

3. Sensazione Sonora

Prima di introdurci nel campo della sensazione sonora, dobbiamo definire il concetto di rumore e la sua relazione col suono.

Il rumore acustico è stato collegato da sempre coi concetti di fastidio e di danno. L'interesse al rumore, e quindi la nascita di studi e ricerche per comprenderne la genesi e gli effetti e tentarne una limitazione, ha un primo accenno con lo sviluppo delle città e, successivamente, con lo sviluppo delle realtà industriali.

Alla luce delle più recenti ricerche condotte in campo acustico già a partire dagli anni '70 del secolo scorso, non è più possibile differenziare suono e rumore sulla base di caratteristiche fisiche.

Prima di queste ricerche si riteneva che la differenza fra suono e rumore dovesse individuarsi nelle componenti interne costituenti i due fenomeni.

In particolare si credeva che il suono fosse costituito da sole componenti armoniche e quindi avesse un aspetto regolare e che il rumore al contrario fosse costituito da sole componenti parziali inarmoniche, o come sosteneva lo studioso H. Helmholtz definendolo un insieme di suoni non periodici dal suono propriamente musicale, di altezza determinata.

Di fronte alle ricerche che la sintesi digitale del suono ci ha fornito sappiamo oggi che entrambi i fenomeni: suono e rumore sono costituiti seppur in percentuale diversa sia da componenti armoniche che inarmoniche; pertanto come già lo studioso francese Abraham Moles indicava verso la fine degli anni '60, la differenziazione deve essere condotta in termini di teoria della comunicazione.

Il rumore è quindi un messaggio non desiderato in tale processo, e

potremmo considerarlo come un “suono non voluto o non desiderato” nel processo comunicazionale. Il rumore può anche essere un disturbo causato dall'eccesso di informazioni, tale che, anche l'elemento potenzialmente utile non viene riconosciuto, nemmeno individuato, o individuato con difficoltà. Costituisce rumore anche l'eccessiva ripetizione di un segnale, poiché le risorse cognitive utilizzate per la sua interpretazione diminuiscono via via che tale segnale si ripresenta con cadenza ciclica, limitando il livello dell'attenzione verso di esso (Cananzi 2009: 10).

“Si è creato allora un metodo di attribuzione di indice al rumore: si sovrappone lo spettro sonoro ad una serie di curve di riferimento (assomiglianti alle curve isofoniche) e si attribuisce al rumore l'indice di valutazione della prima curva sotto la quale rimane l'intero spettro. Come curve di valutazione si usano le NC (Noise Criteria) negli USA e le NR (Noise Ratings) suggerite dall'ISO.” (Wikipedia 2009: Rumore)

Il tempo di esposizione e la pressione sonora sono elementi fondamentali per definire l'azione biologica del rumore stesso. Altri parametri che contribuiscono a incrementare la sua azione sono, la distribuzione delle frequenze o le caratteristiche proprie degli individui.

“Il rumore è ormai causa di danno (ipoacusia, sordità) e comporta la malattia professionale statisticamente più significativa. Da qui la crescente attenzione al problema, prestato da tecnici e legislatori, volta alla prevenzione e alla bonifica degli ambienti di lavoro inquinati. Gli effetti nocivi che i rumori possono causare sull'uomo dipendono da tre fattori: intensità del rumore, frequenza del rumore e durata nel tempo dell'esposizione al rumore.

Il rumore agisce sull'orecchio umano secondo la natura e l'intensità della stimolazione sonora e può causare uno stato di sordità temporanea con recupero della sensibilità dopo riposo notturno in ambiente silenzioso, uno

stato di fatica con persistenza della riduzione della sensibilità e disturbi nell'udibilità della voce di conversazione per circa 10 giorni, uno stato di sordità da trauma acustico cronico con riduzione dell'intelligibilità del 50%. Può inoltre indurre effetti extra uditivi come insonnia, facile irritabilità, diminuzione della capacità di concentrazione sino a giungere ad una sindrome ansioso-depressiva, aumento della pressione arteriosa, difficoltà digestiva, gastriti od ulcere, alterazioni tiroidee, disturbi mestruali, ecc.” (I.S.P.E.S.L. 2007)

“In relazione alle sue specifiche modalità di emissione, un 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 rumore viene definito impulsivo quando è rappresentato da un fenomeno temporale che presenta un massimo di pressione sonora di durata compresa fra 1 ms e 1 s.” (I.S.P.R.A. 2004)

Ma esistono dei tipi di rumore creati artificialmente, tra cui, i più impiegati sono il rumore bianco e il rumore rosa.

Il **rumore bianco** è un tipo di rumore caratterizzato dall'assenza di periodicità e da ampiezza costante su tutto lo spettro di frequenze.

Il rumore bianco presenta uno spettro “piatto” su tutto l'intervallo di lunghezze d'onda considerato, ha cioè tutte le frequenze alla stessa intensità. E' chiamato bianco perché una radiazione elettromagnetica di simile spettro all'interno della banda della luce visibile apparirebbe all'occhio umano come luce bianca (Fig. 1).

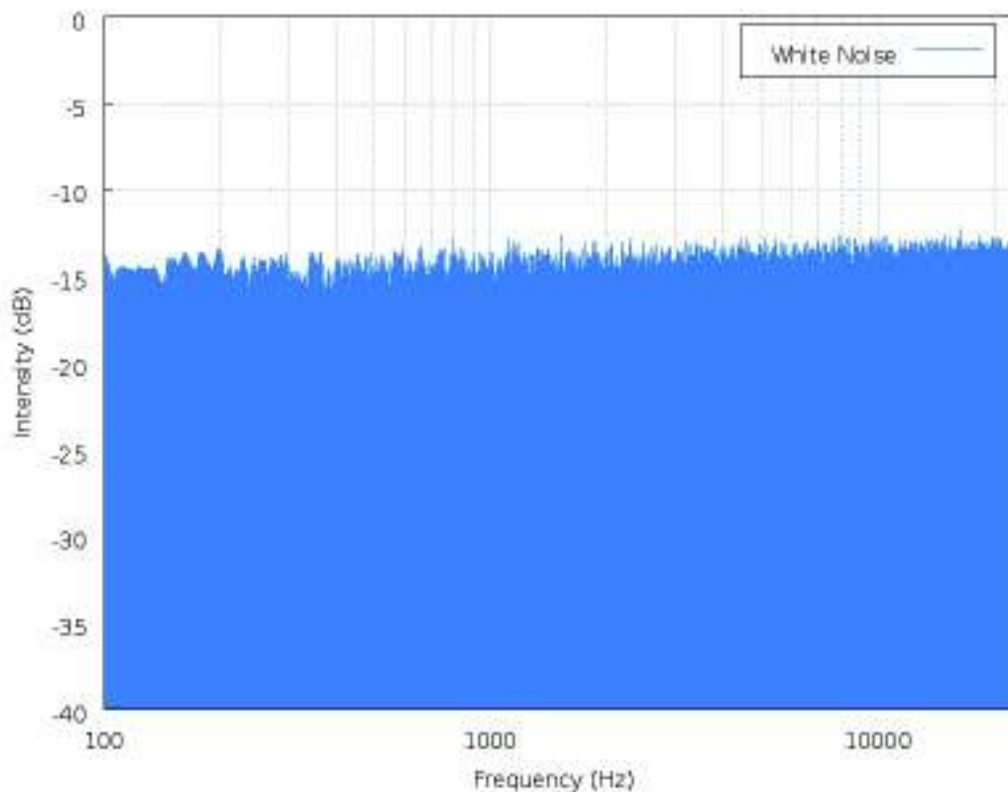


Figura 1: Spettrogramma del rumore bianco

In realtà però il rumore bianco non esiste, perché nessun sistema è in grado di generare uno spettro uniforme per tutte le frequenze da zero a infinito, il rumore bianco è quindi generalmente riferito all'intervallo udibile dell'orecchio umano.

In ingegneria il rumore bianco è usato per verificare la risposta in frequenza di sistemi acustici ed elettronici.

Il rumore bianco, simile a un continuo fruscio o soffio, è considerato distensivo. Alcuni generatori di rumore bianco acustico sono impiegati per coprire il rumore di fondo in ambienti interni o per favorire il rilassamento.

Campionando un rumore bianco prodotto per esempio da un transistor si ottiene una sequenza di numeri aleatori. Questo principio è impiegato in alcuni generatori di numeri casuali (Wikipedia 2009: Rumore bianco).

Si definisce **rumore rosa** o **rumore 1/f** o **rumore Flicker** 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 (Fig. 2).

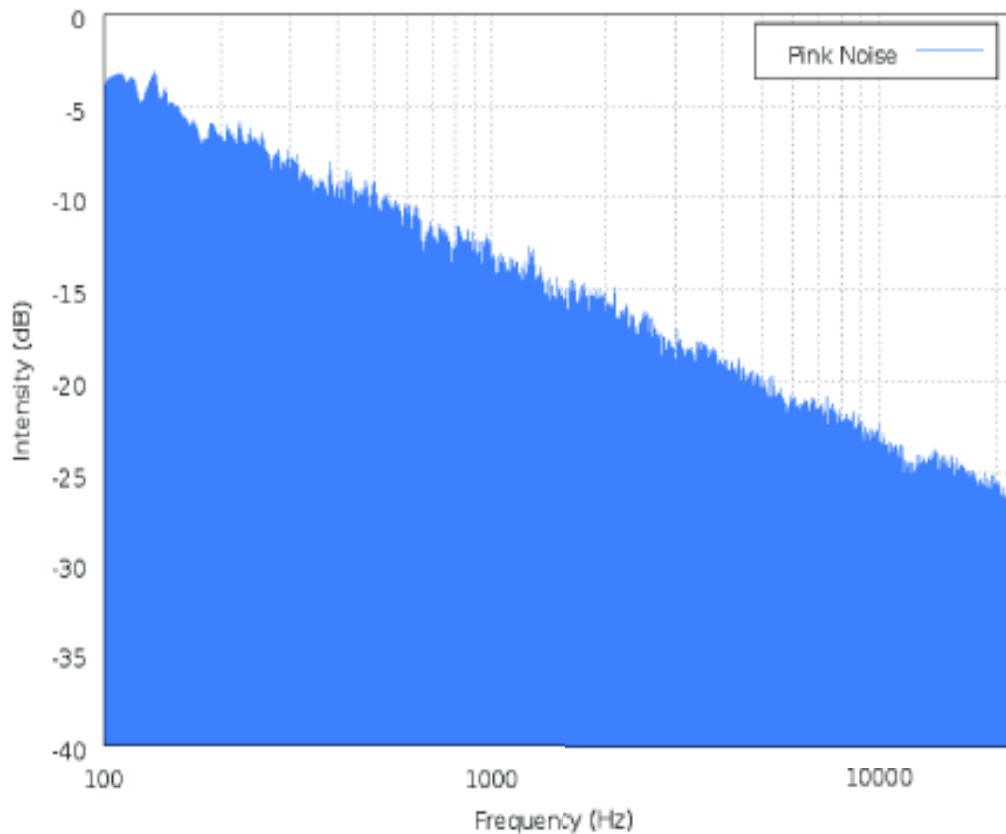


Figura 2: Spettrogramma del rumore rosa.

In acustica questo tipo di rumore è strutturato in modo tale da compensare la sensibilità dell'orecchio umano alle varie frequenze, e viene utilizzato per l'equalizzazione del suono in ambito professionale, il segnale di rumore il cui livello spettrale diminuisce di 3 db per ottava. In questo modo l'energia associata ad ogni ottava rimane costante su tutto lo spettro.

Viene comunemente utilizzato per la taratura di sistemi di rinforzo sonoro dove il rumore bianco risulta essere un segnale non rappresentativo del

segnale audio che alimenterà il sistema di rinforzo stesso.

“Negli anni '30 fu pubblicato un fondamentale studio sulla sensazione sonora, realizzato da Fletcher e Munson presso i laboratori Bell. Lo studio venne affrontato con una metodologia tipica della psicoacustica: numerose persone furono sottoposte a fenomeni sonori, e ne furono raccolte le dichiarazioni riguardo le loro sensazioni.” (Izzo 2005)

In questo caso furono verificate le sensazioni dell'intensità dei suoni, rispetto alla frequenza. Sottoponendo un numero sufficiente di volte e nelle condizioni sperimentali opportune i singoli componenti di un gruppo di ascolto all'audizione successiva di toni diversi è possibile stabilire la soglia di udibilità per ciascuna frequenza; segnando su un piano cartesiano la media dei valori ottenuti e collegando i punti fra loro si ottiene la curva della soglia di udibilità che rappresenta la sensibilità dell'udito alle diverse frequenze (Fig. 3) (Uberti 1996).

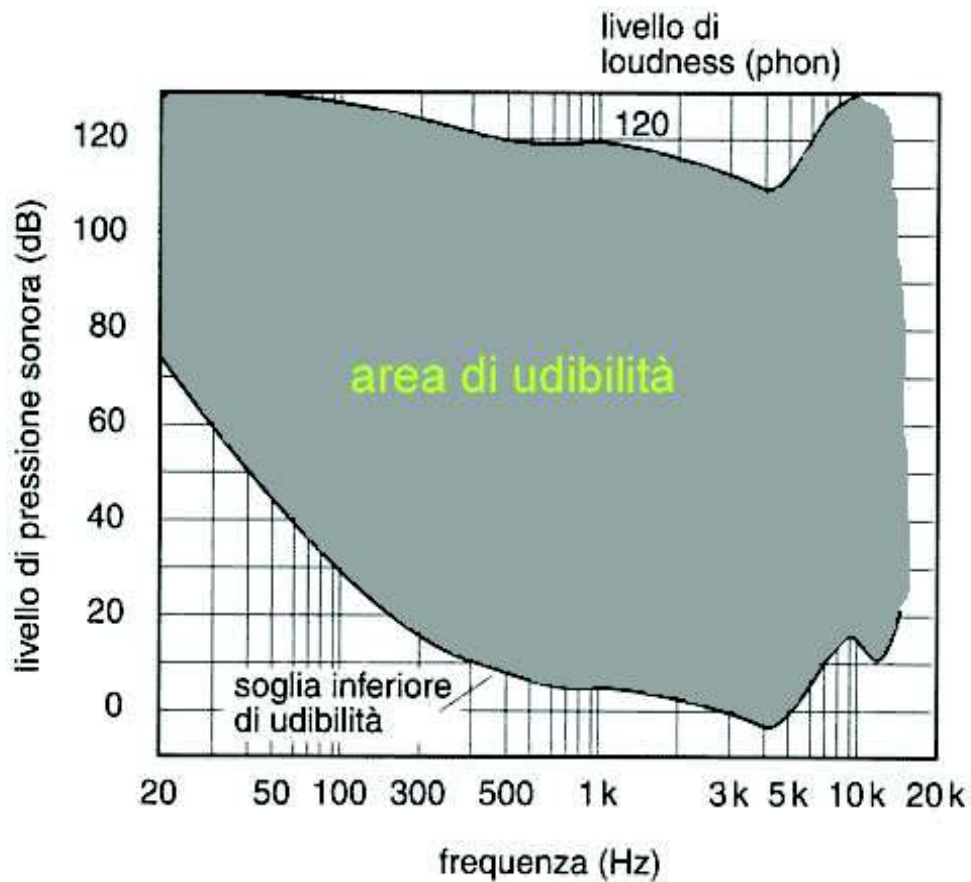


Figura 3: Area di udibilità; Izzo 2005.

Notiamo che la tabella è stata talmente confermata in seguito nell'esperienza che oggi costituisce lo standard internazionale ISO 226: questo indica che lo studio della psicoacustica non è solo una curiosità psicologica, ma uno studio di importanza fondamentale per numerosi aspetti (Izzo 2005).

Come vediamo dal grafico in figura 3, le soglie sono delimitate da due curve; ciò significa che la sensibilità dell'udito varia alle diverse frequenze: è massima fra i 2.000 e i 5.000 Hz, mentre è nulla sotto i 16-20 Hz e al di sopra dei 16.000-20.000 Hz. La sensibilità uditiva alle alte frequenze cala progressivamente con l'avanzare dell'età e questo fenomeno, affatto fisiologico, viene detto presbiacusia. Al di sopra dei 120 db abbiamo la

soglia del dolore, mentre i suoni appena percepibili stanno intorno alla soglia inferiore di udibilità (Uberti 1996).

Stabilito questo introduciamo un nuovo grafico:

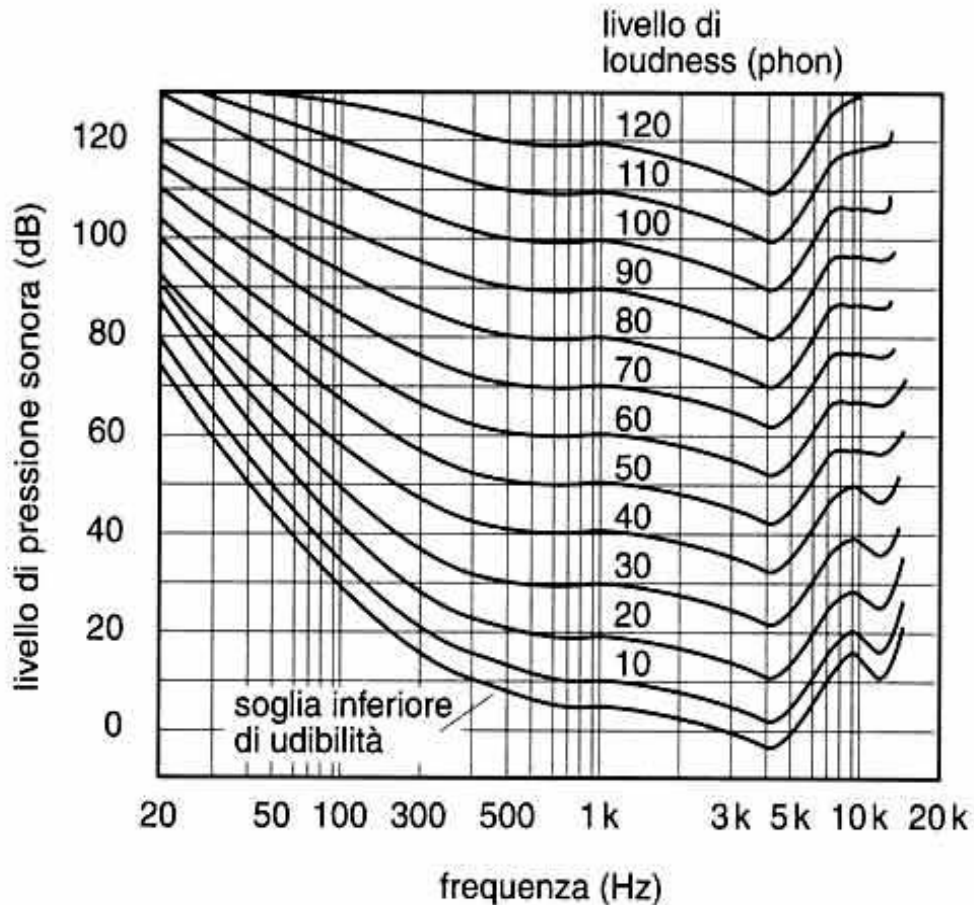


Figura 4: Curve di isoaltezza; Izzo 2005.

Le curve del grafico sono dette curve di isofonia dove ogni curva rappresenta un certo volume percepito.

Per definire la tabella è stata scelta la frequenza di riferimento di 1.000 Hz: il valore di livello di pressione sonora (in dB SPL) assunto da ogni curva isofonica (curva di uguale sensazione) alla frequenza di 1.000 Hz definisce il livello di sensazione sonora in phon. (Izzo 2005)

Ma cerchiamo di comprendere come va letto il grafico.

Un'onda sonora del livello, ad esempio, di 40 dB, alla frequenza di 1.000 Hz, definisce la sensazione che chiameremo di 40 phon (in questo caso il valore in dB coincide con quello in phon): questa, seguendo la curva di Fletcher e Munson che passa per l'ascissa 1.000 Hz e per l'ordinata 40 dB, sarà ad esempio la stessa sensazione di intensità che produce all'orecchio dell'ascoltatore una frequenza di 100 Hz emessa con circa 60 dB di pressione sonora. Analogamente, la sensazione di intensità che dà una sorgente di circa 105 dB a 20 Hz sarà la stessa di, una sorgente di circa 52 dB a 3.000 Hz, ovvero, di 60 dB a 1.000 Hz; tutte nella curva dei 60 phon, come vediamo dalla figura 4. (Izzo 2005).

“Il comportamento uditivo descritto spiega perché la stessa registrazione musicale, ascoltata dalla stessa apparecchiatura ad alta fedeltà, a basso volume appaia meno fedele che ad alto: poiché, a bassa intensità, l'orecchio è meno sensibile alle basse ed alte frequenze, queste componenti sonore, che pure sono presenti nella riproduzione oggettiva, non vengono percepite e la loro assenza o riduzione danno luogo ad un'audizione insoddisfacente. Per questo motivo le apparecchiature ad alta fedeltà sono dotate del comando “loudness” che, inserito, introduce un circuito di compensazione avente il compito di esaltare in modo opportuno le frequenze estreme e migliorare la fedeltà dell'ascolto a basso volume.” (Uberti 1996)

Questi sono dati sperimentali e possono variare da persona a persona; sono addirittura soggetti a variazioni nel tempo a lungo termine, passando cioè da generazione a generazione (a causa delle abitudini di vita e delle differenze culturali, nonché dei possibili cambiamenti della fisiologia stessa dell'apparato uditivo); sono però molto utili per determinare alcuni fatti di carattere generale (Izzo 2005).

Il livello di sensazione sonora in phon permette di correlare abbastanza bene il mondo psicoacustico con la realtà oggettiva.

Se però ci si aspetta che un tono di 100 phon a 1.000 Hz (100 dB) dia una sensazione sonora doppia di quella data dal tono di 50 phon a 1.000 Hz (50 dB) l'attesa rimane delusa perché la sensazione di intensità ottenuta a 100 phon è molto maggiore del doppio. L'effetto di raddoppio di sensazione sonora, infatti, è raggiunto già a soli 60 phon (60 dB). Il rapporto fra l'intensità dello stimolo e la risposta psicoacustica lungo la scala delle grandezze oggettive, non è costante.

“Di qui la necessità di introdurre un'altra grandezza soggettiva, adatta alla quantificazione della sensazione sonora o intensità soggettiva, il son, correlata, tuttavia, alle grandezze oggettive con un assunto convenzionale: un tono di 1.000 Hz e di 40 dB (40 phon) induce una sensazione sonora di 1 son.” (Uberti 1996)

Due son saranno la sensazione raddoppiata, 0,5 son la sensazione dimezzata. Per chiarire bene il rapporto tra phon e son, vediamo una tabella con le corrispondenze tra valori in phon e in son. Possiamo notare come per scatti di 10 phon si ha un raddoppiamento del livello in son (Fig. 5).

| Phon | Son | Descrizione della sensazione |
|------|-----|-----------------------------------|
| | | |
| 120 | 256 | decollo di un jet |
| 100 | 64 | passaggio di un autotreno pesante |
| 80 | 16 | ascolto a volume elevato |
| 60 | 4 | ascolto a volume moderato |
| 40 | 1 | ambiente tranquillo |
| 20 | 0,5 | ambiente silenzioso |

Figura 5: Tabella comparazione phon/son; Izzo 2005.

Finora ci siamo occupati delle sensazioni legate all'intensità, adesso invece esamineremo i rapporti e le relazioni tra le varie frequenze. Le misure musicali usuali degli intervalli di altezza sono, come è ben noto,

l'ottava e il semitono temperato. La prima è identificata dal raddoppio della frequenza del tono di riferimento mentre il secondo, che divide l'ottava in 12 parti uguali, sta col tono di riferimento nel rapporto di $1,05946$ (ovvero $\sqrt[12]{2}$) (Uberti 1996).

Così moltiplicando ogni frequenza per $\sqrt[12]{2}$ possiamo ricavare il grafico (Fig. 6):

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|------|----|----|-------|----|----|-------|-----|----|--------|-----|----|---------|----|----|---------|
| 12 | C | 16.4 | 36 | C | 65.4 | 60 | C | 261.6 | 84 | C | 1046.5 | 108 | C | 4186.0 | na | C | 16744.0 |
| 13 | C# | 17.3 | 37 | C# | 69.3 | 61 | C# | 277.2 | 85 | C# | 1108.7 | 109 | C# | 4434.9 | na | C# | 17739.7 |
| 14 | D | 18.4 | 38 | D | 73.4 | 62 | D | 293.7 | 86 | D | 1174.7 | 110 | D | 4698.6 | na | D | 18794.5 |
| 15 | D# | 19.4 | 39 | D# | 77.8 | 63 | D# | 311.1 | 87 | D# | 1244.5 | 111 | D# | 4978.0 | na | D# | 19912.1 |
| 16 | E | 20.6 | 40 | E | 82.4 | 64 | E | 329.6 | 88 | E | 1318.5 | 112 | E | 5274.0 | na | E | 21096.2 |
| 17 | F | 21.8 | 41 | F | 87.3 | 65 | F | 349.2 | 89 | F | 1396.9 | 113 | F | 5587.7 | na | F | 22350.6 |
| 18 | F# | 23.1 | 42 | F# | 92.5 | 66 | F# | 370.0 | 90 | F# | 1480.0 | 114 | F# | 5919.9 | na | F# | 23679.6 |
| 19 | G | 24.5 | 43 | G | 98.0 | 67 | G | 392.0 | 91 | G | 1568.0 | 115 | G | 6271.9 | na | G | 25087.7 |
| 20 | G# | 26.0 | 44 | G# | 103.8 | 68 | G# | 415.3 | 92 | G# | 1661.2 | 116 | G# | 6644.9 | na | G# | 26579.5 |
| 21 | A | 27.5 | 45 | A | 110.0 | 69 | A | 440.0 | 93 | A | 1760.0 | 117 | A | 7040.0 | na | A | 28160.0 |
| 22 | A# | 29.1 | 46 | A# | 116.5 | 70 | A# | 466.2 | 94 | A# | 1864.7 | 118 | A# | 7458.6 | na | A# | 29834.5 |
| 23 | B | 30.9 | 47 | B | 123.5 | 71 | B | 493.9 | 95 | B | 1975.5 | 119 | B | 7902.1 | na | B | 31608.5 |
| 24 | C | 32.7 | 48 | C | 130.8 | 72 | C | 523.3 | 96 | C | 2093.0 | 120 | C | 8372.0 | na | C | 33488.1 |
| 25 | C# | 34.6 | 49 | C# | 138.6 | 73 | C# | 554.4 | 97 | C# | 2217.5 | 121 | C# | 8869.8 | na | C# | 35479.4 |
| 26 | D | 36.7 | 50 | D | 146.8 | 74 | D | 587.3 | 98 | D | 2349.3 | 122 | D | 9397.3 | na | D | 37589.1 |
| 27 | D# | 38.9 | 51 | D# | 155.6 | 75 | D# | 622.3 | 99 | D# | 2489.0 | 123 | D# | 9956.1 | na | D# | 39824.3 |
| 28 | E | 41.2 | 52 | E | 164.8 | 76 | E | 659.3 | 100 | E | 2637.0 | 134 | E | 10548.1 | na | E | 42192.3 |
| 29 | F | 43.7 | 53 | F | 174.6 | 77 | F | 698.5 | 101 | F | 2793.8 | 125 | F | 11175.3 | na | F | 44701.2 |
| 30 | F# | 46.2 | 54 | F# | 185.0 | 78 | F# | 740.0 | 102 | F# | 2960.0 | 126 | F# | 11839.8 | na | F# | 47359.3 |
| 31 | G | 49.0 | 55 | G | 196.0 | 79 | G | 784.0 | 103 | G | 3136.0 | 127 | G | 12543.9 | na | G | 50175.4 |
| 32 | G# | 51.9 | 56 | G# | 207.7 | 80 | G# | 830.6 | 104 | G# | 3322.4 | na | G# | 13289.8 | na | G# | 53159.0 |
| 33 | A | 55.0 | 57 | A | 220.0 | 81 | A | 880.0 | 105 | A | 3520.0 | na | A | 14080.0 | na | A | 56320.0 |
| 34 | A# | 58.3 | 58 | A# | 233.1 | 82 | A# | 932.3 | 106 | A# | 3729.3 | na | A# | 14917.2 | na | A# | 59669.0 |
| 35 | B | 61.7 | 59 | B | 246.9 | 83 | B | 987.8 | 107 | B | 3951.1 | na | B | 15804.3 | na | B | 63217.1 |

Figura 6: Tabella di comparazione tra Hertz e note musicali; <http://www.indiana.edu/~emusic/hertz.htm>

C'è da precisare però che questa tabella è valida solo nel caso di strumenti armonici (come l'organo) dove cioè la seconda armonica è esattamente il

doppio della fondamentale. Nel pianoforte ad esempio la seconda armonica è un po' più alta del doppio della fondamentale, questo può causare ciò che i pianisti chiamano “singing tone”.

Altra unità di misura usata nella misurazione degli intervalli musicali è il cent, pari ad un centesimo di semitono temperato e a 1/1200 di ottava. Un ulteriore modo per rappresentare gli intervalli tonali è quello di indicarli come variazioni percentuali. Un tono di 125 Hz, per es., è più alto del 25% rispetto ad un altro di 100 Hz.

Tali unità di misura, però, si riferiscono alla frequenza reale dei suoni. Poiché la sensazione psicoacustica di altezza, che viene indotta non è legata alla frequenza con un rapporto costante, è stato necessario istituire anche per essa un'unità di misura: il mel.

Per convenzione un tono di 1.000 Hz a 40 db induce una sensazione di altezza pari a 1.000 mel, come da grafico (Uberti 1996) (Fig. 7):

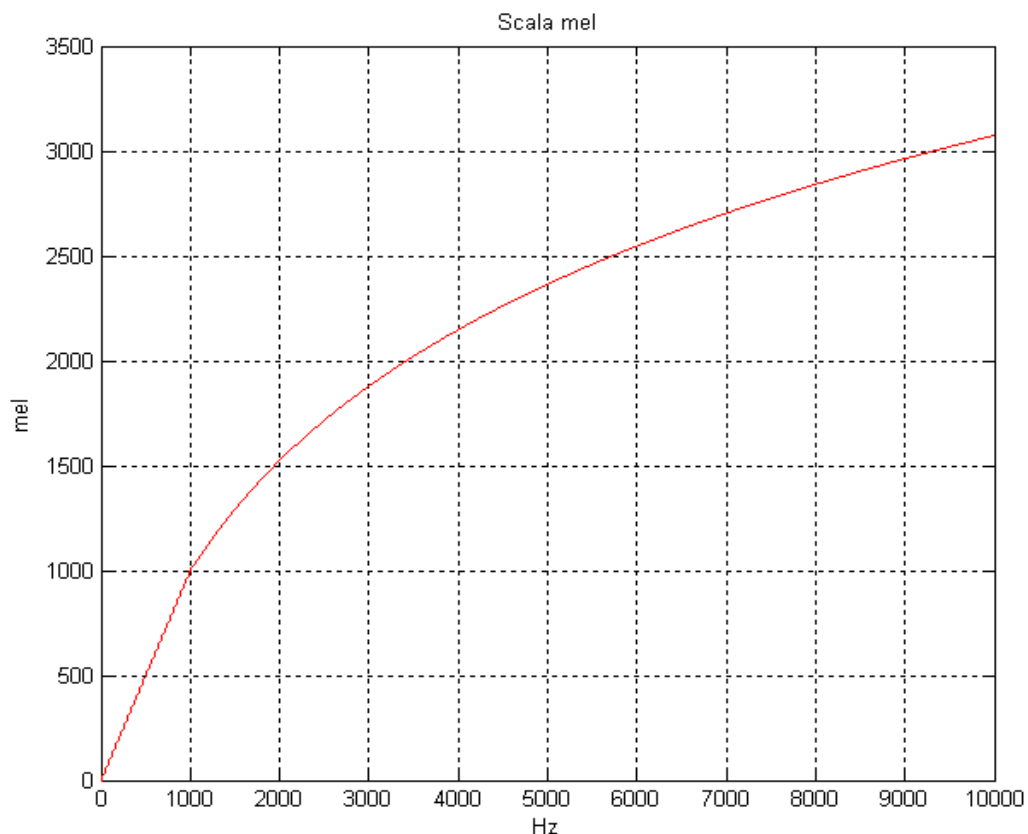


Figura 7: Scala dei mel; http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mel_scale.PNG

“Una sensazione di altezza doppia (ottava superiore) corrisponde a 2.000 mel; una sensazione di altezza pari alla metà (ottava inferiore), 500 mel. La verifica sperimentale, però, dimostra che l’effetto di ottava superiore, anziché da 2.000 Hz è indotto da circa 3.100 Hz mentre quello di ottava inferiore è indotto da una frequenza di circa 400 Hz. Procedendo sperimentalmente e sempre al livello convenzionale di 40 fon (40 dB a 1000 Hz), si può così constatare come al cambiare dell’intensità del tono di stimolazione, mantenuto a frequenza costante, cambia anche la sensazione di altezza, per cui è possibile tracciare sperimentalmente delle curve di isoaltezza (identica sensazione di altezza) che dicono come sia necessario variare in più o in meno l’altezza reale dei tono di stimolazione perché l’udito conservi la sensazione di una nota costante variandone l’intensità.”

(Uberti, 1996)

Il fatto che l'ottava superiore venga percepita ben mezza ottava dopo di come oggettivamente viene misurata, potrebbe far aprire scenari affascinanti come una nuova divisione dell'ottava basata su questo intervallo (2.000-3.100 Hz) e la conseguente introduzione di una nuova unità di misura che non sarà più il semitono. Per fortuna questi sono solo dati sperimentali che non trovano un riscontro scientifico, e risultano sempre molto soggettivi; resta il fatto che esiste uno scarto, seppur molto minore, tra gli Hz “scientifici” misurati con un apparecchio, e ciò che realmente percepiamo; infatti chi accorda i pianoforti non si fida totalmente dell'accordatore elettronico, ma la sua bravura sta, dopo aver usato l'accordatore, nell'affinare l'intonazione a orecchio.

Come possiamo vedere nel grafico, dove lo 0 rappresenta il sistema temperato, osservando l'andamento in cent di due accordatori diversi, possiamo avere scarti anche di 30 cent (Fig. 8).

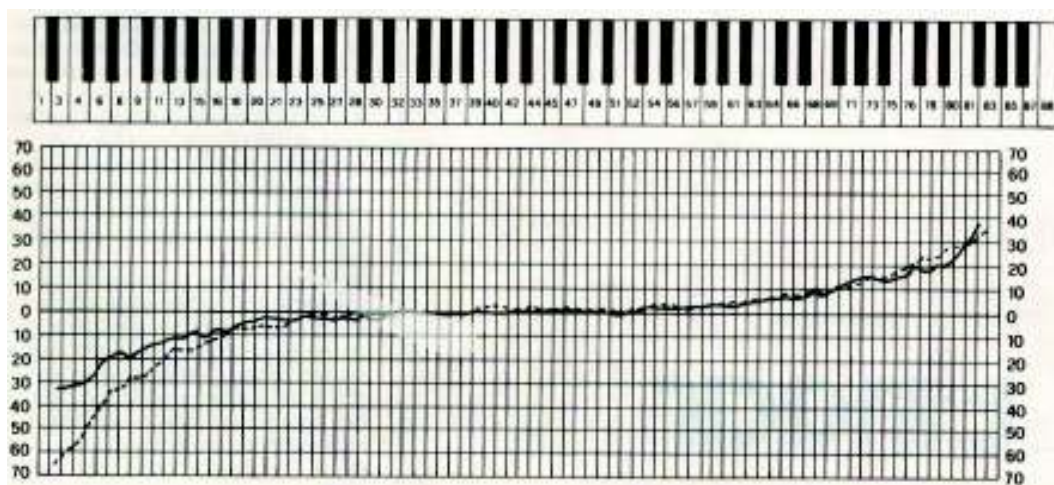


Figura 8: Deviazioni in cents relative a due diversi accordatori; Graziani 2009.

Sperimentalmente nel 1937 si è giunti a una scala dei mel, costruita su intervalli percepiti alla stessa distanza usando come tono di riferimento 1.000 mel (1.000 Hz a 40 db).

Partendo da 500 Hz e prendendo in esame l'intervallo di 4 ottave sulla scala in Hz (500-8.000 Hz), vediamo che corrisponderà a 2.800 mel, cioè poco più di due ottave. Da qui ci possiamo rendere conto su quanto sia approssimativa una scala in mel, seppur più “umana” non troverebbe un pratico riscontro nel sistema musicale moderno.

Interpellando il prof. Uberti e il prof. Mark Lindley, e sulla base dei dati fin qui correlati, posso quindi affermare che il temperamento equabile, con particolare riferimento alla tabella di figura 6, non può soddisfare la nostra sensazione di ottava, specialmente nei registri gravi ed acuti.

“Allargando l'indagine a tutto il campo uditivo si scopre che il comportamento psicoacustico del sistema uditivo per quanto riguarda la sensazione di altezza al variare dell'intensità è molto complesso. Soltanto le frequenze della regione tonale compresa fra 1.000 e 3.000 Hz sono relativamente insensibili alle variazioni di intensità. I toni di frequenza inferiore tendono a indurre una sensazione di altezza più bassa quanto più alta è la loro intensità, con effetto tanto più accentuato quanto più bassi essi sono; quelli di frequenza superiore tendono invece a indurre sensazioni di altezza più alte quanto l'intensità è più alta esse pure con effetto accentuato quanto più alte sono. Al crescere dell'intensità, cioè, le frequenze al disopra e al disotto di una certa fascia centrale (1.000-3.000 Hz) tendono ad esasperare nella sensazione indotta, le loro caratteristiche di acutezza o di profondità.

La sensibilità del sistema uditivo alle variazioni di frequenza è definita dalla soglia differenziale di frequenza. Anche in questo caso occorre tener conto sia dell'altezza sia dell'intensità dei toni messi a confronto. Mentre alle bassissime frequenze la capacità discriminativa dell'orecchio è decisamente cattiva (all'altezza del do di 32,7 Hz l'incertezza supera abbondantemente il semitono) essa migliora, sensibilmente a mano a mano che ci si avvicina al

cosiddetto campo di corretta udibilità (800-3.000 Hz) nel quale si mantiene costante per poi tornare a peggiorare leggermente verso l'acuto. La soglia differenziale di frequenza è indipendente dalla loro intensità per valori superiori a 30 dB al di sopra della soglia di udibilità mentre al di sotto di questo livello la capacità di discriminazione dell'orecchio diminuisce sensibilmente.

Come nel caso dell'intensità, la valutazione delle variazioni di frequenza è fortemente influenzata dalla velocità di queste e i valori dati si riferiscono a valutazioni istantanee mentre variazioni lente possono ingannare anche orecchie esercitate.

Nella realtà quotidiana i toni puri usati per semplicità nelle sperimentazioni descritte, sono praticamente assenti; è quindi del massimo interesse indagare sul comportamento verso i suoni complessi, che sono invece quelli realmente esistenti in natura. L'aumento dei fattori in gioco, però, moltiplica in misura enorme le difficoltà di indagine, motivo per cui le acquisizioni sicure in questo campo sono ancora poche. Una di queste è l'andamento del livello di intensità soggettiva al sommarsi di più toni puri.

Come si è visto precedentemente, il livello di intensità sonora non dipende soltanto dall'intensità dei toni di stimolazione, ma anche dalla loro frequenza. Questa interdipendenza psicoacustica fra i due tipi di grandezze persiste ovviamente anche nel caso in cui i toni in gioco siano più di uno. Nel caso più semplice, costituito da due toni di frequenza diversa ma ognuno dell'intensità oggettiva necessaria per indurre la stessa sensazione sonora (stessa misura in son), la somma delle intensità dei due toni dà risultati psicoacustici diversi a seconda dell'ampiezza dell'intervallo di frequenza che li separa. Per questo occorre introdurre la nozione di **banda critica**, che è il campo di frequenze in relazione al quale è possibile valutare la somma dell'intensità soggettiva di due toni, ovvero un intervallo

di frequenze entro alla quale due toni puri simultanei non possono essere percepiti come distinti.

Le bande critiche che dividono l'ambito delle frequenze udibili sono state stabilite sperimentalmente in 24 e hanno varia larghezza, come possiamo vedere nel grafico (Fig. 9):

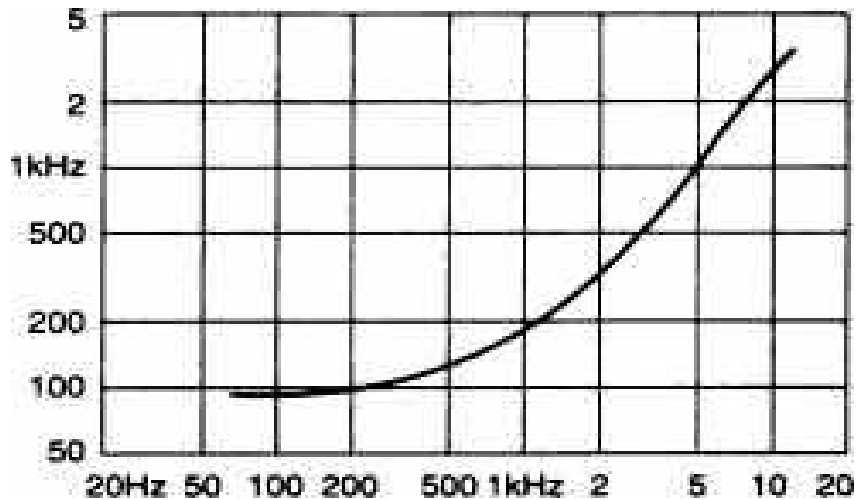


Figura 9: Relazione tra larghezza della banda critica sulle ascisse, e sua frequenza centrale; Uberti 1996.

Ora se l'intervallo fra i due toni è superiore ad una determinata banda critica, la sensazione sonora indotta dalla stimolazione contemporanea da parte di essi è doppia; pari, cioè, alla somma delle sensazioni che verrebbero indotte separatamente da ciascuno. Se invece l'intervallo di frequenza scende al di sotto di quella determinata banda critica, l'intensità della sensazione sonora risulta inferiore alla somma e il risultato è abbastanza predicibile.

La larghezza della banda critica cambia col cambiare della regione di altezza. Un modo comodo per rappresentarla è quello di indicare sulle ordinate di un piano cartesiano la frequenza centrale di essa.

Si vede così, per es., che, quando la frequenza centrale della banda critica si

aggira sui 200 Hz, la sua larghezza è di circa 100 Hz mentre, quando la frequenza centrale è sui 5.000 Hz la larghezza giunge a 1.000 Hz.” (Uberti, 1996)

E' stato sperimentato che la banda critica ha un'ampiezza poco maggiore di un tono, quindi il tono e il semitono sono sempre all'interno della banda critica. Questo spiega perché i bicordi di 2a maggiore e minore danno sempre una sensazione aspra. Spiega anche perché nei “cluster” di semitoni e toni (cluster = accordo formato da varie note a distanza di semitono o tono) non si distinguono i singoli suoni, mentre invece si distinguono benissimo in un accordo di terze sovrapposte.

Notiamo inoltre che sui suoni gravi, la banda critica è un pò più ampia, tanto da includere anche la 3a minore (e nella parte bassissima, anche la 3a maggiore). Questa spiega perché, sui bassi, un bicordo di 3a suona male e anche perché, nella pratica del contrappunto, si lascia sempre un certo spazio fra il basso e le altre voci (Graziani, 2009).

Un fenomeno legato alla banda critica è quello dei battimenti: tecnicamente i battimenti sono un fenomeno fisico, prodotto dalla sovrapposizione di due onde sinusoidali aventi la medesima ampiezza e frequenze f_1 e f_2 solo “leggermente diverse”. L'onda risultante possiede una forma caratteristica che mostra una sorta di doppia oscillazione (Fig. 10).



Figura 10: Sovrapposizione di due onde sinusoidali dalla stessa ampiezza e frequenza differente;
Unimore 2008.

“A prima vista sembrerebbe che i battimenti siano semplicemente una manifestazione del principio di sovrapposizione: sommando due onde si ottiene una nuova onda con caratteristiche differenti. Non è così. Di fatto il fenomeno del battimento manifesta appieno la sua importanza solo nel campo dell'acustica. Non a caso il nome stesso del fenomeno è dovuto alla lenta fluttuazione dell'intensità percepita che fa somigliare il suono, ad una pulsazione regolare.” (Unimore 2008)

“È il tipico fenomeno che si sente quando uno o più strumenti si accordano su un unico suono (battimento fra le fondamentali). Quando due onde di frequenza leggermente diversa iniziano, hanno probabilmente la stessa fase, cioè si trovano entrambe nello stesso punto del ciclo.

In tal caso si rinforzano l'una con l'altra (si sommano) e il suono risultante avrà un'ampiezza pari alla loro somma. Però, dato che una frequenza è

leggermente più alta dell'alta, il suo ciclo andrà più veloce, quindi, dopo un pò, le due onde saranno sfasate e a un certo punto saranno in controfase, cioè il ciclo dell'una è nella parte alta mentre quello dell'altra è nella parte bassa.” (Graziani 2009)

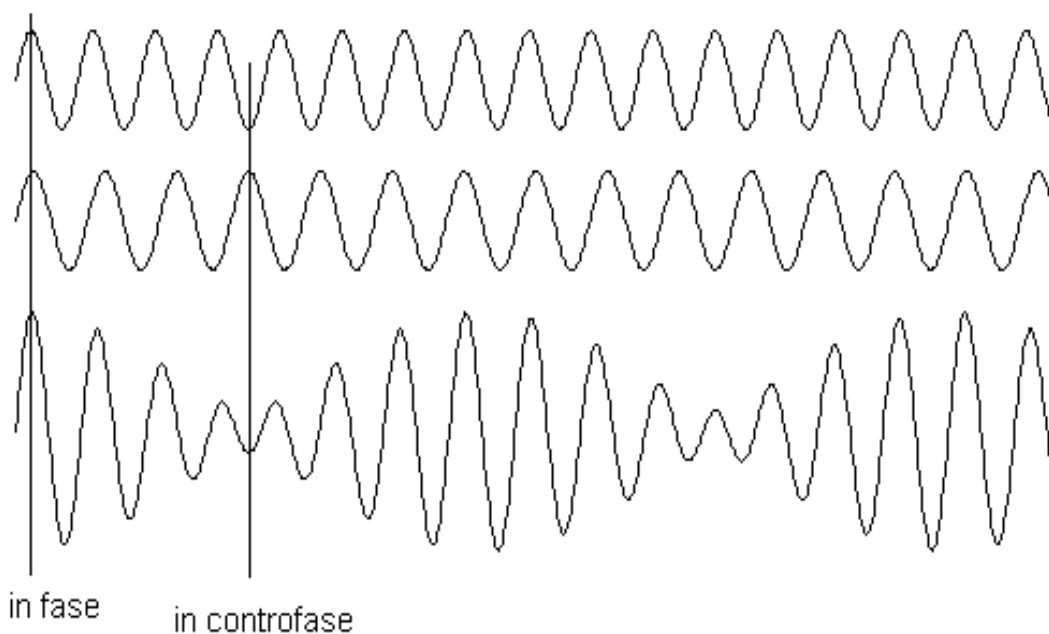


Figura 11: Andamento di due onde sinusoidali rispetto al tempo e loro risultante; Graziani 2009.

Il fenomeno dei battimenti si manifesta appieno solo sovrapponendo suoni puri (corrispondenti ad onde sinusoidali), e la totale sparizione del suono ad intervalli regolari si ottiene soltanto quando i due suoni hanno anche stessa intensità. Queste condizioni ideali sono difficilmente replicabili nei suoni reali, specialmente se prodotti da due strumenti diversi. Tuttavia i battimenti si manifestano in musica molto più frequentemente di quanto crediamo, anche se, spesso, serve un orecchio allenato per riconoscerli.

Nella pratica possiamo trovarci davanti a dei battimenti quando vediamo un chitarrista che cerca di accordare la sua chitarra pizzicando alternatamente due corde vicine. Egli, tendendo o rilasciando la corda da accordare, la pizzica ripetutamente fino a quando non ritiene che i due suoni ottenuti

siano all'unisono.

Oppure se ci capita di ascoltare il meraviglioso effetto di un coro di canto gregoriano in una cattedrale gotica, o un organo che suona nel registro vox humana, o due organi affacciati (una configurazione che si osserva in certe chiese), possono dare origine al fenomeno, nella sua forma pura, quando suonano registri dolci (registri in cui la fondamentale è la componente dominante del suono). Il suono sembra lentamente “pulsare” con un lento alternarsi nel tempo dell'intensità, o ancora se ascoltiamo un pianoforte giocattolo (o scordato) produrre suoni aspri e così dissonanti da assomigliare a quelli che emette un modem gracchiante alla ricerca della connessione (Unimore 2008).

Se questi suoni li mandassimo separatamente all'orecchio tramite cuffie si genererà il fenomeno dei battimenti binaurali (o binaural beats) che, a differenza dei battimenti, non sono un fenomeno fisico, ma neurologico; viene infatti creato nell'oliva superiore (che vedremo al capitolo 4) il primo punto dove i nervi uditivi delle due orecchie si incontrano prima ancora di arrivare al cervello. Per avere luogo i suoni non devono differenziarsi per più di 30 Hz, altrimenti i due toni verranno uditi separatamente senza provocare battimenti (Stefanelli 2009).

Se mandiamo due frequenze che si differiscono per 2 Hz, il suono sembrerà muoversi da destra a sinistra; se la differenza è maggiore otterremo anche fluttuazioni di intensità (Picinali 2009: 68).

Gli strumenti ad intonazione libera, come il violino, possono dare luogo a dei battimenti che hanno una forma particolare, detta terzo suono di Tartini, dal suo inventore.

Questo suono è percepito come un suono “fantasma”, ogni volta che, due suoni ricchi di armonici e molto intensi, raggiungono l'orecchio in modo

simultaneo. Sul violino è semplice ottenere il suono Tartini, suonando note doppie sulla prima e seconda corda.

“L'effetto in realtà assume forme diverse, in quanto il terzo suono compare a frequenze pari sia alla somma di (multipli delle) frequenze base, sia alla loro differenza, sia in corrispondenza di altre combinazioni. In pratica corrisponde alla differenza fra le frequenze generatrici, ad es. un LA a 440 Hz e un MI 660 Hz, producono un LA 220 Hz cioè l'8va sotto ($660 - 440 = 220$) ($= 440/2$).”(Unimore 2008)

Questo metodo viene utilizzato anche nella costruzione degli organi, in particolare per creare un DO basso ove sarebbe necessaria una canna troppo lunga; al posto di questa canna infatti se ne mettono due, una al DO 8va sopra e una al SOL 12ma.

La questione sull'oggettività o soggettività di tali suoni è controversa, annosa ed ancora aperta. È possibile, infatti, realizzare esperienze diverse e fra loro contraddittorie a prova e disprova della loro oggettività; possiamo però aggiungere che, a volumi molto intensi e quindi in presenza di distorsioni di intermodulazione (come nelle onde radio), può accadere che l'orecchio non si limiti a registrare e riprodurre fedelmente ciò che riceve dall'esterno, ma aggiunge nuove componenti armoniche al suono, che, in certi casi, possono essere percepite come suoni estranei. Tali frequenze non sono illusorie, ma esistono fisicamente all'interno dell'orecchio, e corrispondono quindi ai massimi fisici dell'onda di pressione cocleare (Graziani 2009) (Unimore 2008).

In altri strumenti i battimenti fanno sempre parte del timbro. In particolare nelle percussioni (sia ad altezza definita, come i timpani, sia ad altezza indefinita, come il tamburo rullante, o il triangolo). Le percussioni, infatti sono caratterizzate dal fatto che i loro armonici non stanno in rapporti interi, come abbiamo visto precedentemente sono strumenti non

armonici e quindi, sono sempre presenti diversi battimenti interni (tra armoniche diverse prodotte dallo stesso suono) (Unimore 2008).