



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: 06

TITOLO PROGETTO: La percezione del suono

AUTORE 1: Caneva Gianfranco

AUTORE 2: De Donato Francesca

AUTORE 3: Lombardo Antonio

Indice

1. Obiettivi del progetto	2
1.1 Analisi della percezione del timbro.....	2
1.2 Distinguere il suono dal rumore.....	4
2. Riferimenti Bibliografici	6
3. Argomenti Teorici Trattati	7
3.1 Struttura dell'orecchio umano.....	7
3.2 Il timbro.....	10
3.3 L'inviluppo.....	10
3.4 Il rumore.....	11
3.5 Soglie di tolleranza.....	12

1. Obiettivi del progetto

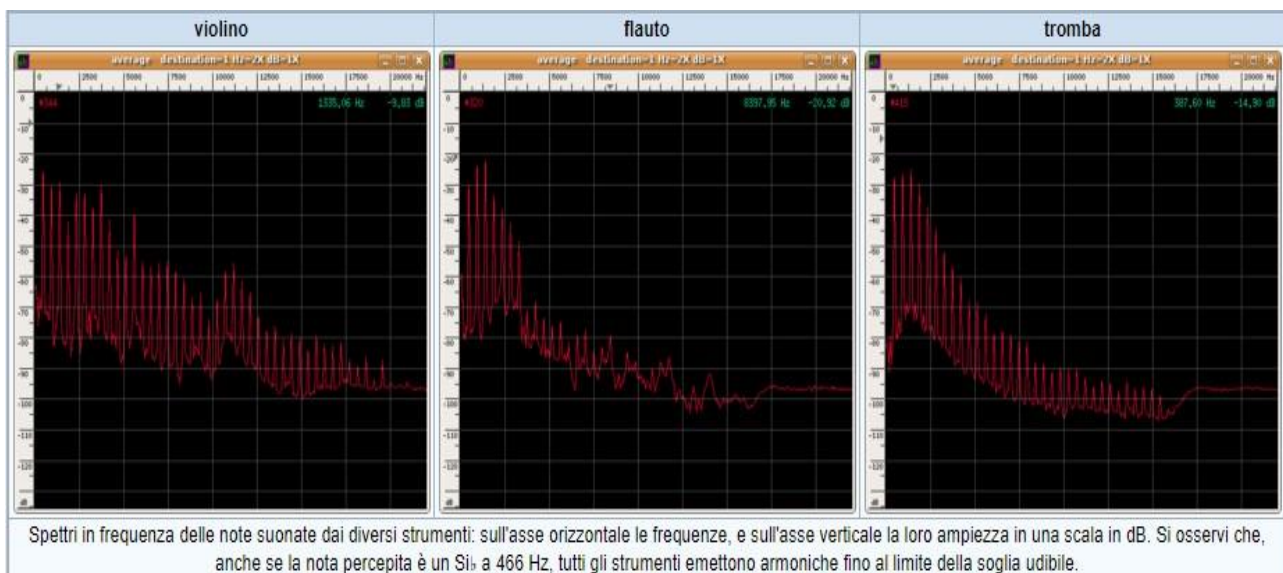
1.1 Analisi della percezione del timbro

Il primo obiettivo del progetto è quello di analizzare la percezione del timbro attraverso parametri oggettivi e misurabili, facendone un'analisi spettrale che ci permette appunto di determinarli e attraverso qualche accenno alla teoria delle formanti.

Quando uno strumento emette una nota di una determinata frequenza esso, a causa dei vincoli imposti dalla "geometria" delle parti oscillanti, genera, insieme alla nota fondamentale, più note tutte di frequenza multipla intera della fondamentale.

Ad ogni composizione spettrale corrisponde una ben precisa forma d'onda ottenuta "sommando" le varie armoniche. Tale procedimento prende il nome di sintesi, quindi potremmo dire che il timbro di uno strumento è dovuto, in larghissima parte, alla forma d'onda del suono che esso emette e quindi alla sua composizione spettrale.

Durante le varie fasi dell'involuppo il contenuto spettrale del suono varia nel tempo, quindi un'analisi "statica", fornisce una discreta approssimazione del timbro reale solo per la fase di "Sustain" di strumenti quali archi o fiati nei quali è possibile "far durare" il suono. Anche se le fasi di attacco e di decadimento contribuiscono sempre alla determinazione del timbro, il suono prodotto da questi strumenti può essere mantenuto stazionario e prolungato a piacere. Negli strumenti percussivi, invece, il suono, dopo essere stato generato non è più sotto il controllo dell'esecutore. Il loro timbro non può in nessun caso essere sintetizzato a partire da uno spettro statico.



Però l'analisi spettrale dà scarsi risultati nella ricerca degli aspetti percettivi del timbro. In molti esperimenti possiamo, entro certi limiti, alterare il sonogramma di un suono pur continuando a riconoscere il timbro dello strumento che lo produce. Ad esempio, riconosciamo abbastanza facilmente gli strumenti quando li sentiamo alla radio, nonostante essa attenui buona parte delle frequenze originali, agendo come un filtro. In un certo senso il nostro apparato percettivo è in grado di associare lo stesso timbro non solo ad un vasto

repertorio di sonogrammi, ma anche un gran numero di deformazioni che essi possono subire.

Vi è una teoria detta “teoria delle formanti” che descrive perchè nonostante la differenza tra i sonogrammi di un suono è possibile riconoscerne il timbro. Lo strumento musicale ricopre un ruolo molto rilevante dal punto di vista della percezione del timbro. Dal punto di vista di un fisico è semplicemente un sistema atto a generare onde sonore ed irradiarle nell'ambiente. In particolare, esso si compone (almeno) di:

- Una sorgente primaria di vibrazione (corda, membrana, lastra, aria) accordabile a diverse frequenze che genera la fondamentale e, secondo ampiezze in genere rapidamente decrescenti, le parziali (armoniche e non);
- Un risuonatore (cassa armonica, canna chiusa e aperta, tavola armonica) con la funzione di amplificare la vibrazione in modo selettivo in frequenza, e dare una nuova forma all'onda sonora rispetto a quella originariamente emessa dall'elemento vibrante;
- Un adattatore di impedenza tra il sistema vibrante e l'aria circostante per aumentare l'efficienza di irradiazione del suono.

La parte più interessante è il procedimento di amplificazione selettiva che avviene ad opera del risonatore. La particolare conformazione di ogni strumento musicale è studiata perché il risonatore presenti determinate frequenze di risonanza. Ad esempio, nel caso del violino, il risonatore è costituito dalla cassa armonica la cui forma irregolare seleziona frequenze risonanti attorno a 600 Hz e 1000 Hz (dette **risonanze del legno**) ed altre risonanze molto ravvicinate nella zona tra i 2000 Hz e i 4000 Hz. Vi è poi anche una **risonanza dell'aria** detta risonanza di **Helmholtz** dovuta all'aria che entra e esce dalla cassa attraverso i fori ad effe e che si colloca attorno alla frequenza di 300 Hz. Quando tale risonatore viene investito dalla vibrazione generata dall'elemento vibrante, esso "risuona", cioè si mette in oscillazione, soprattutto alle frequenze vicine alla propria frequenza di risonanza e ciò indipendentemente dal contenuto spettrale del suono generato dalla sorgente primarie di vibrazione. L'effetto pratico è che il contenuto spettrale del suono originario viene modificato dall'effetto filtrante del risuonatore: si formano bande di frequenza dette formanti nelle quali l'emissione sonora dello strumento è dominante. Probabilmente la posizione delle formanti, essendo dovuta alla geometria dello strumento e non alla frequenza della nota emessa, è l'elemento determinante per la riconoscibilità del timbro di uno strumento.

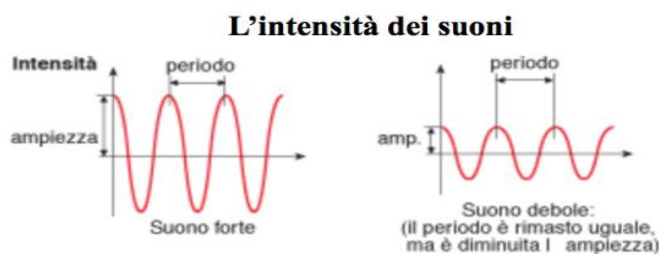
1.2 Distinguere il suono dal rumore

Il secondo obbiettivo del progetto è quello di distinguere il suono dal rumore “attraverso” il dizionario e la scienza. Analizzare i vari aspetti di quest’ultimo ponendo attenzione alla qualità di un suono e alla sua gradevolezza, distinguendo quindi suoni intonati ma sgradevoli e suoni gradevoli.

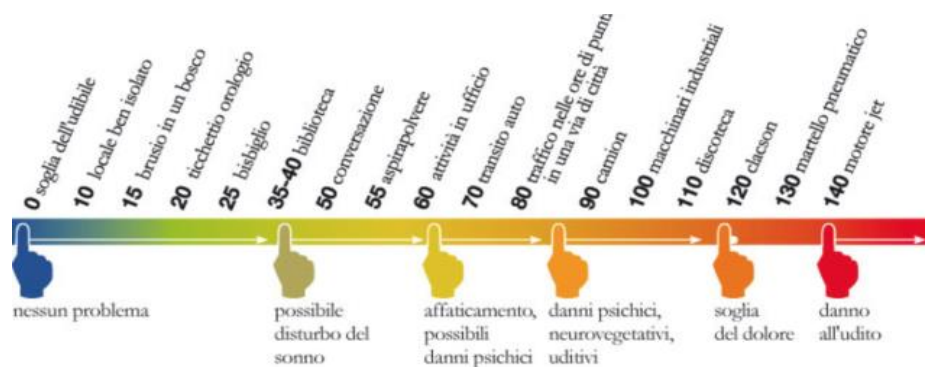
L’udito è il secondo senso più importante dopo la vista in quanto ci permette di comunicare, orientarci e ricevere impressioni da ogni direzione attraverso i suoni. Si possono distinguere suoni gradevoli e altri sgradevoli che l’uomo considera come rumore. Per il vocabolario italiano a livello di definizione suoni e rumore risultato essere la stessa cosa infatti sono definiti come “la causa delle sensazioni acustiche, consistente in vibrazioni di un mezzo (per lo più l’aria, ma anche mezzi elastici qualunque), che possono essere eccitate in esso o ad esso trasmesse dalle vibrazioni di un corpo (sorgente sonora), e che a loro volta eccitano l’orecchio”. A livello fisico però si possono differenziare in quanto i rumori non sono caratterizzati da un’onda periodica ma presentano un andamento irregolare emettendo un suono non intonato.

Le qualità principali che distinguono un suono intonato da uno sgradevole sono:

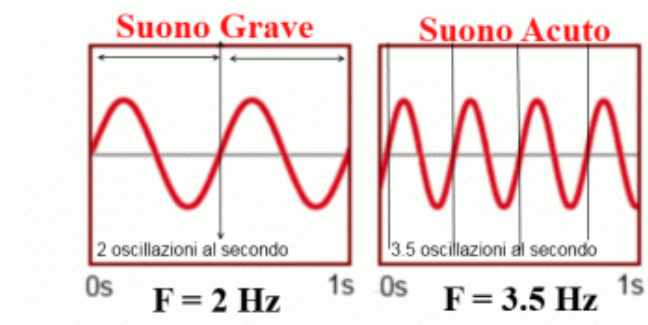
- L’intensità, chiamata anche volume, dipendente dall’ampiezza della vibrazione, infatti tanto maggiore sarà l’aria che verrà spostata e successivamente giungerà all’orecchio umano fornendo l’intensità del suono



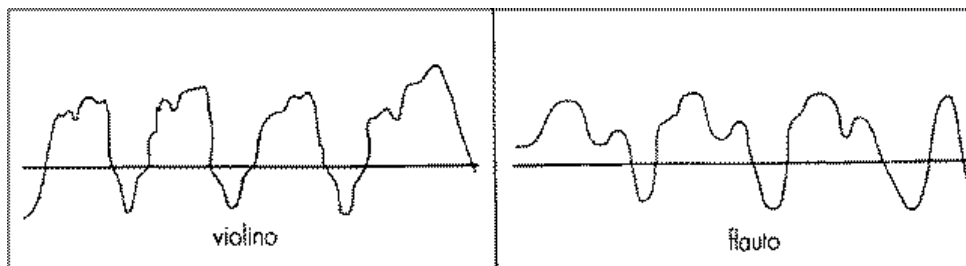
L’unità di misura dell’intensità del suono è il decibel, con cui si misura la pressione acustica provocata dal suono nel mezzo di propagazione che generalmente è l’aria. Per esempio, i 130 decibel rappresentano per l’uomo la soglia considerata critica per sentire dolore mentre i 90 decibel per evitare danni all’udito.



- L'altezza dipende dal numero di oscillazioni al secondo e determina un suono grave da uno acuto. Più saranno il numero di oscillazioni dell'onda più il suono prodotto risulterà acuto. L'orecchio umano percepisce solo i suoni che vanno da 16 a 20.000 oscillazioni al secondo. Al di sotto abbiamo gli infrasuoni, al di sopra gli ultrasuoni.



- Il timbro che varia in base alle caratteristiche e dalla composizione del materiale del corpo che produce il suono, infatti risulta una qualità sfuggitiva del suono e a parità di frequenza, permette di distinguere un suono da un altro. Il timbro dipende dalla forma dell'onda sonora, determinata dalla sovrapposizione delle onde sinusoidali caratterizzate dai suoni fondamentali e dai loro armonici.



- La durata cioè quanto è lungo o corto il suono prodotto

2. Riferimenti Bibliografici

- Struttura dell'orecchio: https://www.youtube.com/watch?v=zha3_z0Zfl

Da questo video abbiamo ricavato le informazioni riguardo la struttura dell'orecchio.

- http://fisicaondemusica.unimore.it/Percezione_del_timbro.html

Da questo sito abbiamo ricavato informazioni sulla percezione del timbro.

- <https://www.unasf.conflavoro.it/news-dett.php?id=50>

- David M. Huber, Robert E. Runstein, Manuale della registrazione sonora, Milano, Hoepli, 2007, seconda edizione.

- <http://www.studiosoundservice.com/it/education/keynotecorsotecnolive/acustica3.pdf>

- <https://doc.studenti.it/appunti/biologia/orecchio.html>

- <https://www.leoravera.it/suono-e-rumore/>

- <https://www.focus.it/scienza/salute/esiste-un-limite-disopportazione-del-rumore>

3. Argomenti Teorici Trattati

3.1 Struttura dell'orecchio umano

L'orecchio, organo sensoriale dell'udito, si divide in tre settori detti orecchio esterno, orecchio medio, orecchio interno.

L'orecchio esterno è il padiglione auricolare, una scultura in pelle e cartilagine utile all'udito, è un sistema pronto ad intercettare e focalizzare i rumori, i due padiglioni ci danno la possibilità di un ascolto stereo. La loro funzione è importante e ce ne dà contezza il fatto che questi, negli esseri animali si presentano più o meno sviluppati, per esempio si presentano più sviluppati nelle prede, che devono avvertire il pericolo imminente, e meno nei predatori. Al centro del padiglione auricolare inizia il condotto uditivo esterno, una galleria dalle pareti lisce, che si dirige verso l'interno fino al timpano.

L'orecchio medio consiste in una cavità (cassa del timpano), lunga circa 15 mm, tappezzata da mucosa, la cui parte esterna forma la membrana del timpano sottile, tesa, sensibile alle vibrazioni dell'aria che si infrangono sulla stessa.

L'onda sonora fa vibrare la membrana del timpano, che crea a sua volta una serie di raffinatissime vibrazioni che creano un movimento meccanico, ciò avviene dall'altra parte della parete, che ha un sistema che raccoglie ed amplifica i segnali, si tratta di una catena di tre ossicini:

martello, attaccato al timpano, **incudine** e **staffa** in contatto con la finestra ovale da cui inizia l'orecchio interno. Sulla catena degli ossicini transitano suoni semplici e complessi, come quelli di un'orchestra. E' un sistema di leve che amplifica le vibrazioni moltiplicando il segnale, che arriva alla coclea venti volte maggiore, mentre in caso di rumori troppo forti gli ossicini riducono il loro movimento, attutendo i rumori.

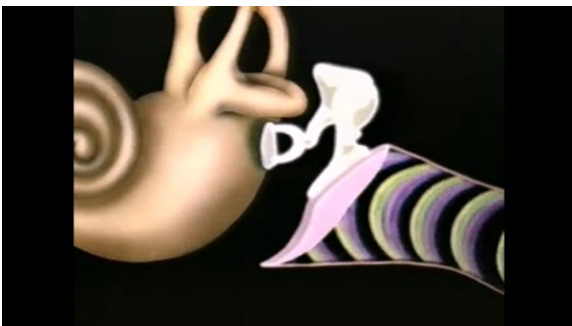


Gli ossicini sono raccolti in una cavità che comunica all'esterno, che si chiama **Tromba di Eustachio**, che arriva alla faringe e riceve aria dalla bocca e dal naso così da poter compensare la pressione dell'aria interna.



L'orecchio interno ha come centro nevralgico dell'udito la **coclea**, struttura interna molto complessa, che si trova dietro gli ossicini, ed ha la funzione di trasformare gli impulsi meccanici in impulsi nervosi: i movimenti della staffa trasmettono le vibrazioni sonore alla coclea attraverso una membrana elastica, sensibile, che provoca delle pressioni sul liquido interno della coclea e dunque sulla sua struttura a spirale. La struttura della coclea presenta delle **cellule ciliate**, che avvertono le pressioni e reagiscono ondeggiando, stimolando così, le terminazioni nervose che trasmettono i segnali al cervello. Questa è la centrale dell'ascolto, con sistemi neurochimici capaci di trasformare un suono, o una voce, in un messaggio nervoso. Le cellule ciliate sono circa 15.000 per orecchio e sono cellule efficienti, che reagiscono in modo diverso secondo il tipo di suono, la sua intensità e frequenza. Le cellule ciliate, che trasformano gli impulsi sonori in impulsi nervosi, si allargano sotto, "a fiasco", e si collegano alle **terminazioni nervose**, che vengono così indirettamente stimulate dai movimenti ciliari e scaricano impulsi nervosi che raggiungono il cervello; le terminazioni nervose reagiscono a seconda del tipo di frequenza del suono.

Nell'orecchio interno troviamo ancora un'altra struttura il **labirinto**, che non ha nulla a che fare con l'udito, ma presiede invece al senso dell'equilibrio, è formato da tre canali semicircolari posti nelle tre dimensioni spaziali, che contengono i recettori specifici dell'equilibrio. Il sistema è complesso, ed è formato da un sacculo esterno, dove sono immerse delle cellule provviste di ciglia, simili a quelle che abbiamo trovato nella coclea, le quali immerse in un liquido gelatinoso si muovono per gravità. Insieme a queste cellule ciliate ci sono delle "pietruzze" calcaree, gli **otoliti**, che si spostano seguendo i movimenti della testa, questi tramettono alle terminazioni nervose i mutamenti di equilibrio, ed i segnali raggiungono il cervello e soprattutto il cervelletto, che presiede la funzione dell'equilibrio, calcolando le variazioni e ricercando un nuovo equilibrio in una diversa posizione muscolare.

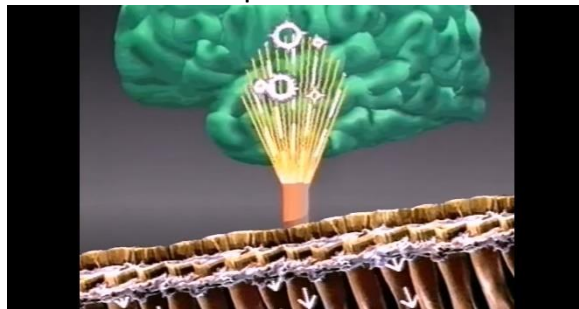


visone dei tre ossicini e della coclea



cellule ciliate

Per comprendere a pieno la percezione del suono-rumore è indispensabile comprendere le connessioni tra cellule ciliate e sistema nervoso; ogni cellula del tessuto uditivo ha collegamento “punto a punto” con il cervello, questo collegamento nella prima parte del percorso si presenta come “un cavo unico” nel quale sono inseriti tutti i filamenti di



collegamento, che poi si “sfrangia”.

Se in questo cavo noi, ipoteticamente potessimo inserire degli elettrodi, capteremmo dei segnali riconvertibili in suoni, ma non percepibili come suoni chiari, come messaggi, e ciò perché la decodifica è in realtà attività propria del cervello che attraverso la corteccia auditiva, elabora, codifica e memorizza i segnali, così da poter dire che la corteccia cerebrale, se stimolata, non solo organizza e traduce i segnali sonori ma addirittura memorizza i suoni percepiti con capacità di evocarli ove si ripetano.

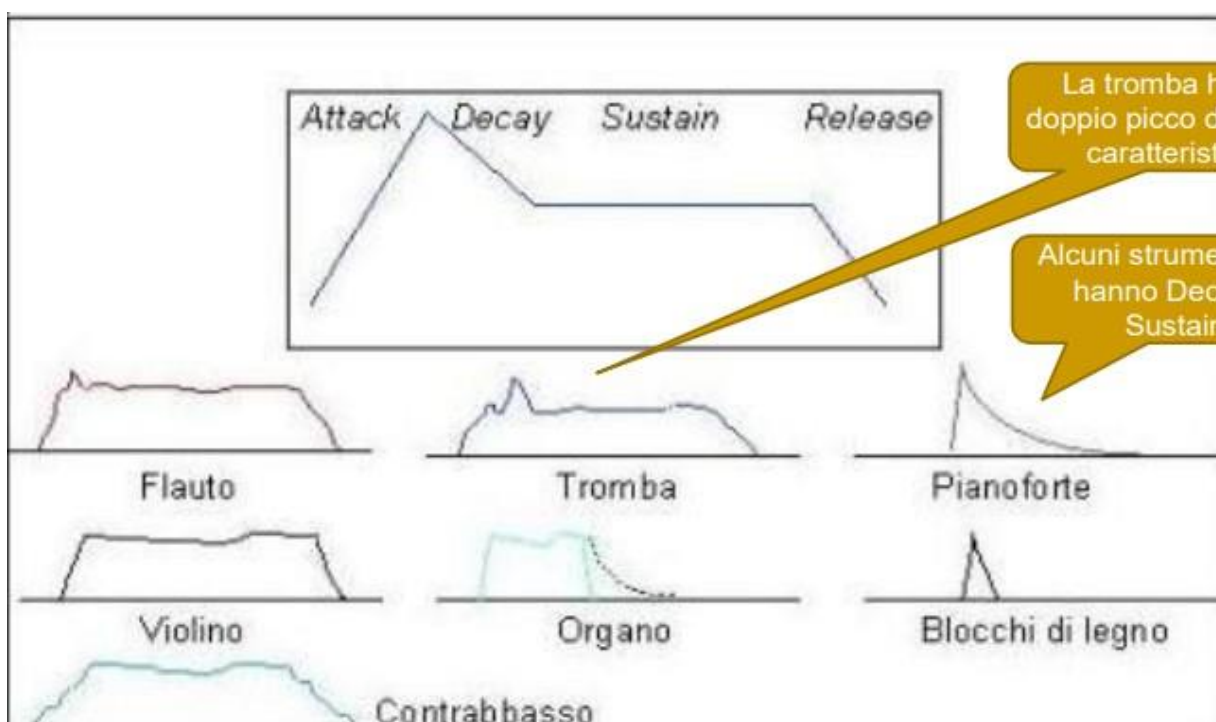
Il cervello ha la capacità di discriminare i suoni: vede il primato dell'uomo, che ha una qualità acustica superiore, che riesce ad “apprendere” e “memorizzare” i suoni, come già sopra detto, ma anche a “selezionare”, così ad esempio isola una voce dalle altre presenti in uno stesso ambiente, seguendo il discorso, ha la capacità di “cancellare” i rumori superflui. Possiamo allora dire che nella fase della percezione e discriminazione dei suoni, il cervello si difende da stimoli rumorosi o molesti, in quanto tende a “silenziare” e “dimenticare” rumori continui, mentre è allertato da altri suoni. o rumori: le fibre nervose, poste dietro la coclea, che portano i segnali acustici trasmessi dalle cellule ciliate, al cervello, presentano delle scale elettrochimiche, che, corrono all'interno, sono decine di migliaia e portano messaggi nervosi diversi, ma a questo livello non c'è selezione del rumore, le informazioni acustiche continuano a viaggiare giorno e notte ma solo alcuni suoni o rumori allertano il sistema nervoso. Il sistema uditivo vero e proprio, invece, non riesce a difendersi dai rumori molesti e forti e va incontro a forti stress; tuttavia anch'esso ha un sistema di difesa infatti tra gli ossicini ha due piccoli muscoli a livello del martello e della staffa, che si contraggono, quando dall'esterno arriva un rumore troppo forte, così da ridurre il movimento degli ossicini e quindi la trasmissione dell'energia che arriva all'orecchio interno, ma tale sistema di difesa è comunque limitato, e ciò comporta che sollecitazioni eccessive e prolungate possano danneggiare il sistema. Per l'orecchio umano sono dannosi rumori che superano i 100dB, considerando anche per la valutazione dei rischi, la durata degli stessi, la distanza e la sensibilità personale.



3.2 Il timbro

Il timbro di un suono è caratterizzato dal suo spettro, ossia dall'insieme di proprietà che determinano la distinzione tra due suoni anche a parità di ampiezza e frequenza. Ad esempio, la voce umana, una chitarra e un pianoforte avranno un timbro diverso. Infatti, anche emettendo la stessa nota, questi possono essere distinti con facilità. La caratterizzazione è data dal numero e dal contributo delle varie frequenze nello spettro (diverse da quella che contribuisce maggiormente). Il timbro può essere usato per identificare il tipo della sorgente sonora.

3.3 Inviluppo



L'inviluppo ADSR è caratteristico per ogni strumento musicale, ad esempio gli strumenti a percussione non hanno lo stato di Release.

Il suono di un determinato strumento è caratterizzato da una forma d'onda nel tempo detta Inviluppo. L'inviluppo di un qualsiasi suono presenta 4 fasi: Attack, Decay, Sustain, Release.

La fase di Attack corrisponde alla fase iniziale del suono e dura fino al momento in cui l'onda sonora raggiunge il punto di massima ampiezza. Esso può essere più o meno rapido in base allo strumento, ad esempio nel pianoforte tale fase dura solo 1/100 di secondo.

La fase di Decay, detta anche primo decadimento, è presente in quegli strumenti in cui per emettere il suono deve essere superato un determinato parametro fisico e corrisponde ad una breve diminuzione dell'ampiezza del suono stesso.

La fase di Sustain è quella in cui il suono rimane stabile mentre l'esecutore continua a fornire energia. Tale fase non esiste negli strumenti a percussione, la differenza tra gli strumenti

“reali” e gli strumenti elettronici è la presenza di alcune fluttuazioni involontarie in ampiezza introdotti dall'esecutore stesso in maniera involontaria.

La fase di Release, detta anche decadimento finale, inizia nel momento in cui l'esecutore smette di fornire energia allo strumento e il suono inizia a decadere in modo più o meno rapido. Tutti i suoni hanno una fase di rilascio.

3.4 Il rumore

Il rumore, in generale, è un segnale non desiderato e imprevedibile, che sommandosi ad altri segnali, li distorce in maniera più o meno grave. Tuttavia, nell'acustica, esistono particolari onde sonore, con uno spettro ben noto che vengono chiamati rumori, ma solo perché caratterizzati da una componente aleatoria.

Il rumore può essere definito come continuo o discontinuo (se intervallato da pause di durata apprezzabile), stazionario o fluttuante (se caratterizzato da oscillazioni rapide del suo livello di pressione sonora superiori a 1 dB), aleatorio (o casuale) quando presenta una completa irregolarità dei tempi e dei livelli di emissione.

Un sistema per la notazione del rumore tuttavia non esiste. Un particolare tipo di rumore è quello bianco che non esiste nella realtà poiché risulta a potenza infinita. Esso serve come modello di un'ampia gamma di segnali, per i quali si può assumere che non ci sia correlazione tra i valori assunti dal segnale in tempi diversi. Tra i rumori bianchi un caso particolare è dovuto all'agitazione termica degli elettroni: rumore termico.

Per arrivare a esprimere un livello di rumore in decibel bisogna:

1. tenere presente che il rumore è prodotto da un'onda di pressione che si propaga nell'aria.
2. prendere come unità di riferimento il minimo livello di pressione dell'onda sonora che può essere percepito dall'orecchio umano medio: 20 milionesimi di Pascal
3. considerare il logaritmo in base 10 del rapporto tra il quadrato della pressione dell'onda sonora e il quadrato del livello di riferimento di 20 milionesimi di Pascal, e moltiplicarlo per 10 (il quadrato è richiesto per la sensibilità al contenuto energetico, il fattore 10 per utilizzare una unità di misura più piccola del Bel, il decimo di Bel)

seguendo questi passi quindi è possibile costruire la scala dei decibel.

La formula che esprime un livello di pressione sonora è la seguente:

$$L_p = 10 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right) \text{dB}$$

dove p_0 è la pressione sonora di riferimento pari a 20 μPa (comunemente utilizzata in aria) e p è il valore efficace della pressione sonora che si vuole misurare.

Poiché si ha quindi una scala logaritmica non avremo una combinazione lineare tra due o più sorgenti fonti di rumore infatti i livelli di db non si possono addizionare nel classico modo.

Pertanto, date due sorgenti scorrelate di pressione p_1 e p_2 , che corrispondono ai livelli sonori L_{p1} e L_{p2} si ha:

$$L_{p_t} = 10 * \log_{10} ((p_1^2 + p_2^2) / p_0^2)$$

Qualora le fonti hanno lo stesso livello sonoro, complessivamente si ha un guadagno iniziale più 3 db in totale:



$$70 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = \text{140 dB} \quad \text{ERRATO}$$

$$70 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 73 \text{ dB} \quad \text{CORRETTO}$$

3.5 Soglie di tolleranza

