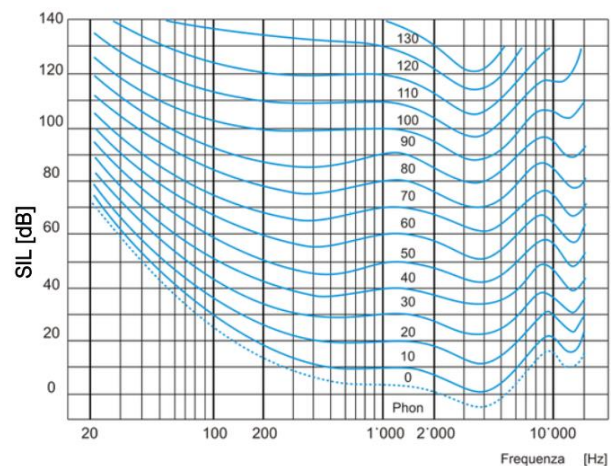
- la sua **frequenza**, la quale ci permette di distinguere un suono alto (o acuto) da uno basso (o grave);
- la sua **ampiezza**, la quale ci permette di percepire un volume alto rispetto ad uno basso;
- il suo **spettro**, al quale è associata il timbro o l'armonia del suono stesso.

In realtà potremmo dire che è l'ampiezza (ossia il volume) a influenzare maggiormente la percezione del suono, in quanto è ad essa che è associata alla nozione di frequenza fondamentale.

A tal proposito, l'ampiezza si può misurare in termini di intensità mediante il **Sound Intensity Level (SIL)**, una misura del livello di intensità del suono, espressa in decibel.

Invece, l'unità di misura del volume percepito (che è naturalmente diverso rispetto al volume effettivo di un suono) viene detta **fono** (o **phon**). In particolare, un suono ha un volume di x phon, se un suono di 1000 Hz che viene percepito con lo stesso volume una SIL di x dB. Mediante tale definizione, si può arrivare a costruire il **diagramma di Fletcher-Munson** delle curve isofoniche (costruito comunque in maniera empirica).

Secondo tale diagramma (presentato qui in figura) i punti che fanno parte della stessa curva isofonica vengono percepiti come suoni che hanno lo stesso volume (pur non avendolo effettivamente, magari). Notiamo come sull'asse delle ascisse sia presente la frequenza espressa in Hz, mentre sull'asse delle ordinate sia presente la SIL: pertanto, in un generico punto (x,y) del diagramma viene rappresentato un tono di frequenza x Hz a un volume di y dB.



### 3.4. Toni binaurali

I **toni binaurali** (o battiti binaurali dall'inglese binaural beats) sono dei battimenti che vengono percepiti dal cervello quando due suoni con frequenza inferiore ai 1 500 Hz e con differenza inferiore ai 30 Hz vengono ascoltati separatamente attraverso degli auricolari. È importante precisare che tali battimenti non sono conseguenza, come normalmente accade, di una sovrapposizione fisica delle onde sonore (cosa impossibile utilizzando degli auricolari), ma vengono generati direttamente nel cervello. Il fenomeno è stato identificato nel 1839 da Heinrich Wilhelm Dove.

Per maggiori approfondimenti fare riferimento agli obiettivi del progetto.

### 3.5. Battimenti

Nella teoria musicale, in fisica e particolarmente in acustica il **battimento** è la frequenza risultante dalla sovrapposizione di grandezze periodiche, in genere oscillazioni sinusoidali di diversa e vicina frequenza. Si basa sulle proprietà del principio di sovrapposizione. Oltre ai campi citati, tutti i fenomeni fisici che prevedono onde risentono del fenomeno del battimento, onde meccaniche ed onde elettromagnetiche comprese; battimenti si verificano, tra l'altro, in materia di elaborazione dei segnali, quando due frequenze di segnale si trovano vicine le une alle altre.

Per maggiori approfondimenti fare riferimento agli obiettivi del progetto.