



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in Ingegneria Biomedica
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE E
SCIENZE MATEMATICHE

***ANALISI DEGLI INDICATORI DI
SOUNDSCAPE IN AREE PUBBLICHE***

Analysis of soundscape indicators in public areas

Relatore:

Ing. Fabio Serpilli

Tesi di Laurea di:

Gianfranco Zigrossi

Correlatore:

Ing. Valter Lori

Anno accademico 2019/2020

INDICE

<i>INTRODUZIONE</i>	6
<i>IL SUONO</i>	7
Apparato uditivo umano.....	7
Grandezze acustiche.....	9
Livelli nel Tempo.....	9
Le curve di Ponderazione	10
L'analisi in frequenza	11
<i>LA PSICOACUSTICA ED IL SOUND QUALITY</i>	13
Grandezze Psicoacustiche.....	14
Bande critiche	14
Loudness.....	14
Fluctuation Strenght	19
Roughness	22
Sharpness	25
Tonality	27
<i>IL SOUNDSCAPE</i>	29
<i>METODOLOGIA ADOTTA E CLUSTERIZZAZIONE DEL LUOGO DI INTERESSE</i>	32
Clusterizzazione del Porto di Ancona.....	32
Selezione cluster per la misura.....	38
Misure Oggettive	42
Raccolta dati soggettivi	64
<i>ANALISI DATI SOGGETTIVI</i>	69
<i>CONCLUSIONI</i>	74
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	76

Indice delle figure

FIGURA 1 APPARATO UDITIVO UMANO	7
FIGURA 2 ORECCHIO MEDIO	8
FIGURA 3 LE CURVE DI PONDERAZIONE	11
FIGURA 4 LE ISOFONICHE DI FLETCHER E MUNSON	15
FIGURA 5 ATTENUAZIONE IN DB DA APPLICARE IN CAMPO DIFFUSO	16
FIGURA 6 ANDAMENTO DELLA LOUDNESS SPECIFICA IN FUNZIONE DELLA FREQUENZA	19
FIGURA 7 MODELLO PER FLUCTUATION STRENGTH E ROUGHNESS	20
FIGURA 8 ANDAMENTO DELLA FLUCTUATION STRENGTH PER ORECCHIO DESTRO E SINISTRO	22
FIGURA 9 ANDAMENTO DELLA ROUGHNESS CON IL GRADO DI MODULAZIONE, VALORI IN %, PER UN TONO DI 1KHZ CON 60 DB SPL E FREQUENZA DI MODULAZIONE PARI A 70 HZ	23
FIGURA 10 VARIAZIONE DELLA ROUGHNESS AL VARIARE DELLA FREQUENZA DI MODULAZIONE IN AMPIEZZA E DELLA FREQUENZA CENTRALE DEL TONO, CON MODULAZIONE AL 100%, LIVELLO SPL COSTANTE PARI A 60 DB	24
FIGURA 11 ANDAMENTO DEL PESO G(Z) AL VARIARE DEL NUMERO DI BARK	26
FIGURA 12 ANDAMENTO DELLA SHARPNESS PER ORECCHIO DESTRO E SINISTRO	27
FIGURA 13 ESEMPIO DOMANDA QUESTIONARIO SECONDO IL METODO A DELLA NORMATIVA ISO/TS PARTE 2	30
FIGURA 14 ESEMPIO DOMANDA QUESTIONARIO SECONDO IL METODO B DELLA NORMATIVA ISO/TS PARTE 2	30
FIGURA 15 SCHEMATIZZAZIONE DELLA NORMATIVA ISO 12913	31
FIGURA 16 VISTA DEL PORTO DAL PARCO DELLA CITTADELLA	32
FIGURA 17 DIVISIONE AREE PORTO DI ANCONA (VISTA DALL'ALTO)	33
FIGURA 18 CLUSTERIZZAZIONE AREA PORTUALE	38
FIGURA 19 CLUSTER AREA PORTO ANTICO	39
FIGURA 20 CLUSTER AREA FUNZIONI URBANE	40
FIGURA 21 CLUSTER PORTO TURISTICO	41
FIGURA 22 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA PER LA MISURAZIONE	42
FIGURA 23 C1_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	44
FIGURA 24 C2_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	44
FIGURA 25 C3_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	45
FIGURA 26 C4_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	45
FIGURA 27 C5_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	46
FIGURA 28 C6_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	46
FIGURA 29 C7_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	47
FIGURA 30 C8_LIVELLO PRESSIONE SONORA DB(A)	47
FIGURA 31 C1_LOUDNESS [SONE]	48
FIGURA 32 C2_LOUDNESS [SONE]	48
FIGURA 33 C3_LOUDNESS [SONE]	49
FIGURA 34 C4_LOUDNESS [SONE]	49
FIGURA 35 C5_LOUDNESS [SONE]	50
FIGURA 36 C6_LOUDNESS [SONE]	50
FIGURA 37 C7_LOUDNESS [SONE]	51
FIGURA 38 C8_LOUDNESS [SONE]	51
FIGURA 39 C1_SHARPNESS [ACUM]	52
FIGURA 40 C2_SHARPNESS [ACUM]	52
FIGURA 41 C3_SHARPNESS [ACUM]	53

FIGURA 42 C4_SHARPNESS [ACUM]	53
FIGURA 43 C5_SHARPNESS [ACUM]	54
FIGURA 44 C6_SHARPNESS [ACUM]	54
FIGURA 45 C7_SHARPNESS [ACUM]	55
FIGURA 46 C8_SHARPNESS [ACUM]	55
FIGURA 47 C1_ROUGHNESS[ASPER]	56
FIGURA 48 C2_ROUGHNESS[ASPER]	56
FIGURA 49 C3_ROUGHNESS[ASPER]	57
FIGURA 50 C4_ROUGHNESS[ASPER]	57
FIGURA 51 C5_ROUGHNESS[ASPER]	58
FIGURA 52 C6_ROUGHNESS[ASPER]	58
FIGURA 53 C7_ROUGHNESS[ASPER]	59
FIGURA 54 C8_ROUGHNESS[ASPER]	59
FIGURA 55 C1_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	60
FIGURA 56 C2_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	60
FIGURA 57 C3_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	61
FIGURA 58 C4_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	61
FIGURA 59 C5_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	62
FIGURA 60 C6_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	62
FIGURA 61 C7_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	63
FIGURA 62 C8_FLUCTUATION STRENGTH [VACIL]	63
FIGURA 63 SCHEMATIZZAZIONE DELLA PROCEDURA DI ACQUISIZIONE DEI DATI OGGETTIVI E SOGGETTIVI	64
FIGURA 64 QUESTIONARIO-1	65
FIGURA 65 QUESTIONARIO-2	66
FIGURA 66 QUESTIONARIO-3	66
FIGURA 67 QUESTIONARIO-4	66
FIGURA 68 QUESTIONARIO-5	67
FIGURA 69 QUESTIONARIO-6	68
FIGURA 70 ANDAMENTO GENERALE DEL CAMPIONE UMANO SCELTO PER L'ESPERIMENTO	70
FIGURA 71 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C1	71
FIGURA 72 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C2	71
FIGURA 73 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C3	71
FIGURA 74 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C4	72
FIGURA 75 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C5	72
FIGURA 76 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C6	72
FIGURA 77 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C7	73
FIGURA 78 ANALISI DATI RELATIVI AL CLUSTER C8	73

Indice delle tabelle

TABELLA 1 AREE DEL PORTO DI ANCONA.....	33
TABELLA 2 ELEMENTI CLUSTER ZONA PORTO ANTICO.....	39
TABELLA 3 ELEMENTI CLUSTER ZONA AREA FUNZIONI URBANE	40
TABELLA 4 ELEMENTI CLUSTER ZONA PORTO TURISTICO	41

INTRODUZIONE

Lo studio e la teorizzazione del Paesaggio Sonoro rappresenta oggi un argomento di interesse internazionale. Mettere l'accento sul sapere ascoltare è più che mai un'esigenza dei nostri giorni, in quanto, il nostro sistema percettivo sonoro è sollecitato quotidianamente da migliaia di suoni artificiali che sovrastano quelli naturali del territorio. Inoltre, è molto importante ridare dignità al rumore di fondo del mondo in cui viviamo, mettendo sempre al centro del discorso musicale il nostro rapporto con l'Ambiente Sonoro. Educare la nostra percezione uditiva a praticare un ascolto "Attento" di cui probabilmente non siamo quasi più capaci. Un paesaggio sonoro è l'ambiente acustico percepito dagli esseri umani, nel contesto in cui vivono. Il termine è stato originariamente coniato da Michael Southworth, e reso popolare da R. Murray Schafer. Esiste una storia variegata dell'uso del paesaggio sonoro a seconda della disciplina, che va dalla progettazione urbana all'ecologia della fauna selvatica all'informatica. Una distinzione importante è separare il paesaggio sonoro dall'ambiente acustico più ampiamente detto. Obiettivo di questo lavoro è realizzare una procedura obbiettiva concorde alla normativa vigente, per la determinazione delle grandezze acustiche che caratterizzano il paesaggio sonoro, meglio noto come "Soundscape". Come paesaggio da analizzare si è scelto il porto di Ancona, da sempre oggetto di storia, cultura e certamente crocevia di scambi commerciali. La qualità acustica di un ambiente può essere valutata utilizzando dei parametri che riescono a relazionare le variazioni fisiche del campo sonoro in cui si trova l'ascoltatore con le variazioni del giudizio personale dello stesso. Il successo è determinato dal raggiungimento di un appropriato equilibrio tra le qualità soggettive che tali parametri rappresentano. Per realizzare questo tipo di analisi bisognerà tener conto non solo delle grandezze dell'acustica tradizionali come, per esempio, il livello di pressione sonora, bensì verranno considerati i parametri fondamentali della Psicoacustica come Loudness, Sharpness, Roughness e Fluctuation Strength i quali tengono conto oltre che delle fluttuazioni energetiche anche delle sensazioni umane. Il Porto è stato analizzato accuratamente al fine di selezionare le aree in cui effettuare le misurazioni acustiche. Al fine della tesi sono stati selezionati 8 Cluster. La misura delle grandezze acustiche è stata effettuata mediante l'utilizzo di cuffie Binaurali Roland CS-10EM collegati a Zoom H4n (registratore multicanale in mode Binaural 96KHz). Le registrazioni sono state fatte in ognuno dei cluster selezionati con annessa registrazione video. Per quanto riguarda invece, la raccolta dei dati soggettivi, per motivi di emergenza legati alla pandemia COVID-19, questi sono stati raccolti mediante un questionario online su piattaforma Google form.

IL SUONO

Il suono è un fenomeno fisico che stimola il senso dell'udito: esso è provocato dal rapido movimento (vibrazione) di un qualsiasi corpo (una corda, un elastico, un pezzo di legno, una colonna d'aria, ecc.). I suoni sono onde create da vibrazioni ottenute in migliaia di modi diversi, che generano una variazione di pressione che si propaga all'interno di un mezzo materiale senza trasporto di materia, (ad es. nel vuoto non c'è suono). Per esistere ha bisogno di una sorgente, cioè di un corpo vibrante e di un mezzo elastico di propagazione in cui le onde possano viaggiare. Come già detto all'origine del suono c'è un corpo vibrante, questo corpo trasmette le proprie vibrazioni al mezzo che lo circonda (nel nostro caso, l'aria). Il moto delle particelle genera l'onda ed il suono si propaga sotto forma di onda sonora. Le onde sonore prodotte provocano dei movimenti periodici delle molecole d'aria formando strati alternati di aria compressa e rarefatta che si propagano in tutte le direzioni fino ad arrivare al nostro orecchio.

Apparato uditivo umano

Il nostro sistema uditivo influenza e modifica gli stimoli acustici in ingresso, successivamente elaborati dal sistema nervoso. Quando un'onda sonora arriva ad incidere sull'orecchio esterno, una parte di essa viene direzionata attraverso il canale auditivo verso la membrana timpanica. La membrana comincerà ad oscillare per effetto delle perturbazioni di pressione e metterà in moto un sistema di ossicini fra cui il martello, l'incudine e la staffa; il loro movimento viene trasmesso alla finestra ovale, che a sua volta perturba il fluido all'interno della coclea. Le perturbazioni vengono trasformate in segnale elettrici dal nervo acustico ed il cervello elabora tali informazioni.



Figura 1 Apparato uditivo umano

L'orecchio esterno è costituito da due elementi principali: il padiglione auricolare ed il canale auditivo esterno. Il padiglione auricolare svolge la funzione di raccolta e convogliamento, tramite il canale uditivo, delle onde sonore verso l'orecchio medio. La forma particolare, costituita da nervature, rientranze ed appendici, permette di far arrivare nel canale auditivo una serie di onde riflesse in aggiunta all'onda diretta; questa combinazione consente di valutare la direzionalità dei suoni percepiti. Il padiglione permette di differenziare il suono proveniente dalla zona frontale rispetto a quello della zona retrostante. Se opportunamente orientato consente l'amplificazione dell'onda sonora; questo nell'uomo avviene con la rotazione del capo mentre in alcuni animali con il movimento autonomo del padiglione. Il canale uditivo esterno ha mediamente una lunghezza di 2.5 [cm] ed un diametro di 0.7 [cm]. La sua funzione è di convogliare il suono verso l'orecchio medio e di aumentare la sensazione dei suoni che lo attraversano. Quest'ultimo effetto avviene in seguito alle risonanze tipiche di un condotto chiuso ad una estremità (come le canne di un organo); le frequenze per le quali avviene la risonanza sono strettamente legate alle dimensioni del canale ed alla lunghezza d'onda del fenomeno sonoro. Il primo picco si osserverà per una lunghezza d'onda pari a circa 4 volte la lunghezza del canale auditivo (ca. 3400 [Hz]) con una amplificazione fino a 12 [dB] in corrispondenza delle frequenze attorno ai 4000 Hz, molto importanti per l'ascolto della voce umana. L'orecchio medio è costituito dalla membrana timpanica, da un sistema di ossicini e dalla finestra ovale. Poiché il suono arriva da un mezzo con bassa impedenza come l'aria e deve essere trasmesso ad un fluido assimilabile all'acqua all'interno della coclea, si avrebbe un problema di adattamento di impedenza (rapporto $Z \sim 1:4000$ quindi rapporto pressioni $\sim 4000^{1/2} = 63$), ovvero si avrebbe una quasi totale riflessione dell'informazione sonora con effetti di sordità. Un primo rapporto di amplificazione si ha per effetto del rapporto fra le aree della membrana timpanica e della finestra ovale ($80 \text{ mm}^2 : 3 \text{ mm}^2 \sim 27$), mentre un secondo è legato al sistema di ossicini (martello – incudine - staffa) con rapporti di leva da 1.3:1 a 3.1:1; complessivamente $35 \div 80 : 1$. In definitiva il rapporto di amplificazione meccanico copre il rapporto delle pressioni nell'adattamento di impedenza. I rapporti di leva sono modificati dalle contrazioni muscolari.

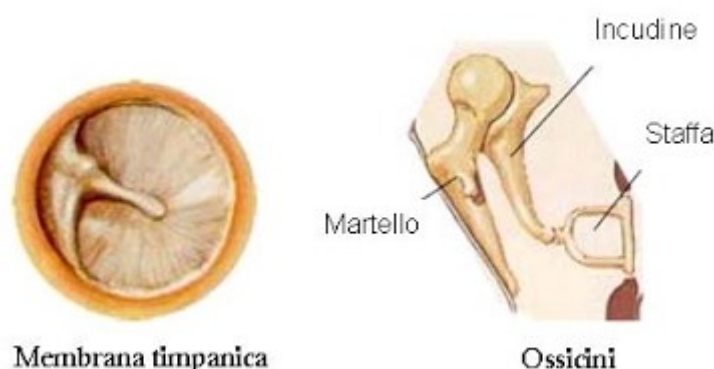


Figura 2 Orecchio medio

Il moto della finestra ovale, attivato dagli ossicini dell'orecchio medio, viene trasmesso al fluido all'interno della coclea: le conseguenti perturbazioni lambiscono la membrana basilare propagandosi fino alla finestra circolare. All'interno di questo condotto, che va dalla finestra ovale alla finestra circolare, si formano onde stazionarie in cui la posizione dei picchi di ampiezza lungo la membrana basilare dipende dalla frequenza del suono eccitante. A bassa frequenza il picco si manifesta più lontano dalla finestra ovale, ad alta frequenza più vicino, permettendo di fatto un'analisi in frequenza. Le onde stimolano i terminali nervosi ciliati, costituiti da minuscoli peli detti stereocilia. Le stereocilia si comportano come trasduttori elettroacustici, trasformando la vibrazione dovuta alle onde stazionarie nel fluido in segnale elettrico trasmesso tramite il nervo uditivo al cervello.

Grandezze acustiche

Livelli nel Tempo

Il suono è caratterizzato da onde di pressione che presentano un andamento oscillante, sinusoidale intorno allo zero. Per tale motivo è sensato calcolarne il valore efficace (rms):

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p(t)^2 dt}$$

Da tale valore è possibile calcolare il livello di pressione sonora (Spl), la cui unità di misura è il dB:

$$Spl = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_0} \right)^2$$

Dove p_0 assume il valore di $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Il valore Spl è una misura istantanea del livello sonoro, se ripetuta più volte darà risultati differenti, se le sorgenti acustiche non sono perfettamente stazionarie. Per superare questo limite è stato introdotto il livello sonoro equivalente Leq, cioè quell'ipotetico rumore costante che, se sostituito al rumore reale, genera la medesima quantità di energia sonora nello stesso intervallo temporale. Viene utilizzato in ambito normativo per valutare e limitare l'esposizione giornaliera a fonti di rumore sui posti di lavoro. È possibile caratterizzare con una sola misura un rumore variabile, per un intervallo temporale prefissato.

$$L_{eq} = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)_{rms}^2}{p_0^2} dt \right)$$

Dove T è l'intervallo di tempo in cui è stata eseguita la misura.

Un altro indice, utilizzato per il calcolo degli eventi singoli, è il SEL, simile a Leq ma normalizzato su un tempo pari ad 1 s.

$$SEL = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right)$$

Dove T0 è pari ad 1 s, p(t) è la pressione istantanea e non il valore rms, t2-t1 è il periodo di osservazione in secondi. Il SEL è quel valore costante, mantenuto per 1 s, che garantisce la medesima energia acustica dell'evento misurato. Oltre al livello di pressione, in maniera analoga si possono applicare queste equazioni per valutare i livelli di potenza e intensità acustica.

Le curve di Ponderazione

Al variare della frequenza, varia la nostra sensibilità. L'essere umano ha sensibilità fra 1 e 4 KHz, ma al di fuori di questo range lo siamo di meno, per arrivare ad essere "sordi" alle frequenze molto basse e molto alte. Ad esempio, sono necessari 79 dB a 100 Hz per darci il medesimo livello acustico fornito da 60 dB a 1 kHz. Esistono differenti curve di ponderazione, infatti il nostro sistema uditivo risponde in maniera differente, oltre che al variare della frequenza, anche al variare del livello acustico e della natura dell'evento.

-La ponderazione A, oggi la comunemente più usata, deriva dalla curva di isofonia 40 phon, ed è utile per rumori con un valore Spl inferiore ai 60 dB.

-La ponderazione B deriva dalla curva isofonica 60 phon, adatta per suoni compresi fra 60 e 80 dB.

-La ponderazione C deriva dalla curva di isofonia 100 phon, utile per rumori molto elevati, superiori agli 80 dB, ha la caratteristica di rimanere piatta per un range di frequenze molto elevato.

-La ponderazione D viene utilizzata per rumori estremamente elevati, generalmente è utilizzata in ambito aeronautico.

(nella figura sono mostrate le curve di ponderazione A, B, C, D)

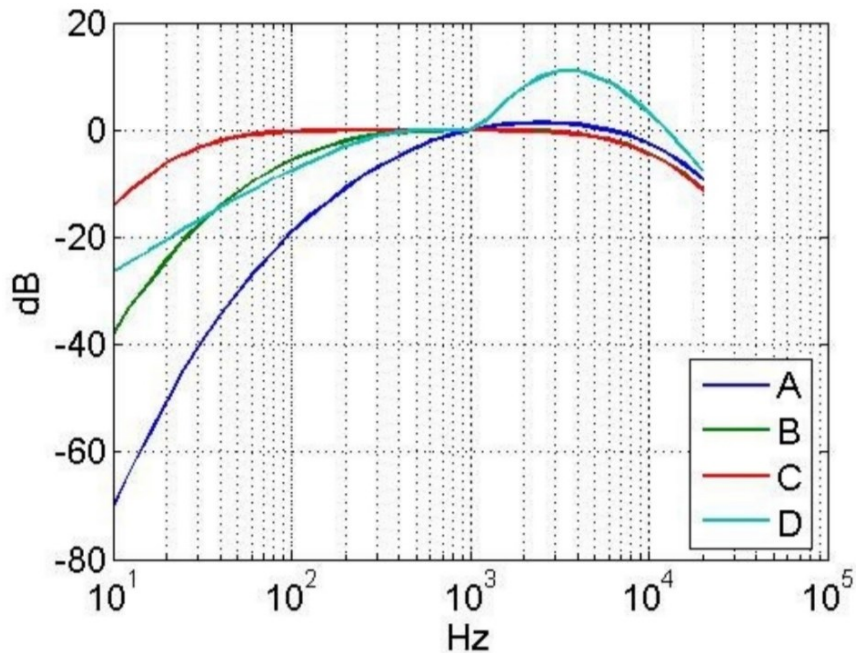


Figura 3 Le curve di Ponderazione

Le curve di ponderazione si utilizzano sottraendo, per ogni intervallo di frequenza, al valore in dB lineari il livello dato della curva. Ad esempio, a 500 Hz la ponderazione A prevede -3.2 dB, quindi a questa frequenza bisogna sottrarre 3.2 dB al livello presente nello spettro del generico suono analizzato. Le curve di ponderazione derivano da quelle di isofonia tramite ribaltamento ed opportuna traslazione; tutte e 4 le curve danno un valore nullo di ponderazione alla frequenza di 1 kHz, dove c'è quindi corrispondenza con i dB lineari.

L'analisi in frequenza

Passare dal dominio del tempo a quello delle frequenze permette, tramite la scomposizione ed il filtraggio del segnale, di individuare l'energia associata ai singoli contributi spettrali. Così facendo è possibile caratterizzare in modo più approfondito la tipologia di segnale in ingresso, analizzandone lo spettro. A parità di energia introdotta, un generico sistema risponde diversamente al variare delle componenti spettrali in

ingresso. Solitamente il passaggio da un dominio all'altro avviene tramite FFT o analisi in bande d'ottava. La trasformata veloce di Fourier è un algoritmo di calcolo che permette di applicare, riducendo lo sforzo computazionale da N^2 a $N \cdot \log(N)$, la trasformata di Fourier ad un campione discreto, quindi finito, di dati. La trasformata di Fourier permette l'estrazione delle componenti spettrali e il calcolo del loro livello energetico, partendo da una storia temporale. È applicabile a qualunque segnale, periodico o non periodico.

Data una n-pla di numeri complessi x_0-x_{N-1} la trasformata discreta di Fourier assume la seguente equazione:

$$X_q = \sum_{k=0}^{N-1} x_k e^{-j \frac{2\pi}{N} kq}$$

Con $q=0,1 \dots N-1$

Dove x_0-x_{N-1} sono i campioni dati acquisiti.

La risoluzione spettrale dipende dalla frequenza di campionamento o comunque può essere arbitrariamente ridotta, ma è sempre costante. Questo comporta degli spettri generalmente molto fitti, dove si è facilmente in grado di attribuire l'energia appartenente alla frazione di Hz, ma al tempo stesso la mole di informazione è tale da renderne difficile la comprensione. Le bande d'ottava sono caratterizzate da un'ampiezza pari ad un valore percentuale costante, rispetto alla frequenza centrale di banda; all'aumentare della frequenza centrale aumenta la larghezza di banda. Con un'analisi FFT, invece, si ha una larghezza di banda costante, pari alla risoluzione in frequenza. L'analisi può anche essere effettuata filtrando direttamente il segnale analogico con più filtri passa banda, il risultato è la scomposizione dello spettro in bande con frequenza centrale differente. Il tutto con uno sforzo computazionale irrisorio. Con poche informazioni si riesce a dare una rappresentazione esaustiva, ma comunque sintetica, dell'intero spettro sonoro; generalmente si fornisce il livello per ogni banda di interesse. Per le bande d'ottava, partendo dalla frequenza di 1 kHz, moltiplicando o dividendo per un fattore 2 si ottengono le ulteriori frequenze centrali.

$$f_{c-1} = \frac{f_c}{2}$$

$$f_{c+1} = 2f_c$$

Analogamente si ottengono i limiti inferiori e superiori delle bande, utilizzando un coefficiente pari a $2^{1/2}$.

$$f_{inf} = \frac{f_c}{\sqrt{2}}$$

$$f_{sup} = \sqrt{2}f_c$$

Nei terzi d'ottava invece, sempre partendo dalla frequenza di 1 kHz, si utilizza il coefficiente $2^{1/3}$ per il calcolo delle frequenze centrali. Per i limiti di banda si moltiplica o si divide la frequenza centrale per $2^{1/6}$. Vengono anche utilizzate bande in sesti, dodicesimi e ventiquattresimi d'ottava.

LA PSICOACUSTICA ED IL SOUND QUALITY

Il concetto di sound quality negli ultimi anni ha acquisito sempre maggiore importanza, a livelli tali da poter considerare il suono emesso come se fosse un elemento di design. Nei differenti settori sono state spese molte risorse nel raggiungimento di target acustici specifici, non solamente come mero livello di pressione sonora ma soprattutto come qualità acustica. Diverse ricerche hanno prodotto modelli articolati per permettere il raggiungimento di tali obiettivi, nelle più svariate situazioni industriali e con obiettivi differenti. Generalmente i modelli proposti sfruttano differenti mix di parametri acustici e psicoacustici per raggiungere tali obiettivi, mostrando lo stretto legame che intercorre fra psicoacustica e sound quality. Si può quindi affermare che la psicoacustica vada a colmare il gap fra le grandezze misurabili fisicamente e le valutazioni soggettive, ricordando che comunque, il responso finale sull'adeguatezza di un suono, passa attraverso il nostro sistema uditivo. Infatti, la psicoacustica è quella parte dell'acustica che si occupa del funzionamento dell'apparato uditivo e studia la percezione che l'uomo ha dei suoni che lo circondano. Di seguito vengono descritti i principali parametri psicoacustici di interesse. Nel descrivere le differenti grandezze, se non diversamente specificato, si farà riferimento a Zwicker e Fastl [6].

Grandezze Psicoacustiche

Bande critiche

Le bande critiche, la cui unità di misura è il Bark, ricostruiscono la selettività in frequenza del nostro apparato uditivo. Sono state individuate da Fletcher. Vengono individuate 24 bande di Bark, la cui frequenza iniziale va da 0 a 15550 Hz. Per passare dal dominio delle frequenze ai Bark si può utilizzare la seguente equazione:

$$z = 13 \arctan(0.76f) + 3.5 \arctan\left(\frac{f}{7.5}\right)^2$$

Con f espressa in kHz.

Uno dei metodi per calcolare la larghezza di una certa banda critica è quello di utilizzare la soglia minima di udibilità in quiete. Ad esempio, poniamoci a 920 Hz, qui la soglia di udibilità è di 3dB, quindi sarà udibile un tono puro con livello di pressione sonora pari a 3dB, oppure due toni puri con livello di pressione sonora di 0dB ciascuno o 4 toni con -3dB Spl. Mantenendo una spaziatura in frequenza costante di 20 Hz, partendo da un tono puro a 920 Hz e 3 dB Spl, si aggiungono ulteriori toni puri, così facendo si è riscontrato che il limite di udibilità può essere raggiunto da 9 toni puri con -6 dB Spl ciascuno, con frequenza compresa fra 920 a 1080 Hz. Aggiungendo ulteriori toni puri a frequenze maggiori, sempre con un livello di pressione sonora pari a -6 dB, non si hanno ulteriori influenze sulla soglia di udibilità. Quindi 9 toni puri equi spazati di 20 Hz, fra 920 e 1080 Hz, ognuno con livello pari a -6 dB vengono percepiti ugualmente a 16 toni puri con medesimo livello e parimente equi spazati fra i 920 e i 1200Hz. Di conseguenza fra i 920 e i 1080 Hz è presente una banda critica, precisamente l'ottava banda di Bark. Con questo procedimento possono essere individuate tutte le rimanenti bande critiche. Fino a 500 Hz le bande critiche hanno ampiezza pari a 100 Hz, oltre hanno larghezza prossima al 20% della frequenza centrale di banda.

Loudness

è una caratteristica complessa perché dipende sia dal livello di pressione sonora sia dalla frequenza. Nel 1933 Fletcher e Munson condussero, nei laboratori Bell, una sperimentazione tesa a definire la loudness mediante toni puri sinusoidali in regime stazionario. Ne derivò un grafico in cui vengono riportate le curve isofoniche (iso-phon) legate ai livelli di pressione ed alle frequenze. Oggi le curve isofoniche che vengono adottate fanno riferimento alla UNI ISO 226/2007. Nella figura seguente è riportato l'audiogramma normale di Fletcher e Munson:

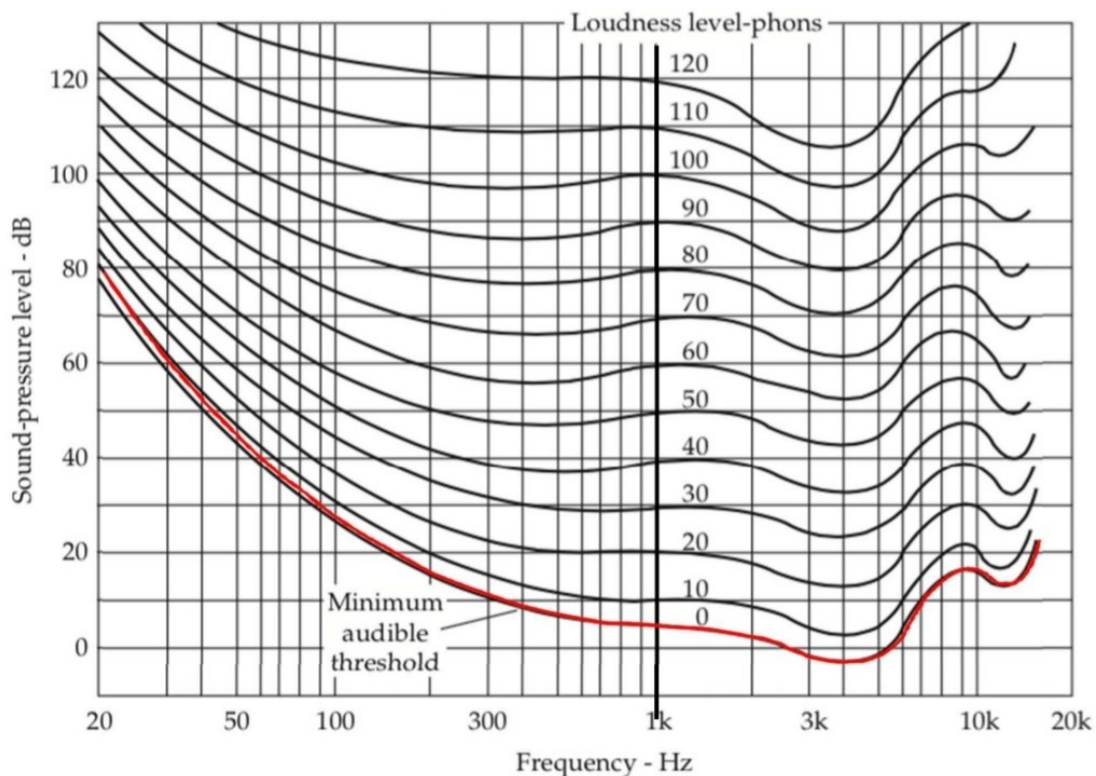


Figura 4 Le isofoniche di Fletcher e Munson

Il livello di loudness stima la rumorosità acustica percepita ed ha come unità di misura il phon, 1 phon corrisponde al livello di pressione sonora di un'onda piana che incide frontalmente, con frequenza 1 kHz, in campo libero. Quindi un tono puro con frequenza 1 kHz e un livello di pressione sonora di 70 dB, avrà un livello di loudness pari a 70 phon. La curva inferiore d'isofonia, quella a 3 phon, corrisponde alla soglia limite di udibilità. Le curve fino a 20 phon tendono ad essere parallele alla curva soglia limite di udibilità, mentre quelle superiori si scostano, decrescendo di meno all'aumentare della frequenza. Di conseguenza alle basse frequenze, a pari aumento di pressione sonora, corrisponde un maggiore aumento del livello di loudness rispetto a quanto accada alle alte frequenze. Inoltre, alle basse frequenze, le curve di isofonia decrescono meno all'aumentare del livello di pressione sonora, infatti, per un tono di 50 Hz, 50 dB corrispondono a circa 20 phon, 110 dB corrispondono a circa 100 phon. Un comportamento simile si ha anche alle alte frequenze, dove però la nostra sensibilità è maggiore, infatti, la differenza fra dB e phon è inferiore rispetto a quella riscontrabile alle basse frequenze. Dalle curve è anche facilmente osservabile come, a parità di dB, un tono appare tanto più intenso quanto più la sua frequenza è elevata. Se a 50 Hz, 50 dB corrispondono a circa 20 phon, a 10 kHz corrispondono circa a 40 phon.

In campo diffuso il suono ha provenienza omnidirezionale, ma il nostro sistema uditivo non ha la medesima sensibilità nelle diverse direzioni; inoltre la dipendenza dalla direzione è influenzata anche dalla frequenza. Di conseguenza le curve di isofonia in campo diffuso sono differenti da quelle in campo libero. In figura 4.14 è riportata la correzione da applicare a suoni in campo diffuso. La correzione è nulla fino a 200 Hz, arriva a circa -3db a 1kHz, +2 dB a 2.5 kHz e decresce fino a -5 dB a 10 kHz. Questo implica che, a parità di phon generati, un tono con frequenza 1 kHz in campo diffuso, necessita di 3 dB Spl in meno rispetto ad uno in campo libero. Il livello di loudness dipende fortemente anche dalla larghezza di banda del rumore, dal contenuto in frequenza e dalla durata temporale, quindi per toni complessi è sbagliato ricondurre le curve di isofonia ad una pesatura del livello di pressione sonora secondo la scala A, invece può essere accettabile per toni a banda stretta. Nella seguente figura è riportata l'attenuazione in db in campo diffuso al variare della frequenza, per avere pari livello di loudness.

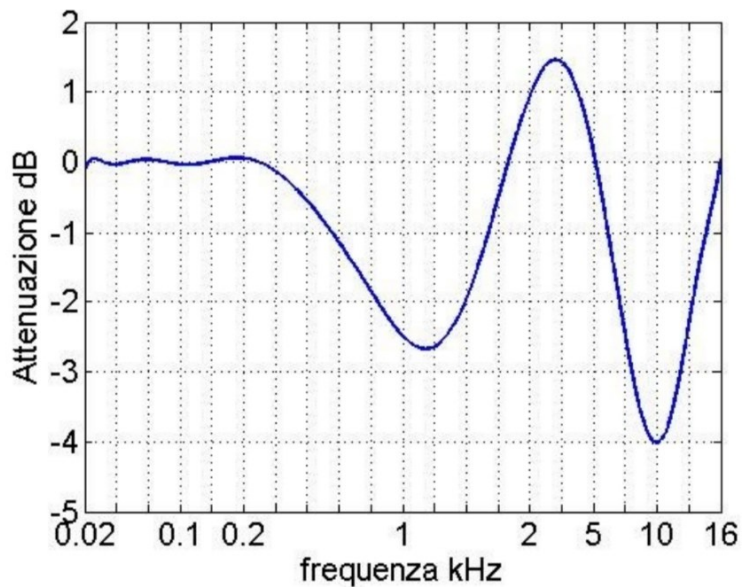


Figura 5 Attenuazione in dB da applicare in campo diffuso

La loudness, a differenza del livello di loudness, è un indice soggettivo per la comparazione dell'intensità sonora di un qualunque rumore, rispetto ad uno di riferimento. La sua unità di misura è il sone, 1 sone equivale all'intensità sonora di un tono con frequenza 1 kHz avente 40 dB Spl, in campo libero. L'andamento della loudness è stato valutato tramite prove di ascolto, il cui scopo era quello di individuare un rapporto deterministico fra l'intensità percepita, utilizzando due toni di pari frequenza, ma con differente livello di pressione sonora. Dai risultati, per un tono con frequenza 1 kHz, è emerso che per generare una sensazione di raddoppio dell'intensità sonora, è necessario un incremento di 10 dB rispetto al tono di riferimento, se quest'ultimo ha un livello di pressione sonora maggiore di 40 dB, in caso contrario è sufficiente un aumento inferiore.

Alla frequenza di 1 kHz servono circa 5 dB di Spl in più per ottenere un raddoppio del livello di intensità acustica se il tono base ha 20 dB, mentre ne servono 10 se quest'ultimo ha 40 o più dB di Spl. Per definizione alla soglia minima di udibilità corrisponde un valore di 0 sone, quindi per una frequenza di 1 kHz, 0 sone corrispondono a 3 dB Spl e di conseguenza a 3 phon.

Per la frequenza di 1kHz si può utilizzare questa equazione approssimata:

$$N \approx 2^{\frac{L-40}{10}}$$

Dove N è il livello di loudness in sone, mentre L è il livello di pressione sonora in dB. L'equazione deriva dalla seguente relazione:

$$N = \frac{1}{16} \left(\frac{I_{1kHz}}{I_0} \right)^{0.3}$$

Mentre per un suono UEN, cioè in grado di generare un livello di eccitazione, e quindi di loudness, costante su tutte e 24 le bande critiche vale la seguente relazione:

$$N = \frac{2}{3} \left(\frac{I_{UEN}}{I_0} \right)^{0.23}$$

Dove I rappresenta il livello di intensità sonora, $I_0=10^{-12}$ W/m².

La loudness specifica, indicata con N', rappresenta il valore di loudness calcolato sulle singole bande critiche, la sua unità di misura è sone/Bark. Integrandola su tutte le bande critiche si ricava la loudness complessiva, come mostrato nel seguente integrale:

$$N = \int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz$$

La loudness viene calcolata partendo dalla distribuzione delle componenti spettrali sulle bande critiche, dalle quali viene ricavato il livello di eccitazione prodotto, da quest'ultimo si ricava la specific loudness, che una volta integrata, su tutte le bande critiche, dà in uscita il valore di loudness. Il passaggio dal livello di eccitazione, sulla banda critica, alla specific loudness, avviene seguendo la legge di Stevens, la quale afferma che le sensazioni di intensità vengono percepite secondo un elevamento a potenza, che può essere scritto come segue:

$$\frac{\Delta N'}{N' + N'_{gr}} = k \frac{\Delta E}{E + E_{gr}}$$

Dove N' rappresenta la specific loudness, $\Delta N'$ il suo incremento, entrambi correlati al livello di eccitazione E e il suo incremento ΔE , tramite la costante k . N'_{gr} e E_{gr} sono i valori di loudness specifica e di eccitazione, prodotti da un tono con un livello di pressione sonora pari alla curva limite di udibilità, sulla medesima banda critica. Il valore E_{gr} viene calcolato passando per E_{TQ} , cioè il valore di eccitazione prodotto da un suono il cui spettro è identico alla curva di soglia minima di udibilità; s è il rapporto fra l'intensità di tale suono e l'intensità del tono che, sulla banda critica di interesse, produce il valore E_{gr} :

$$E_{gr} = E_{TQ}/s$$

Trasformando l'equazione 4.14 in una differenziale, ponendo come condizione a contorno che al valore di $E=0$ corrisponde $N'=0$, si può scrivere:

$$N' = N'_{gr} \left[\left(1 + \frac{sE}{E_{TQ}} \right)^k - 1 \right]$$

Utilizzando un valore di riferimento per la specific loudness, N'_0 , si può scrivere:

$$N' = N'_0 \left(\frac{E_{TQ}}{SE_0} \right)^k \left[\left(1 + \frac{SE}{E_{TQ}} \right)^k - 1 \right]$$

Nell'immagine seguente è rappresentata l'andamento della loudness in funzione della frequenza per orecchio destro e sinistro:

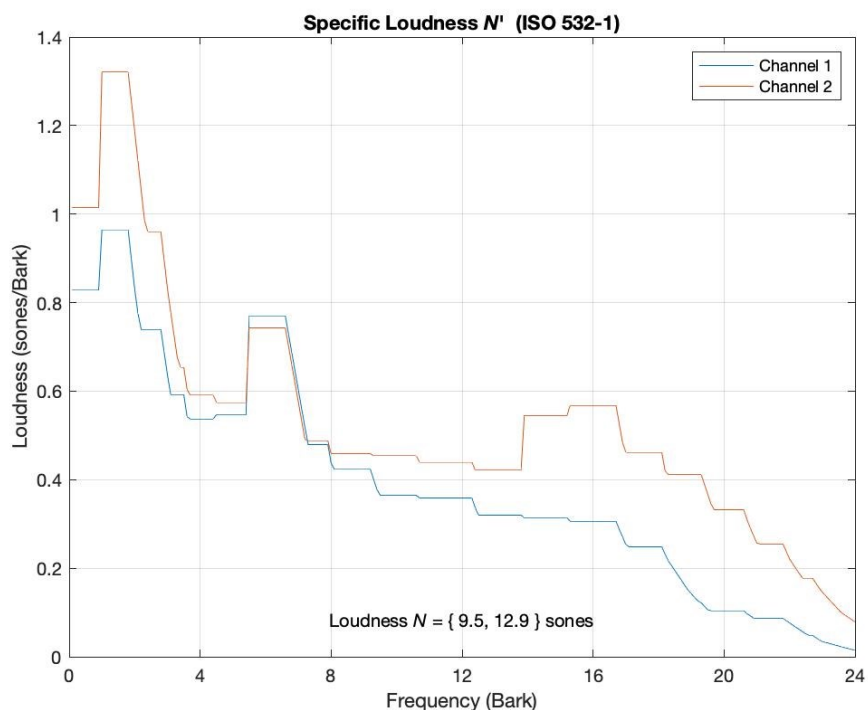


Figura 6 Andamento della Loudness specifica in funzione della frequenza

Fluctuation Streight

La fluctuation strength si presenta in un suono, sia a banda larga che in un tono puro, quando questo subisce una modulazione in ampiezza, con una frequenza di modulazione inferiore ai 20 Hz. La sua unità di misura è il vacil; 1 vacil è generato da un tono con

frequenza 1 kHz avente 60 dB Spl, modulato al 100% in ampiezza, con una frequenza di modulazione pari a 4 Hz.

La fluctuation strength è fortemente influenzata da:

- frequenza di modulazione
- livello di pressione sonora
- ampiezza di modulazione
- frequenza centrale per un tono puro

A parità di altre condizioni, il massimo di fluctuation strength lo si ha per una frequenza di modulazione pari a 4 Hz, corrispondenti a 4 sillabe al secondo, quello che avviene in una normale conversazione. All'aumentare del valore Spl del suono, sia a banda larga, che in presenza di un tono puro, la fluctuation strength cresce. Cresce anche all'aumentare dell'ampiezza di modulazione. Invece al variare della frequenza centrale del tono puro (ovviamente non vale per rumori a banda larga), si ha un massimo intorno ad 1 kHz e decresce allontanandosi. Generalmente la fluctuation strength viene modellata come in figura:

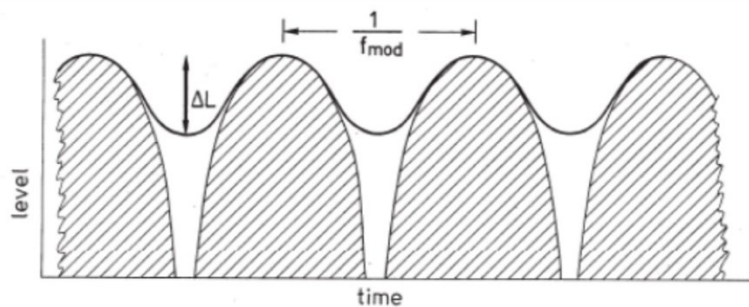


Figura 7 Modello per fluctuation strength e roughness

ΔL rappresenta la profondità di modulazione del modello di mascheramento temporale (linea nera più spessa), di un suono modulato in ampiezza con andamento sinusoidale (area tratteggiata). ΔL è quindi la differenza fra il livello massimo e minimo del mascheramento temporale, non va confuso con la profondità della modulazione in ampiezza, che in figura è rappresentata dall'altezza dell'area tratteggiata. La profondità in ampiezza della modulazione è un parametro fisico, al contrario il ΔL ne è la quota parte percepibile, dipendente sia dalla frequenza che dalla profondità della modulazione. Una relazione fra la fluctuation strength (F), ΔL e la frequenza di modulazione è la seguente:

$$F \sim \frac{\Delta L}{\left(\frac{f_{mod}}{4Hz}\right) + \left(\frac{4Hz}{f_{mod}}\right)}$$

Questa relazione può anche essere espressa come integrale sulle bande critiche, questo permette di controllare la variazione del ΔL con la frequenza, soprattutto in presenza di toni puri, e la sua dipendenza per modulazioni in frequenza:

$$F = \frac{0.08 \int_0^{24Bark} \left(\frac{\Delta L}{dB Bark}\right) dz}{\left(\frac{f_{mod}}{4Hz}\right) + \left(\frac{4Hz}{f_{mod}}\right)}$$

Esprimendo invece il ΔL come rapporto fra loudness specifica massima e minima del mascheramento temporale, cioè $4\log(N'_{MAX}/N'_{MIN})$ si può scrivere:

$$F = 0.032 \frac{\int_0^{24Bark} \text{Log}_{10} \frac{N'_{max}}{N'_{min}} \frac{dz}{Bark}}{\frac{T}{0.25s} + \frac{0.25s}{T}}$$

Nella figura sottostante viene rappresentato l'andamento della fluctuation strength per orecchio destro e sinistro:

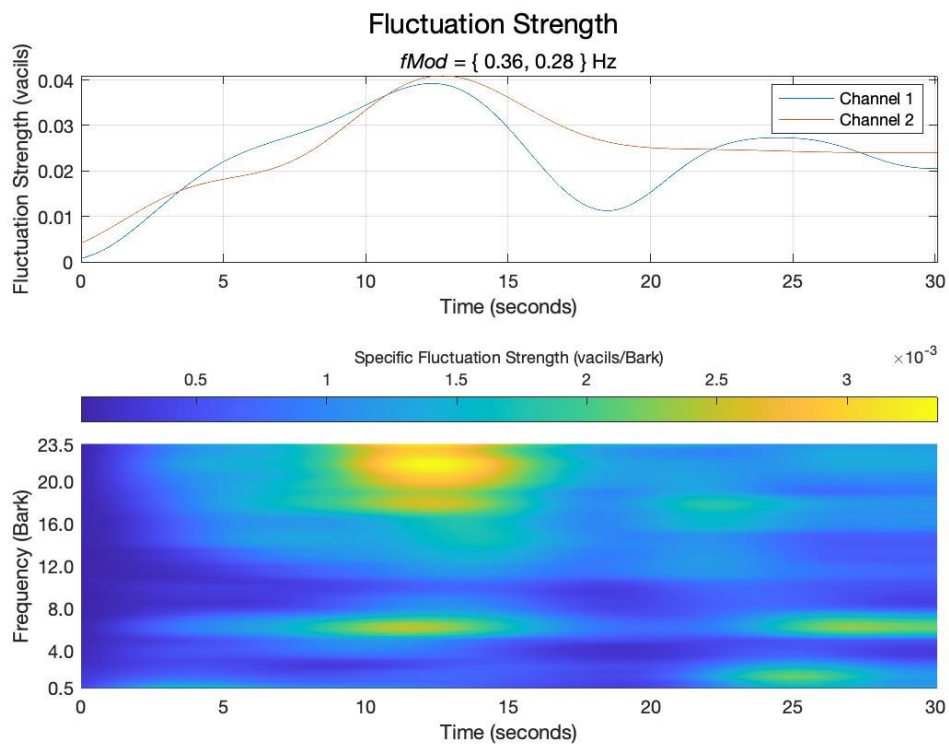


Figura 8 Andamento della fluctuation strength per orecchio destro e sinistro

Roughness

La roughness è una sensazione percepibile alla presenza di modulazione in ampiezza e in frequenza di un suono, sia a banda larga, sia a banda stretta, ma con frequenze di modulazione più elevate. Generalmente è presente roughness quando la frequenza di modulazione in ampiezza è nel range compreso fra i 15 e i 300 Hz, con un picco intorno ai 70 Hz. La sua unità di misura è l'asper, 1 asper è generato da un tono di frequenza 1 kHz con livello Spl pari a 60 dB, modulato al 100% in ampiezza, con una frequenza di modulazione pari a 70 Hz.

La roughness, per suoni modulati in ampiezza dipende da:

- frequenza di modulazione
- grado di modulazione

La roughness, per suoni modulati in frequenza dipende da:

- frequenza di modulazione del tono puro

All'aumentare del grado di modulazione in ampiezza, aumenta il valore in asper della roughness, il legame è esponenziale con potenza pari a 1.6 per un tono puro, mentre per rumori a banda larga l'esponente decresce fino a 1.3.

Nella figura viene riportato l'andamento della roughness con il grado di modulazione:

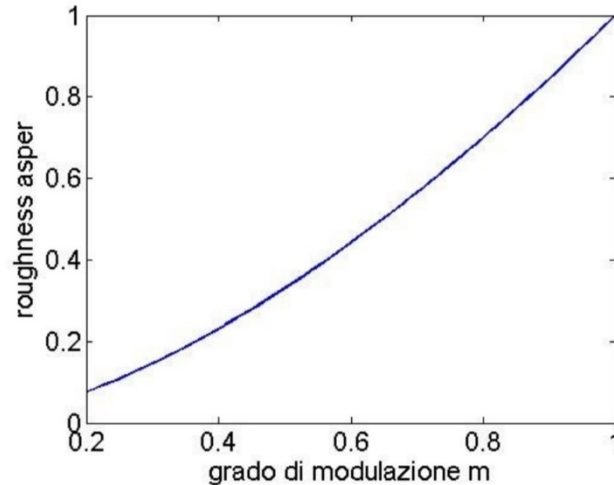


Figura 9 Andamento della roughness con il grado di modulazione, valori in %, per un tono di 1kHz con 60 dB Spl e frequenza di modulazione pari a 70 Hz

Gradi di modulazione in ampiezza inferiori al 20-25%, non danno origine a roughness, o comunque ne generano valori molto bassi tali da poter essere trascurati. Variando sia la frequenza di modulazione in ampiezza che la frequenza centrale del tono puro, modulando al 100% in ampiezza, si nota che al crescere della frequenza centrale del tono, aumentano sia il massimo valore di roughness raggiungibile, che la frequenza di modulazione per la quale si ha il valore massimo in asper; questo vale per frequenze centrali del tono inferiori a 1 kHz, qui la frequenza di modulazione per la quale si ha il massimo valore in asper è pari 70 Hz, quando per un tono di 250 Hz è pari a circa 50 Hz. Per toni con frequenza superiore ad 1 kHz, il massimo valore di roughness ottenibile decresce all'aumentare della frequenza del tono, il suo valore massimo lo si ottiene per frequenze di modulazione pari a 70 Hz. Questo comportamento, variabile con la frequenza del tono, è spiegabile con l'andamento delle bande critiche in funzione della frequenza, per le basse frequenze, con la risoluzione temporale del nostro sistema uditivo per le alte frequenze. Poniamoci a 250Hz, qui la larghezza di banda critica è pari a 100 Hz, raggiungibile con una modulazione in frequenza di 50 Hz partendo dalla frequenza centrale di banda (250 Hz appunto), spingendosi oltre si sfora nelle bande critiche vicine, andando a ridurre la sensazione di roughness. Alle alte frequenze, le larghezze di banda sono maggiori, conseguentemente prima di sfiorare nelle bande critiche vicine si ha una riduzione di roughness per un eccessivo aumento della frequenza di modulazione. Alle

alte frequenze, la diminuzione di roughness è anche provocata dalla risoluzione temporale insufficiente del nostro sistema uditivo, che non permette di riconoscere correttamente la modulazione in ampiezza fisicamente presente. La roughness ha una scarsa dipendenza con il livello di pressione sonora, in genere per toni puri si ha un raddoppio del valore in asper per un aumento di 40- 50 dB di Spl. La roughness può essere modellata similmente alla fluctuation strength, poiché dipende, sia dalla frequenza di modulazione, che dalla profondità del modello di mascheramento temporale (ΔL); si può quindi scrivere la seguente approssimazione:

$$R \sim f_{mod} * \Delta L$$

Nel seguente grafico è riportata la variazione della roughness al variare della frequenza di modulazione in ampiezza e della frequenza centrale del tono, con modulazione al 100%, livello spl costante pari a 60 db:

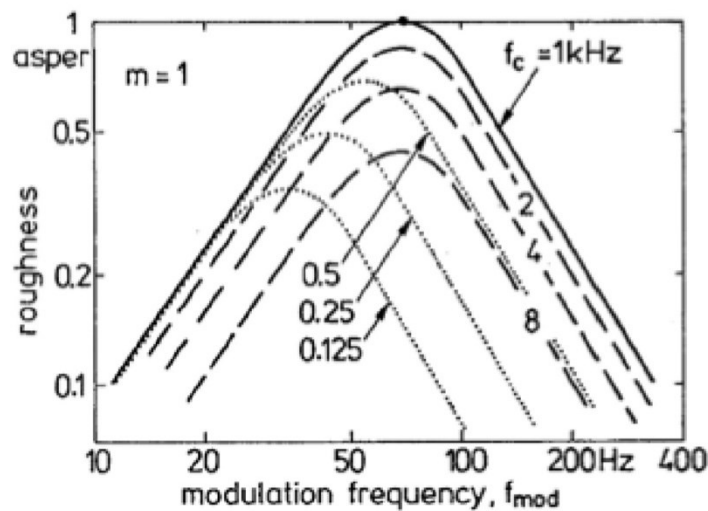


Figura 10 Variazione della roughness al variare della frequenza di modulazione in ampiezza e della frequenza centrale del tono, con modulazione al 100%, livello spl costante pari a 60 dB

Alle basse frequenze di modulazione in ampiezza, il prodotto tenderà a rimanere basso, stesso comportamento si avrà alle alte frequenze di modulazione, poiché, per la risoluzione temporale del nostro sistema uditivo, il ΔL rimarrà contenuto, mentre si ha un massimo per valori della frequenza di modulazione in ampiezza pari a 70 Hz.

Considerando che ΔL varia al variare delle bande critiche, un modello più accurato prevede l'integrazione di tale valore sulle bande di Bark:

$$R = 0.3 \frac{f_{mod}}{kHz} \int_0^{24Bark} \frac{\Delta L(z) dz}{dB/Bark}$$

Sharpness

La sharpness è una sensazione associabile alla tonalità di colore presente nello spettro acustico, un valore corretto ne accentua la piacevolezza, un valore troppo alto rende il suono aggressivo. Dipende principalmente dalla distribuzione, nello spettro acustico, del livello di pressione sonora e quindi di loudness. Può essere pensata come un indice dello sbilanciamento verso le alte frequenze dello spettro acustico. La sua unità di misura è l'acum, 1 acum viene prodotto da un rumore a banda stretta con una frequenza centrale pari a 1 kHz, avente 60 dB Spl. La dipendenza rispetto al livello di pressione sonora è scarsa, infatti, passando da 30 a 90 dB, a parità di altri fattori, la sharpness raddoppia. Per toni puri, la sharpness varia al variare della frequenza centrale del tono. 60 dB Spl con frequenza centrale 1 kHz generano 1 acum, se la frequenza centrale scende a 250 Hz, si hanno solamente 0.25 acum. A parità di altri fattori, la crescita del livello di sharpness è lineare con la frequenza fino a 16 Bark, circa 3 kHz, oltre tale frequenza la crescita diventa esponenziale. Generalmente al crescere del livello di sharpness aumenta la sgradevolezza del suono.

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24Bark} N' g(z) z dz}{\int_0^{24Bark} N' dz}$$

Il denominatore è l'integrale della loudness specifica N' , quindi rappresenta la loudness totale, mentre il numeratore è l'integrale della loudness specifica moltiplicata per il numero della banda di Bark (z), opportunamente pesata per la funzione $g(z)$, che varia al variare della banda critica di interesse. Osservando l'andamento del peso $g(z)$ in funzione delle bande critiche, risulta evidente il marcato incremento di sharpness all'aumentare dello sbilanciamento dello spettro verso le alte frequenze. La curva $g(z)$ è stata costruita secondo la seguente approssimazione:

$$g(z) = 0.00012Z^4 - 0.0056Z^3 + 0.1Z^2 - 0.81Z + 3.51$$

Con $Z \geq 14$

Altrimenti $g(z) = 1$

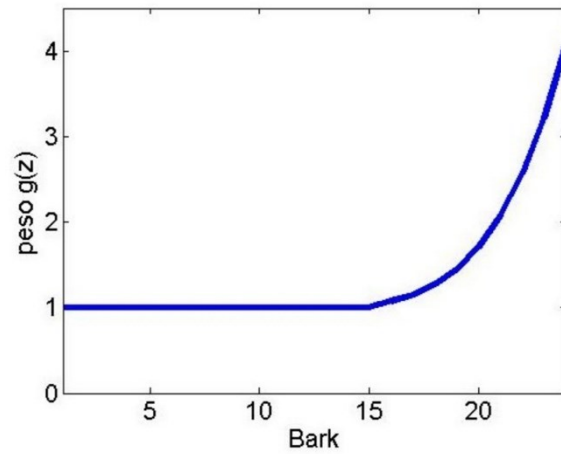


Figura 11 Andamento del peso $g(z)$ al variare del numero di Bark

Un classico esempio di suono con discreti valori di sharpness è quello emesso da grilli e cicale durante i loro canti. Nel seguente grafico è riportato l'andamento della sharpness per orecchio destro e orecchio sinistro:

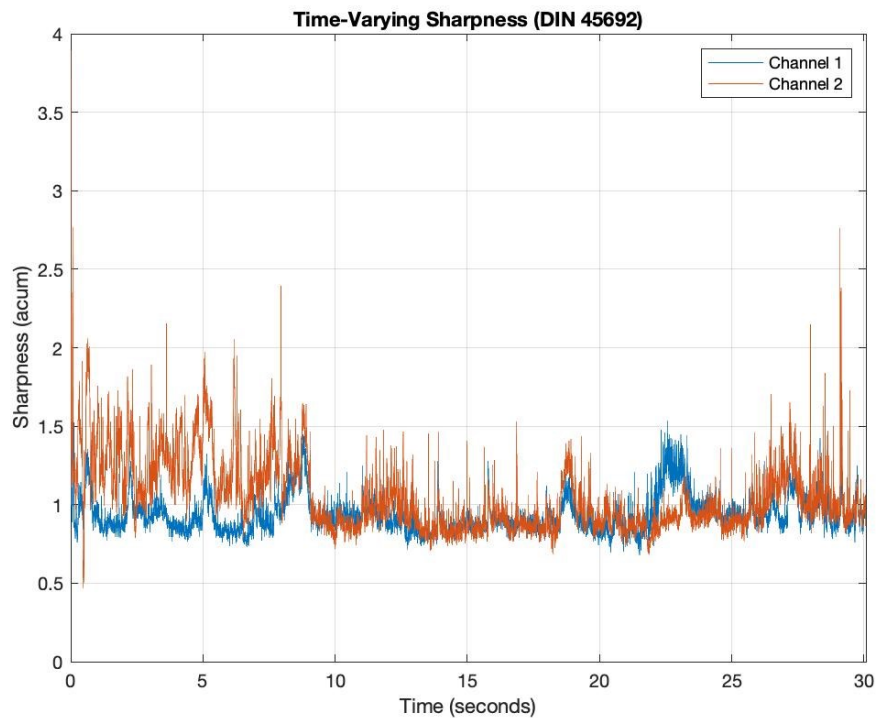


Figura 12 Andamento della sharpness per orecchio destro e sinistro

Tonality

La tonality è un indicatore della presenza di componenti tonali, il cui livello spicca rispetto al livello medio delle frequenze di banda “vicine”. La sua unità di misura è il tu (tonality unit), 1 tu è generato da un tono puro di frequenza 1 kHz, avente 60 dB Spl.

Il livello complessivo di tonality è influenzato da:

- frequenza dei toni puri
- distanza reciproca nello spettro
- livello dipressione sonora rispetto al valore medio di banda

Il primo passo per il calcolo della tonality consiste nell'estrazione dei picchi tonali, confrontando i singoli campioni con i vicini. Se un generico campione S_i , oltre ad avere un livello Spl maggiore dei campioni $S_{i\pm 1}$, è anche maggiore di $S_{i\pm 2}$ e $S_{i\pm 3}$ di almeno 7 dB, tutto il gruppo di 7 campioni, da S_{i-3} a S_{i+3} , viene rimosso dallo spettro, trattato

come un gruppo di toni puri ed utilizzato per il calcolo di altri parametri del modello. La tonality assume la seguente espressione:

$$T = C w_N^{0.79} \sqrt{\sum_{i=0}^{M-l} [w_1(\Delta z_i) w_2(f_i) w_3(L_{\Delta,i})]^2}^{0.29}$$

dove:

$$w_1(\Delta z_i) = \left(\frac{0.13}{\frac{\Delta z}{\text{Bark}} + 0.13} \right)^{1/0.29}$$

$$w_2(f_i) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0.2 \left(\frac{f_i}{0.7 \text{kHz}} + \frac{0.7 \text{kHz}}{f_i} \right)^2}}$$

$$w_3(L_{\Delta,i}) = 1 - e^{-\frac{L_{\Delta,i}}{15 \text{dB}}}$$

$$w_N = 1 - \frac{N_N}{N}$$

$L_{\Delta,i}$ rappresenta il livello delle componenti tonali estratte dallo spettro meno

-valore della soglia minima di udibilità

-valore spl della banda critica dopo la rimozione dello spettro

N rappresenta la loudness originale, mentre N_N la loudness dopo la rimozione delle componenti tonali dallo spettro.

IL SOUNDSCAPE

Il concetto di soundscape (o paesaggio sonoro) fu introdotto dal compositore e docente di musica canadese Raymond Murray Schafer nel suo libro del 1977 “The Tuning of the World” [2], tradotto in italiano nel 1985, egli parte dalla considerazione che, spesso, nella valutazione di un ambiente è preponderante l’aspetto visivo rispetto a quello sonoro e fonda il suo studio sull’interazione uomo-suono ponendosi le seguenti domande: quale rapporto esiste tra l’uomo e il suo ambiente? cosa accade quando questi suoni cambiano? Secondo Schafer il soundscape può essere interpretato come un mediatore tra gli uomini, le loro attività e il loro ambiente. In particolare, egli classificò il soundscape in due tipologie opposte denominate low-fi e high-fi soundscape. In un high-fi soundscape i suoni distintivi che lo compongono non si mascherano tra loro e risultano, quindi, chiaramente percepibili: in tal modo le sorgenti sonore forniscono una “colorazione acustica” all’ambiente e i ricettori sono in grado di associare dei “significati” ai suoni. In un low-fi soundscape, invece, i suoni distintivi sono mascherati e il livello è quasi costante, con la conseguenza che l’ascoltatore tende a isolarsi dall’ambiente. Un approccio dicotomico di questo tipo è sicuramente estremo poiché esistono molte più sfaccettature tra le due tipologie di ambiente sonoro individuato. Con la sua attività Schafer ha contribuito ad indicare la strada a tutte le ricerche che si sono succedute, come testimoniato dalle sempre più numerose pubblicazioni su riviste scientifiche. Il soundscape è un ambiente sonoro con enfasi sulla percezione e comprensione da parte dell’individuo e della società. Il soundscape, pertanto, dipende dalla relazione tra l’individuo e l’ambiente e può riferirsi ad ambienti esistenti o virtuali. Da tale definizione si capisce che la valutazione del paesaggio sonoro non può limitarsi unicamente alla definizione di parametri strettamente acustici, ma, essendo coinvolte le persone e le proprie sensibilità, dovrà tener conto anche di fattori di tipo estetico, geografico, sociale e culturale. Nel 2008 è stata adottata una standardizzazione della valutazione della qualità del paesaggio sonoro, il metodo standardizzato è stato progettato per costruire connessioni tra la qualità del paesaggio sonoro e la percezione acustica del luogo. Essa è descritta dalla normativa ISO/TS 12913, divisa in parte 1 e parte 2. Nella parte 1 la norma fornisce una definizione e una impostazione concettuale del paesaggio sonoro. Illustra i fattori riguardanti la misura e il reporting negli studi sul paesaggio sonoro, così come quelli per la pianificazione, progettazione e gestione del paesaggio sonoro stesso. La “misurazione” di un paesaggio sonoro è una grande sfida in quanto esso presenta molte sfaccettature. In generale, un soundscape deve essere misurato e valutato attraverso la percezione umana del relativo ambiente acustico. La soundwalk è il metodo empirico maggiormente usato per identificare un paesaggio sonoro con le sue componenti. Lo scopo essenziale di una passeggiata sonora è incoraggiare i partecipanti ad ascoltare in maniera attenta per poi poter esprimere giudizi sui suoni ascoltati. La parte 2 della normativa è una ISO/TS dove per TS si intende “Technical Specification”. Un TS viene utilizzato lì dove la scienza sta emergendo e sono necessarie ulteriori ricerche per fornire

le prove che lo faranno diventare a tutti gli effetti una ISO. Nel caso del soundscape non esiste un modello di riferimento e quindi nella parte 2 si fa riferimento a un determinato TS. Ci sono 4 annessi: A, B, C, D. Nel nostro caso non faremo riferimento all'annesso C.

Il metodo A: utilizza un questionario per raccogliere dati su come le persone percepiscono l'ambiente acustico in cui si trovano. Le domande vengono presentate e i partecipanti segnano la loro percezione su una scala ordinata di valori che vanno crescendo o decrescendo. In figura è riportato un piccolo esempio:

Overall, how would you describe the present surrounding sound environment?				
Very good	Good	Neither good nor bad	Bad	Very bad
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura 13 Esempio domanda questionario secondo il metodo A della normativa ISO/TS parte 2

Il metodo B: è molto simile al metodo A ma la differenza sta nel tipo di scala in cui i partecipanti esprimono la propria idea, di seguito viene mostrato un piccolo esempio:

How loud is it here?				
Mark your impression at any location on the scale below.				
not at all	slightly	moderately	very	extremely

Figura 14 Esempio domanda questionario secondo il metodo B della normativa ISO/TS parte 2

L'annesso D riguarda la parte delle misurazioni fisiche e specifica come eseguire misurazioni binaurali mediante il sistema della testa artificiale. Le registrazioni realizzate mediante sistemi binaurali simulano nel migliore dei modi il suono, fanno sembrare che l'ascoltatore umano fosse lì sul posto. Grazie all'analisi statistica delle risposte ai questionari, si può instaurare una relazione tra le risposte soggettive e le misurazioni oggettive. L'analisi dei dati spesso viene eseguita attraverso una regressione lineare, ma l'analisi dei dati è oggetto della parte 3 della normativa.

Nello schema a blocchi sotto riportato è presente una schematizzazione della normativa 12913:

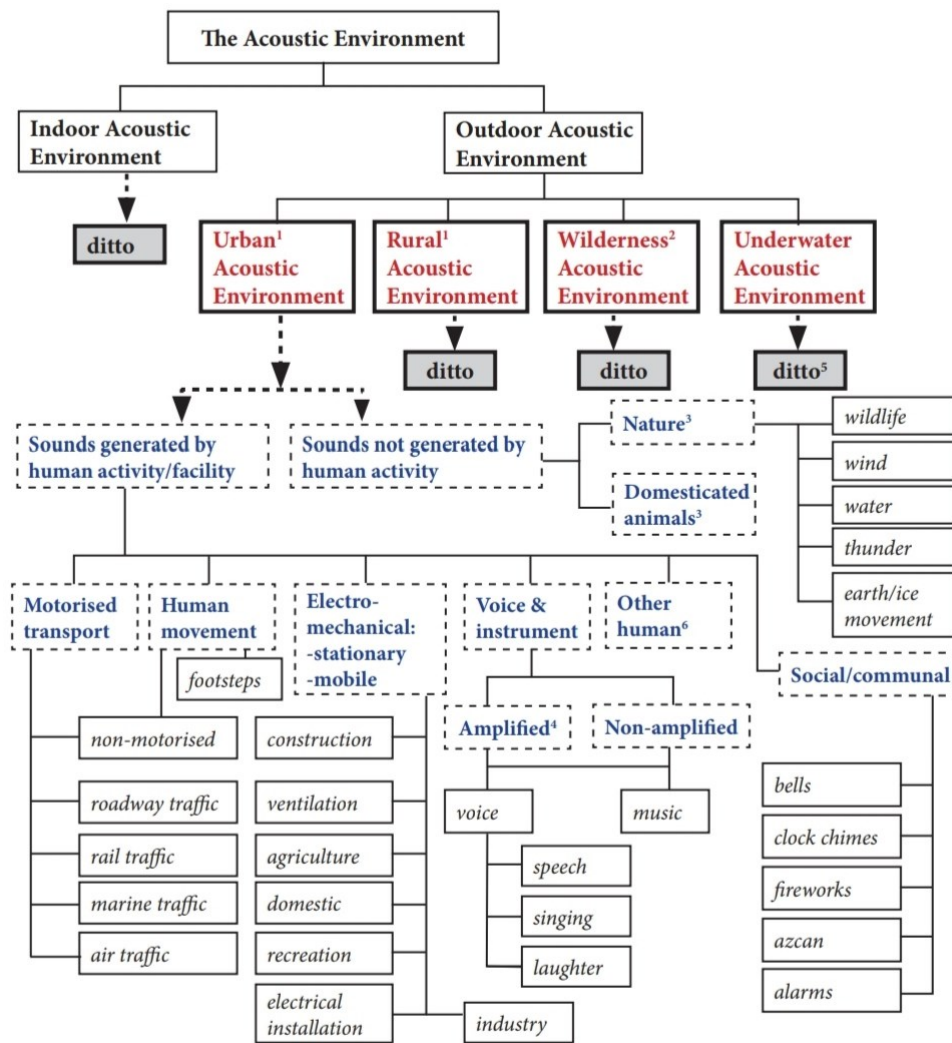


Figura 15 Schematizzazione della normativa ISO 12913

METODOLOGIA ADOTTA E CLUSTERIZZAZIONE DEL LUOGO DI INTERESSE

Clusterizzazione del Porto di Ancona

Si è scelta come zona l'area portuale della città di Ancona ove effettivamente è consentita la circolazione al pubblico. Una volta scelto il luogo con criterio è stato necessario effettuare una sua clusterizzazione per determinare i punti precisi in cui effettuare le misurazioni. Di seguito sono riportati i vari cluster del porto:



Figura 16 Vista del porto dal Parco della Cittadella



Figura 17 Divisione aree porto di ancona (vista dall'alto)

AREE PORTO DI ANCONA

1	Porto storico
2	Nuovo porto commerciale
3	Ampliamento nuovo porto commerciale
4	Porto turistico
5	Porto peschereccio
6	Cantieri navali
7	Lato orientale molo nord
8	Cantieristica minore
9	Produzione di beni e servizi
10	Parco ferroviario
11	Servizi tecnici
12	Parcheggio polmone
13	Fronte mare della città
14	Polo di servizi urbani

Tabella 1 Aree del Porto di Ancona

1. PORTO STORICO

- $St = Sf = 181.630 \text{ mq}$
- $Lfe = 0,54 \text{ mc/mq}$
- $V = 97.200 \text{ mc}$
- $Sc = 12.150 \text{ mq}$

Il "Porto Storico" è localizzato nella parte nord-orientale dell'intero ambito portuale. Procedendo in senso orario, a partire dall'estremo molo a Nord, il "Porto storico" investe le seguenti aree a terra:

- Area del molo nord sopraccitato;
- Area del molo Clementino;
- Area del molo Rizzo;
- Area del molo Wojtila;
- Area del molo Santa Maria;
- Area del molo XXIX settembre;

2. NUOVO PORTO COMMERCIALE

- $St = Sf = 486.020 \text{ mq}$
- $Lfe = 0,78 \text{ mc/mq}$
- $V = 379.100 \text{ mc}$
- $Sc = 26.000 \text{ mq}$

Il Nuovo Porto Commerciale, localizzato nella parte centrale dell'ambito portuale, occupa le banchine a ovest del Porto Storico. Si tratta dell'ampliamento in direzione sud-ovest dell'area portuale prevista nel Piano Regolatore Portuale vigente e li denominata "porto nuovo".

3. AMPLIAMENTO NUOVO PORTO COMMERCIALE

- $St = 251.530 \text{ mq}$
- $Sf = 234.080$
- $Lfe = 3,82 \text{ mc/mq}$
- $V = 894.800 \text{ mc}$
- $Sc = 168.790 \text{ mq}$

L'area, localizzata nel cuore dell'intero ambito portuale, investe la parte nord dell'ex ZIPA (Zona Industriale Portuale di Ancona). Confina a nord e a est con l'area "Nuovo Porto Commerciale";

A ovest è delimitata dal fosso Conocchio, a sud dall'area "Polo di Servizi urbani". Attualmente essa ospita attività industriali e artigianali, attività commerciali e logistiche e servizi tecnologici. Contempla, inoltre, alcune aree dismesse. L'area è destinata alle attività previste per il contiguo Nuovo Porto Commerciale, in vista dello sviluppo programmato del traffico marittimo.

4. PORTO TURISTICO

Il Porto Turistico è localizzato nella parte occidentale dell'intero ambito portuale. Il suo completamento rappresenta una delle azioni di piano volte all'ottimizzazione dell'uso degli spazi portuali. Sulle tavole di piano è indicato l'ambito entro il quale il porto dovrà essere realizzato.

5. PORTO PESCHERECCIO

Il Porto Peschereccio è previsto in continuità al Porto Turistico. È necessaria la definizione di un'area portuale destinata unicamente alle flotte delle navi da pesca, date le peculiarità che gli accosti di tale tipo di imbarcazione richiedono. Sulle tavole di piano è indicato l'ambito entro il quale il porto dovrà essere realizzato.

6. CANTIERI NAVALI

- $St = Sf = 322.620 \text{ mq}$
- $Lfe = 3,59 \text{ mc/mq}$
- $V = 1.159.500$
- $Sc = 67.750 \text{ mq}$

L'area Cantieri Navali è localizzata nell'estremità nord-orientale dell'ambito portuale. È un'area demaniale situata sull'estrema propaggine nord del promontorio di Monte Conero. È stata data in confessorio alla Fincantieri fino al 2022.

7. LATO ORIENTALE MOLO NORD

- $St = Sf = 26.720 \text{ mq}$
- $lfe = 0,0 \text{ mc/mq}$
- $V = 0 \text{ mc}$

- $Sc = 0$ mq

La riorganizzazione del fronte mare dell'ambito portuale in vista delle previsioni di sviluppo contemplate nel piano, comporta la realizzazione del lato orientale del Molo Nord. Si tratta di una nuova vasta area, affacciante sulla darsena Fincantieri, atta ad ospitare alcune delle attività che attualmente sono svolte sul molo Nord.

8. CANTIERISTICA MINORE

- $St = 153.360$ mq
- $Sf = 119.880$ mq
- $lfe = 4,5$ mc/mq
- $V = 539.300$ mc
- $Sc = 45.880$ mq

L'area comprende attività produttive e servizi direttamente connessi con il trasporto marittimo; negli ultimi anni si sono realizzati importanti interventi di rinnovo degli impianti esistenti, specialmente per la produzione di yacht di elevata dimensione.

9. PRODUZIONE DI BENI E SERVIZI

- $St = 108.500$ mq
- $Sf = 93.460$ mq
- $lfe = 2,97$ mc/mq
- $V = 277.800$ mc
- $Sc = 34.020$ mq

L'area fa parte dell'ex Zipa e comprende attività produttive prevalentemente artigianali e industriali, interessate negli ultimi anni da significativi interventi di rinnovo.

10. PARCO FERROVIARIO

- $St = Sf = 376.860$ mq
- $lfe = 1,12$ mc/mq
- $V = 423.800$ mc
- $Sc = 53.570$ mq

Il parco ferroviario comprende gli spazi destinati attualmente a sedi ferroviarie e ai relativi servizi e impianti, ivi comprese attività direzionali di carattere pubblico e/o privato, attività amministrative e di rappresentanza.

11. SERVIZI TECNICI

- $St = Sf = 35.280$ mq
- $lfe = 0,09$ mc/mq
- $V = 3.200$ mc
- $Sc = 470$ mq

L'area di proprietà comunale destinata ad impianti di depurazione per la città di Ancona è ubicata tra il parco ferroviario e l'ex Zipa.

12. PARCHEGGIO POLMONE

- $St = Sf = 47.460$ mq
- $lfe = 0,49$ mc/mq
- $V = 23.100$ mc
- $Sc = 10.090$ mq

L'incremento del traffico marittimo registrato negli ultimi anni e quello ulteriore previsto dagli scenari di crescita indicati dal presente Piano, rendono necessario e urgente, al fine di limitare l'impatto ambientale determinato dal traffico dei TIR, la realizzazione di un parcheggio polmone in prossimità del grande svincolo di collegamento tra l'area portuale e la grande viabilità esterna della città.

13. FRONTE MARE DELLA CITTA'

- $St = 73,560$ mq
- $V = 226.500$ mc
- $Sc = 18.410$ mq

Il Fronte Mare della Città costituisce l'ambito di interconnessione tra la città e il porto. L'area comprende un insieme di volumi edilizi con varie caratteristiche, di grande importanza culturale ma anche alcuni edifici di nessun valore architettonico e spesso in cattivo stato di manutenzione, nonché un insieme di spazi aperti di interconnessione

14. POLO SERVIZI URBANI.

- $St = 128.960 \text{ mq}$
- $V = 269.800 \text{ mc}$
- $Sc = 28.980 \text{ mq}$

L'area destinata al polo dei servizi urbani comprende la Mole Vanvitelliana, il mercato ittico, l'edificio della Fiera di Ancona e la parte terminale dello scalo ferroviario, denominato scalo Marotti.

Selezione cluster per la misura

I cluster scelti per effettuare le misurazioni nell'intera area portuale sono 8. Sono i luoghi di maggiore importanza e soprattutto accessibili a tutte le persone. I primi 5 cluster si trovano nell'area del Porto antico, ovvero l'area più "viva" dell'intero porto. Esso occupa tutta la parte nord-orientale del porto e comprende vari moli e attrazioni storiche come la Portella della Dogana, l'Arco di Traiano e l'Arco Clementino. Il C6 è situato nei pressi della Mole Vanvitelliana, luogo che per tutto l'anno viene usato per ospitare mostre ed altri eventi culturali. Il cluster 7 (C7) e 8 (C8) sono situati nel Porto Turistico. Esso è situato a sud-ovest del porto ed è capace di ospitare 1320 posti barca, 23 pontili ma anche locali, ristoranti e negozi.

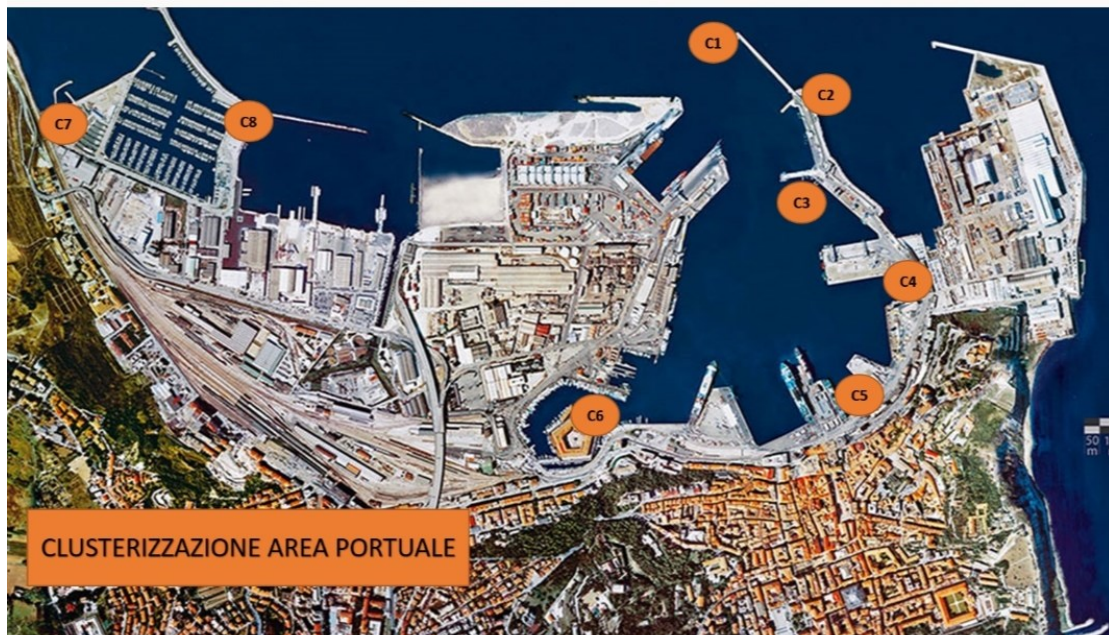


Figura 18 Clusterizzazione area portuale

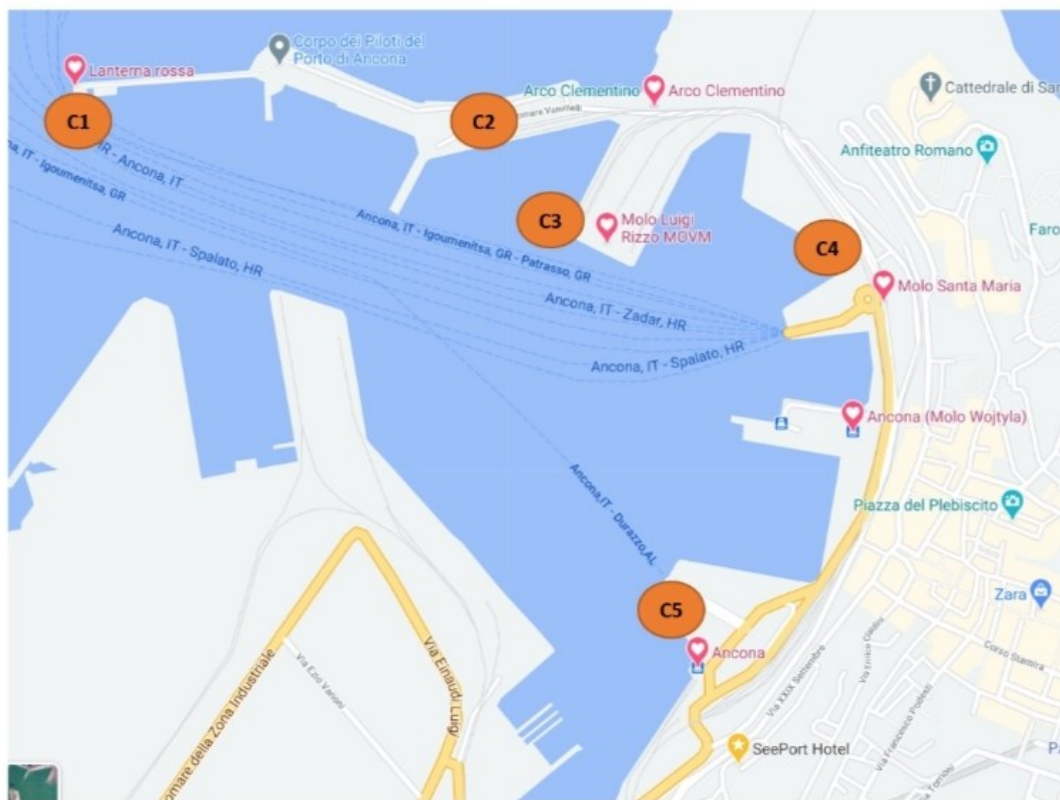


Figura 19 Cluster area Porto Antico

C1	Area del molo nord (LANTERNA)
C2	Area del molo Clementino
C3	Area del molo Rizzo
C4	Area del molo Santa Maria
C5	Area del molo XXIX Settembre

Tabella 2 Elementi cluster zona Porto Antico

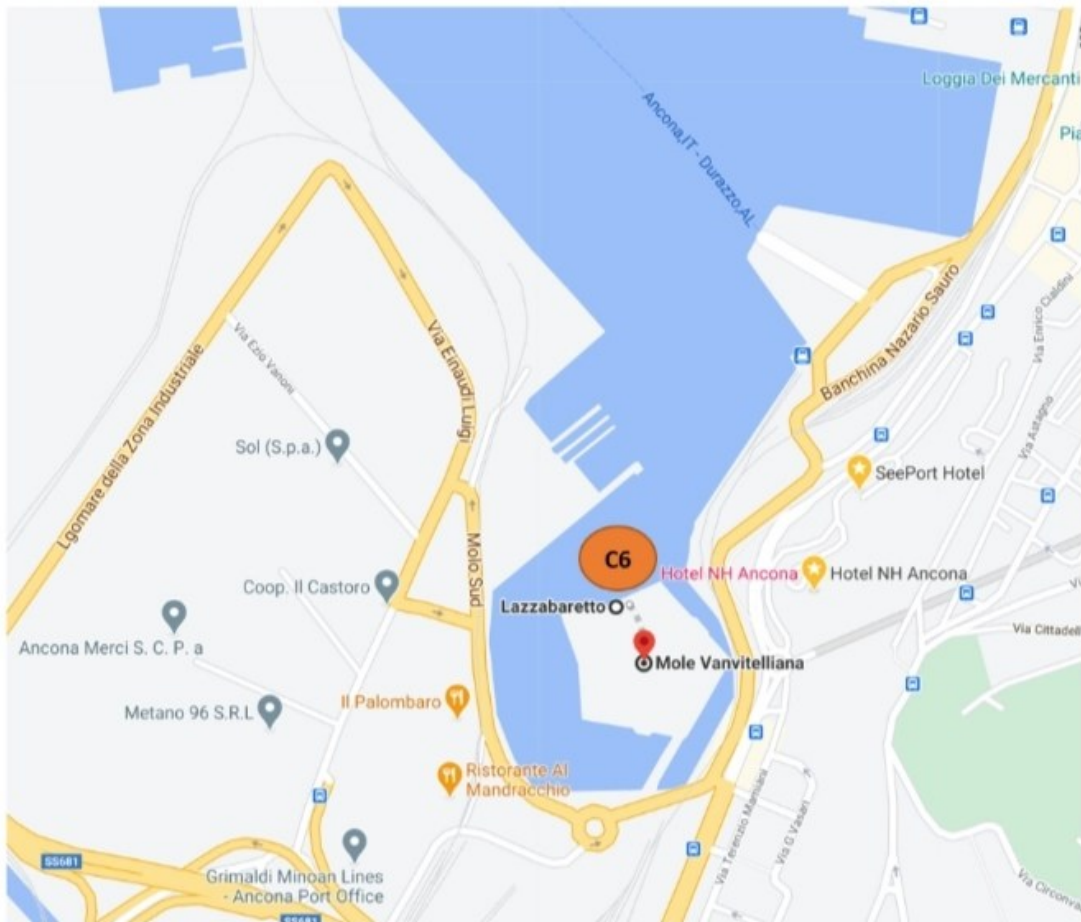


Figura 20 Cluster Area funzioni Urbane

C6	Lazzaretto
----	------------

Tabella 3 Elementi cluster zona area funzioni urbane

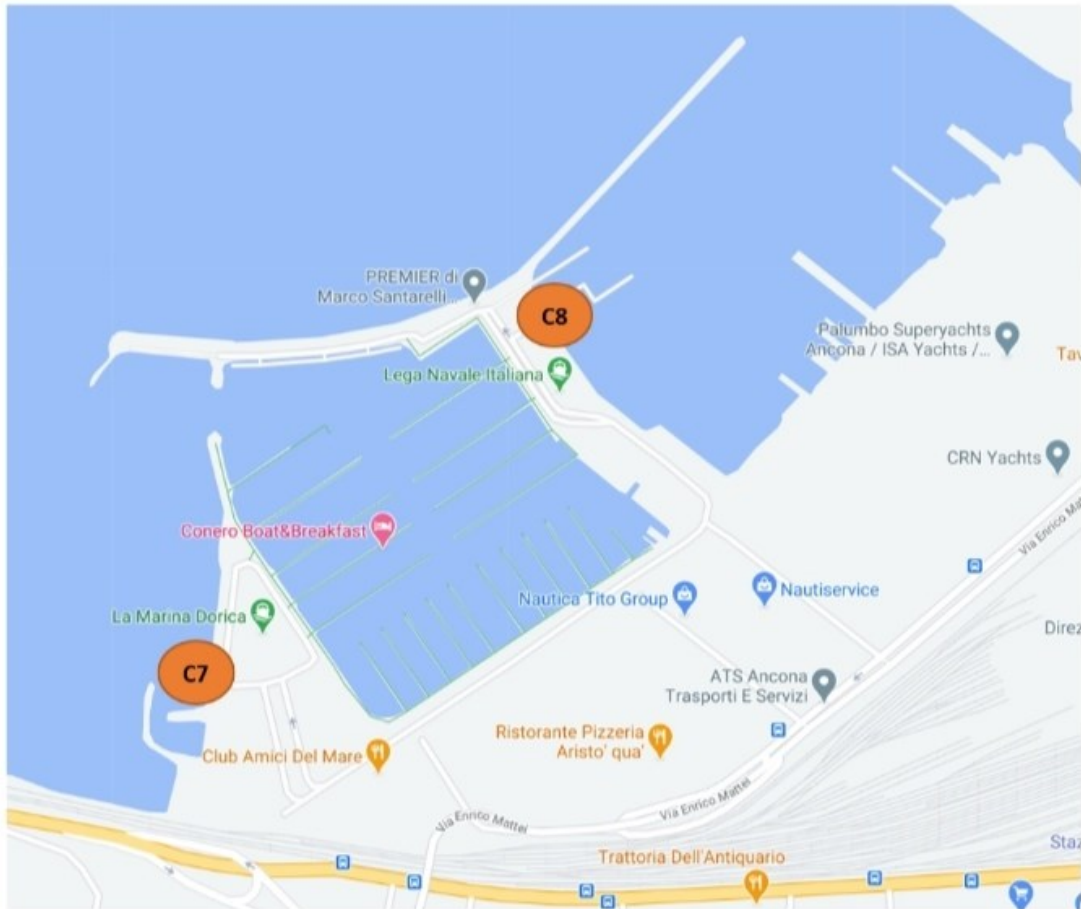


Figura 21 Cluster Porto Turistico

C7	Area della vela (marina dorica)
C8	Area lega navale

Tabella 4 Elementi cluster zona Porto turistico

Misure Oggettive

Il metodo di misura per l'analisi del Soundscape è standardizzato nella ISO 12913-2, come precedentemente accennato l'analisi non è stata effettuata rispettando i principi del soundwalk per motivi legati al COVID-19. Si è scelto di operare in modo diverso. Per il rilievo e la memorizzazione della rumorosità ambientale si è proceduto con registrazioni binaurali, non durante passeggiate sonore, ma in posizioni fisse prescelte. Tali registrazioni sono state eseguite mediante cuffia microfonica binaurale indossata da un operatore, in particolare cuffie binaurali Roland CS-10EM collegati a Zoom H4n (registratore multicanale in mode Binaural 96KHz):



Figura 22 Strumentazione utilizzata per la misurazione

Si è scelto di sostituire l'utilizzo di una testa binaurale con la cuffia per rendere la misura più dinamica e soprattutto avere maggiore controllo della scena acustica. Con l'utilizzo della cuffia, l'operatore sarà più coinvolto nel momento della misura e si pensa che i risultati che si ottengono con questo tipo di approccio siano quanto più correlabili con i questionari a seguire.

Come fare la misura:

- 1- Assicurarsi che le condizioni meteo siano favorevoli (alias non deve piovere, non deve tirare vento > 3 m/s);
- 2- Posizionarsi nei cluster stabiliti ed effettuare una registrazione di 32 s (se possibile farla di 35 s in tal modo che possiamo eliminare eventuali residui);
- 3- Fare video della zona indicata della durata della registrazione (anche se possibile qualche foto per repertare la scena).

Per le misure oggettive sono stati selezionati i parametri della psicoacustica precedentemente descritti e il livello di pressione sonora SPL [dB(A)]. L'analisi dei parametri è stata eseguita con software specifico e sono stati determinati i principali parametri acustici e psicoacustici caratterizzanti l'ambiente sonoro. Di seguito si riporta il valore delle misurazioni relative a due canali rappresentanti orecchio destro e sinistro.

Risultati bk connected B&K (ISO 532-1 2017, FREE FIELD ZWICKER METHOD)											
	leq_ dx	leq_ sx	phone _dx	phone _sx	sharp _dx	sharp _sx	fs_ dx	fs_ sx	r_ dx	r_ sx	Pa_zwic ker
C1	37,7	34,9	54,98	52,33	1,10	1,11	0,4	0,3	1,5	1,1 7	6,9
C2	33,1	31,8	47,99	49,04	0,66	1,04	0,1 8	0,1 8	0,5 4	0,4 6	4,5
C3	34,8	33,1	50,94	48,83	0,67	0,68	0,4 3	0,3 1	0,3 4	0,4 4	5,1
C4	51,2	53,8	62,68	67,50	1,01	1,38	0,6 2	1,1 0	1,4 2	1,8 0	10,4
C5	26,2	26,0	47,81	49,46	1,00	1,11	0,2 5	0,3 1	0,7 1	0,9 6	4,9
C6	32,6	31,3	54,69	53,52	1,14	1,19	0,4 0	0,1 7	1,1 6	1,0 7	5,1
C7	40,0	39,8	59,50	59,09	1,13	1,25	0,6 7	0,6 7	1,7 6	1,9 4	8,1
C8	38,8	36,8	54,63	53,01	1,05	1,43	0,6 7	0,4 3	1,3 6	0,9 8	10,5

Tabella 5 Risultati misure oggettive

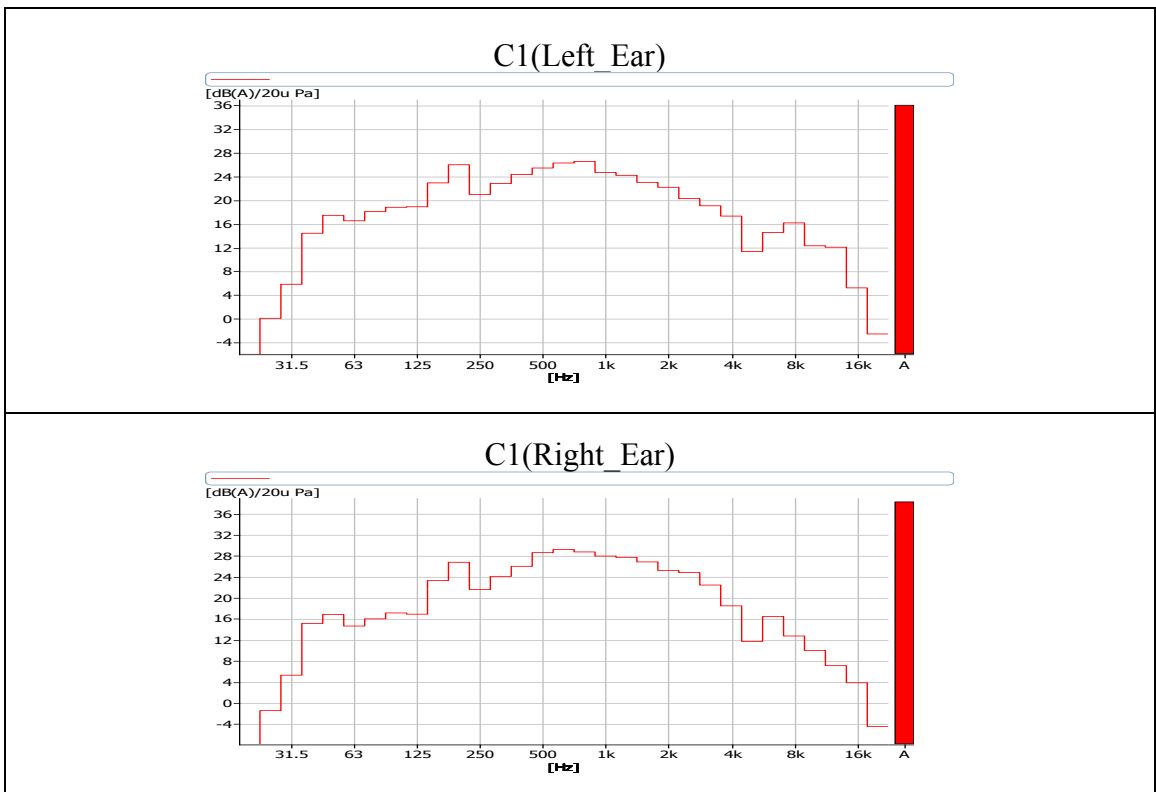


Figura 23 C1_Livello Pressione Sonora dB(A)

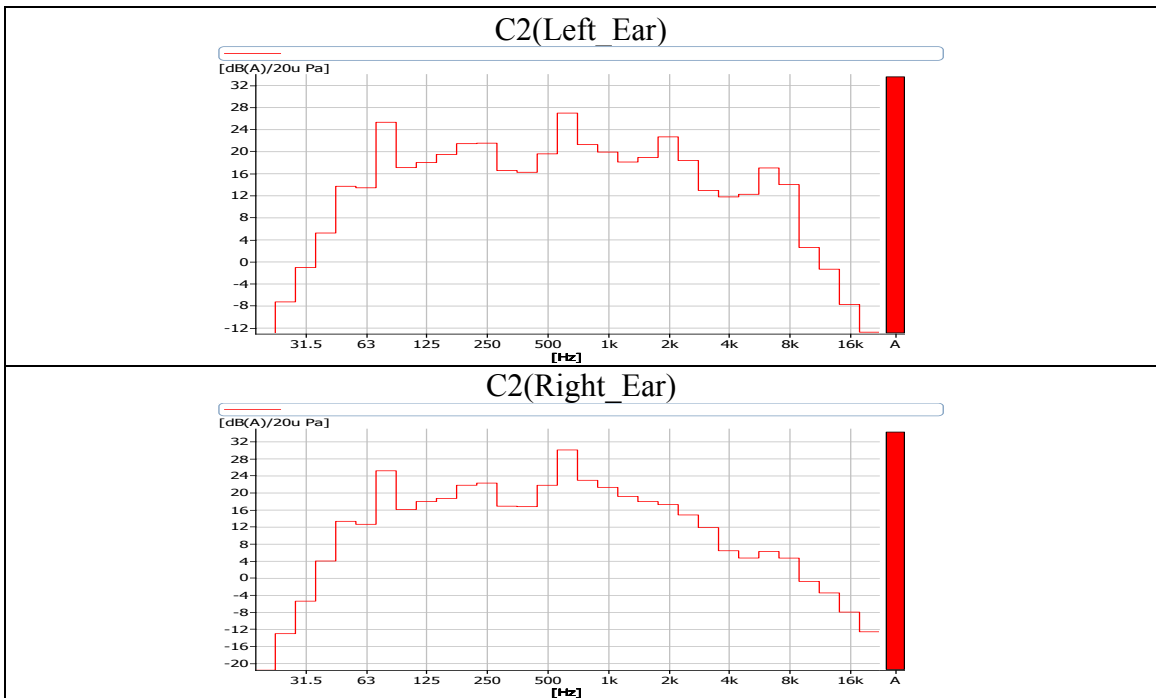


Figura 24 C2_Livello Pressione Sonora dB(A)

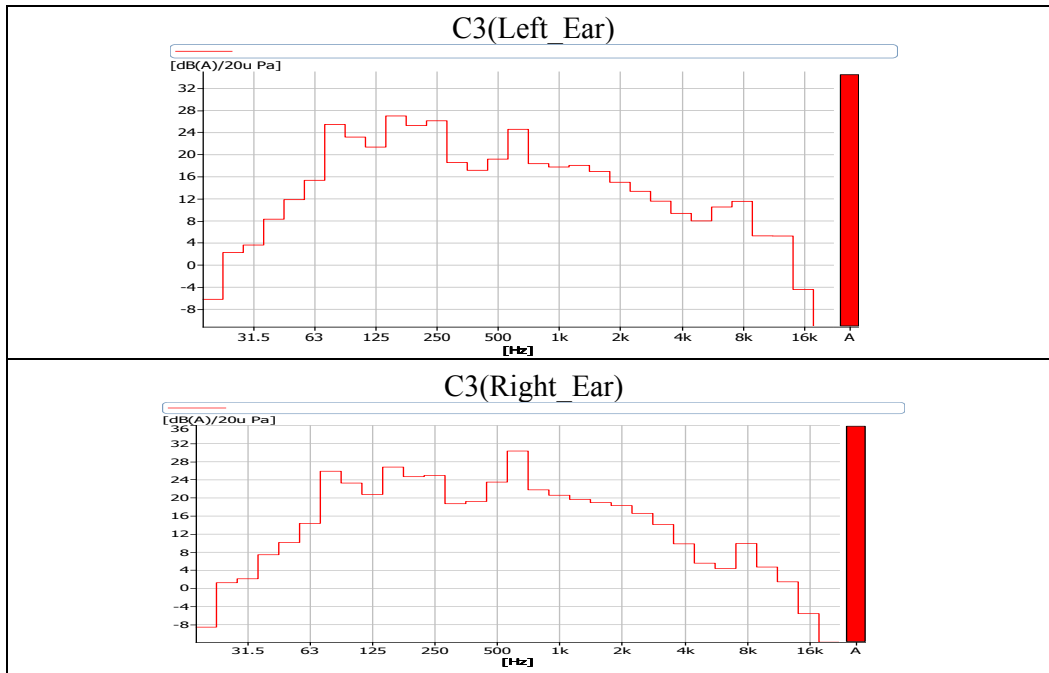


Figura 25 C3_Livello Pressione Sonora dB(A)

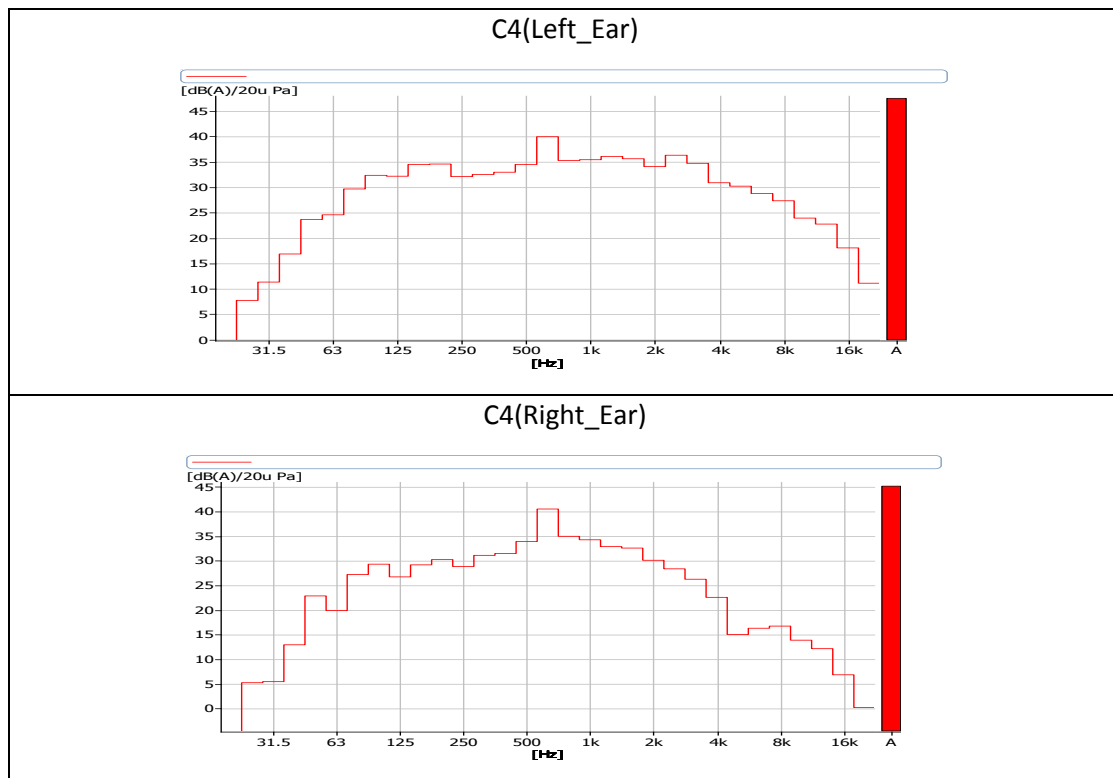


Figura 26 C4_Livello Pressione Sonora dB(A)

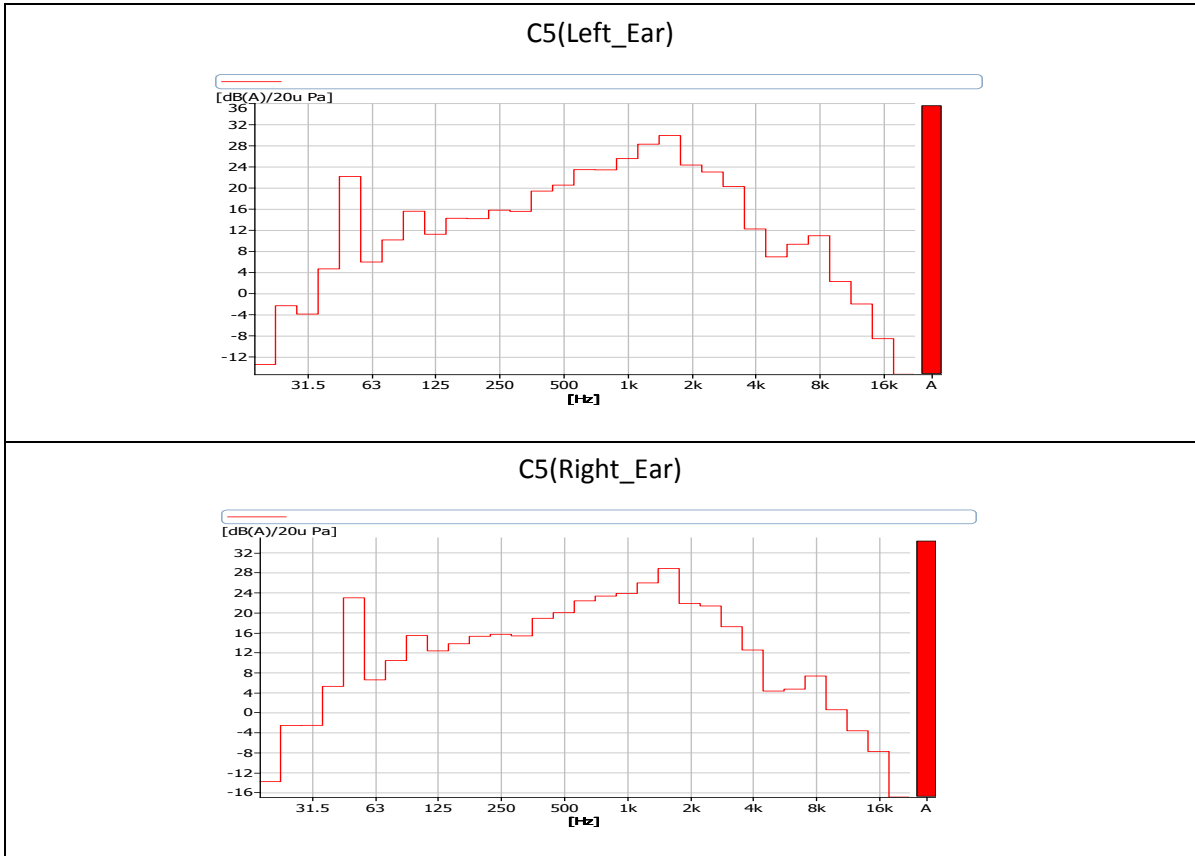


Figura 27 C5_Livello Pressione Sonora dB(A)

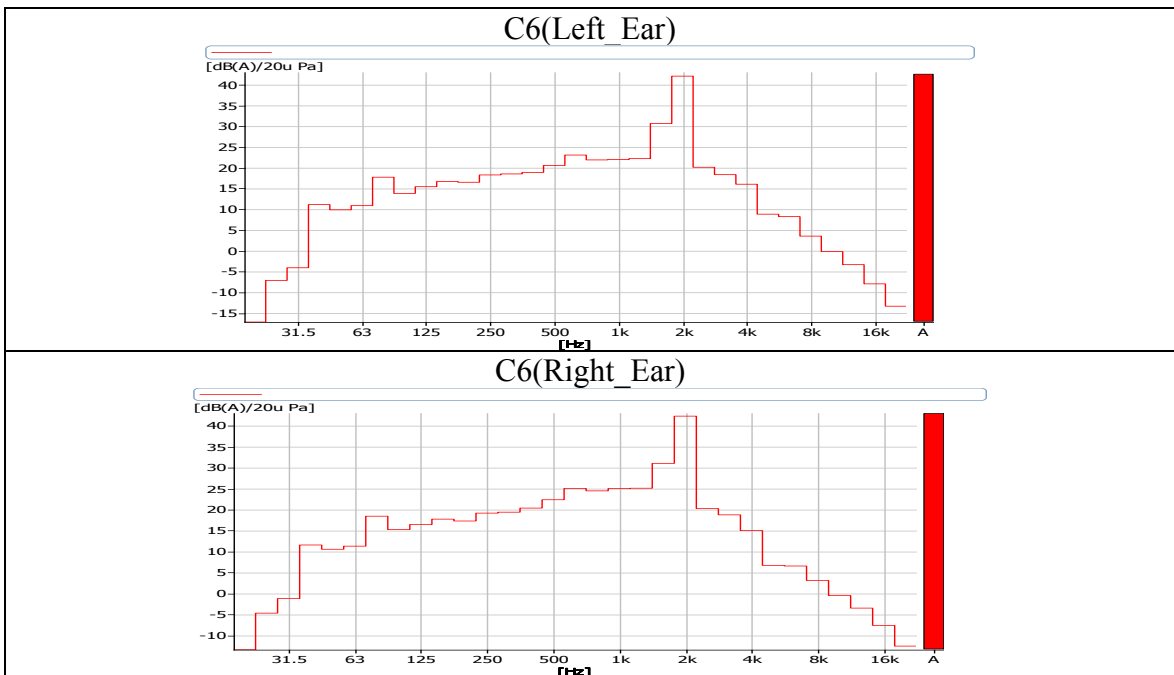


Figura 28 C6_Livello Pressione Sonora dB(A)

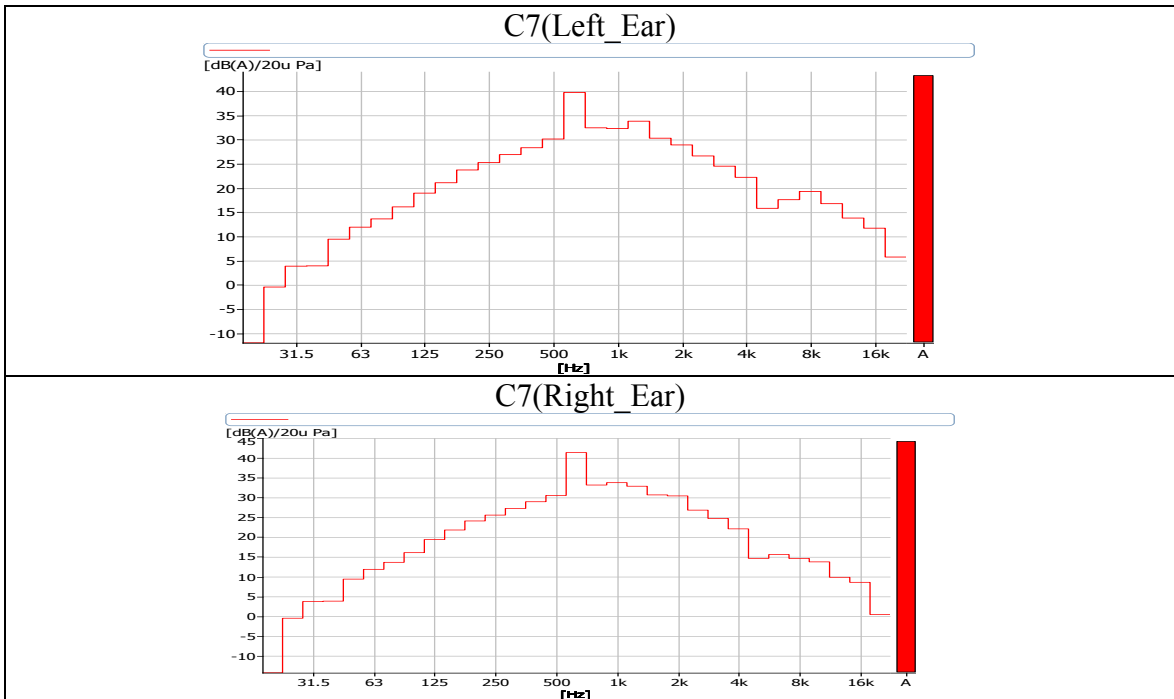


Figura 29 C7_Livello Pressione Sonora dB(A)

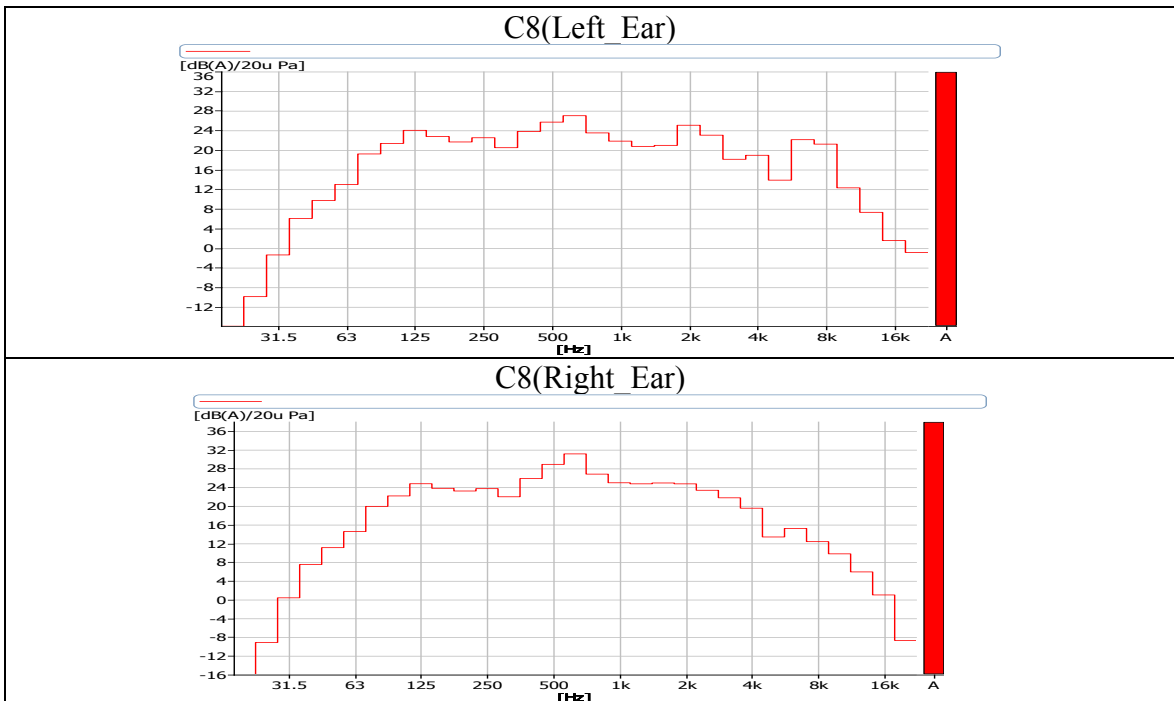


Figura 30 C8_Livello Pressione Sonora dB(A)

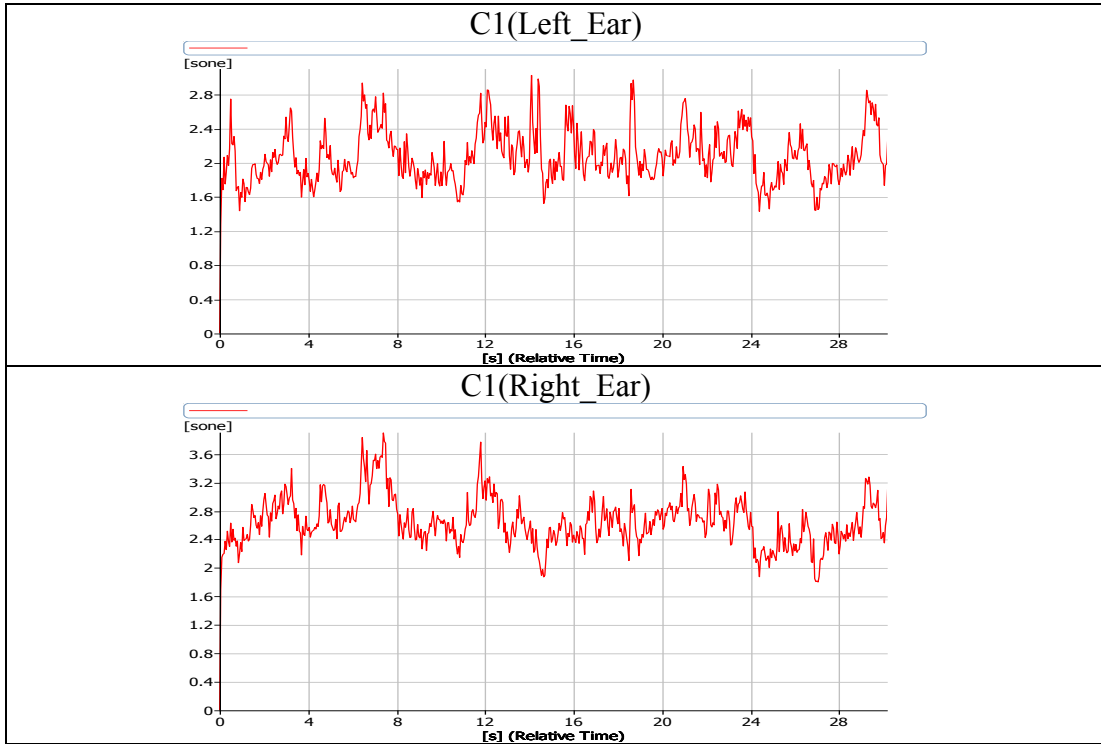


Figura 31 C1_Loudness [sone]

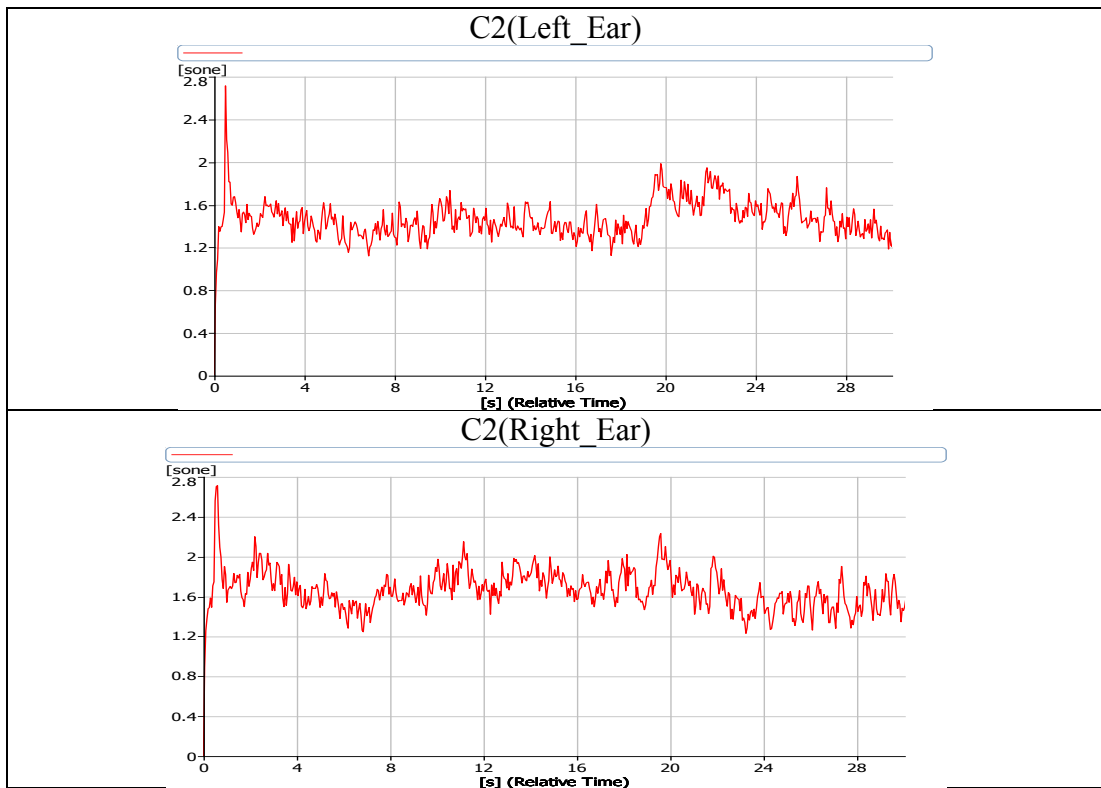


Figura 32 C2_Loudness [sone]

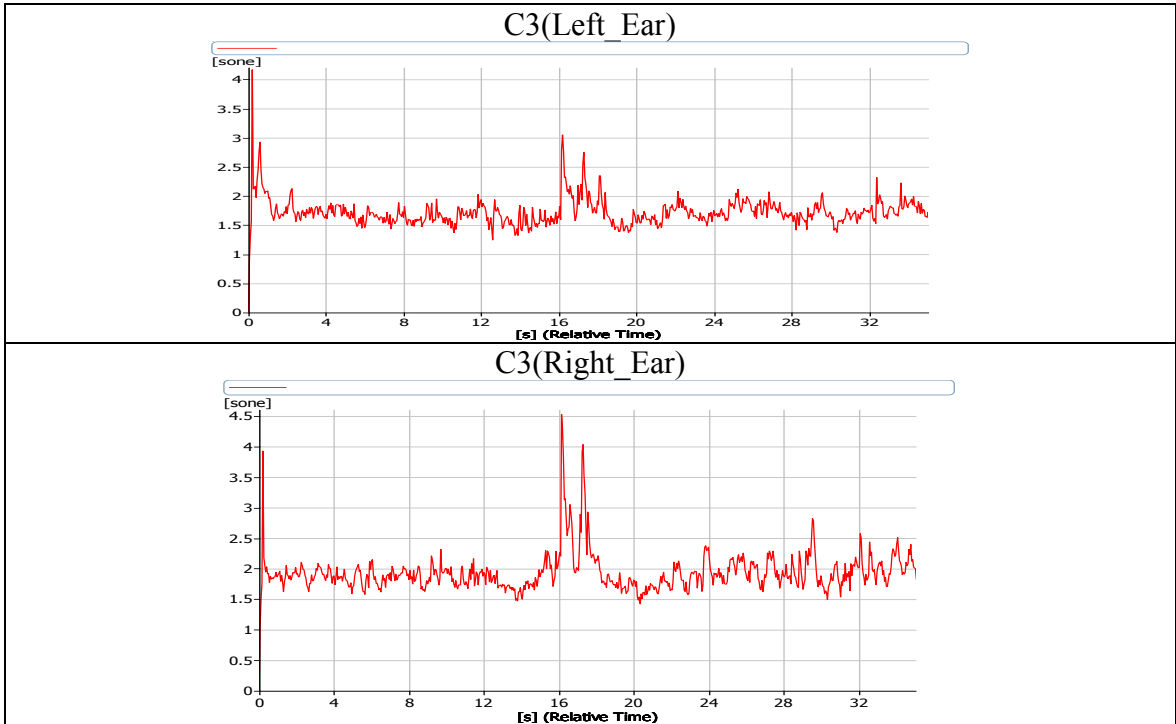


Figura 33 C3_Loudness [sone]

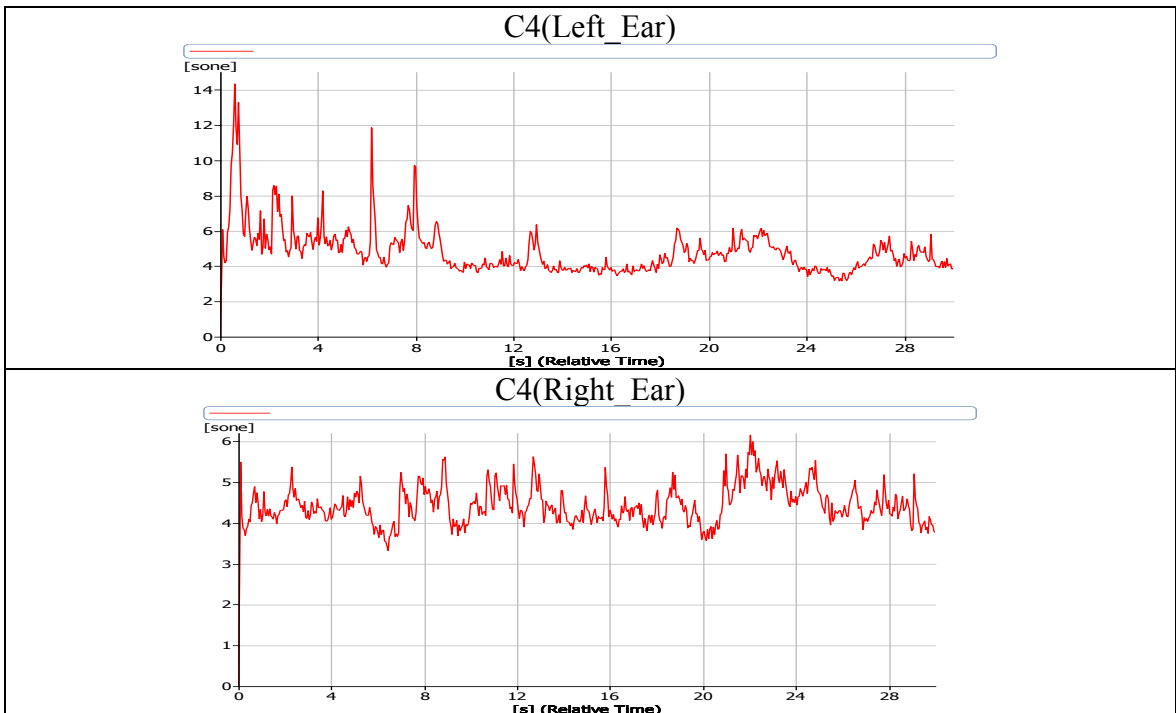


Figura 34 C4_Loudness [sone]

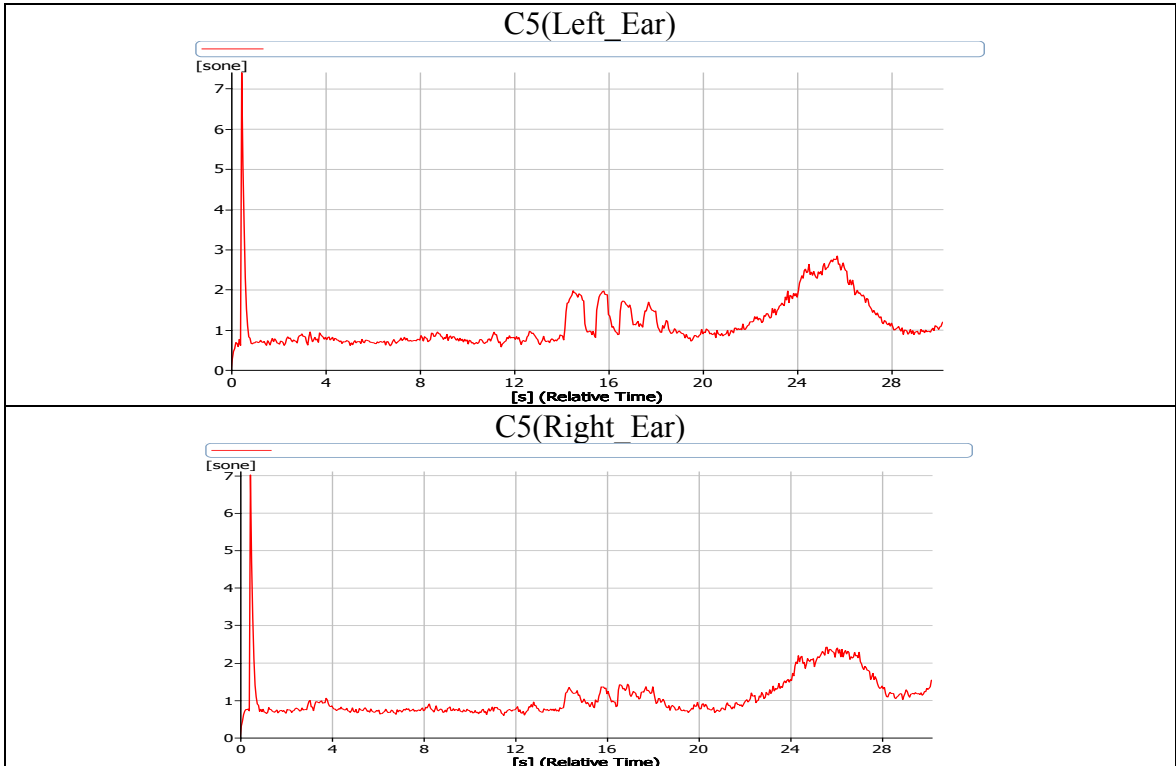


Figura 35 C5_Loudness [sone]

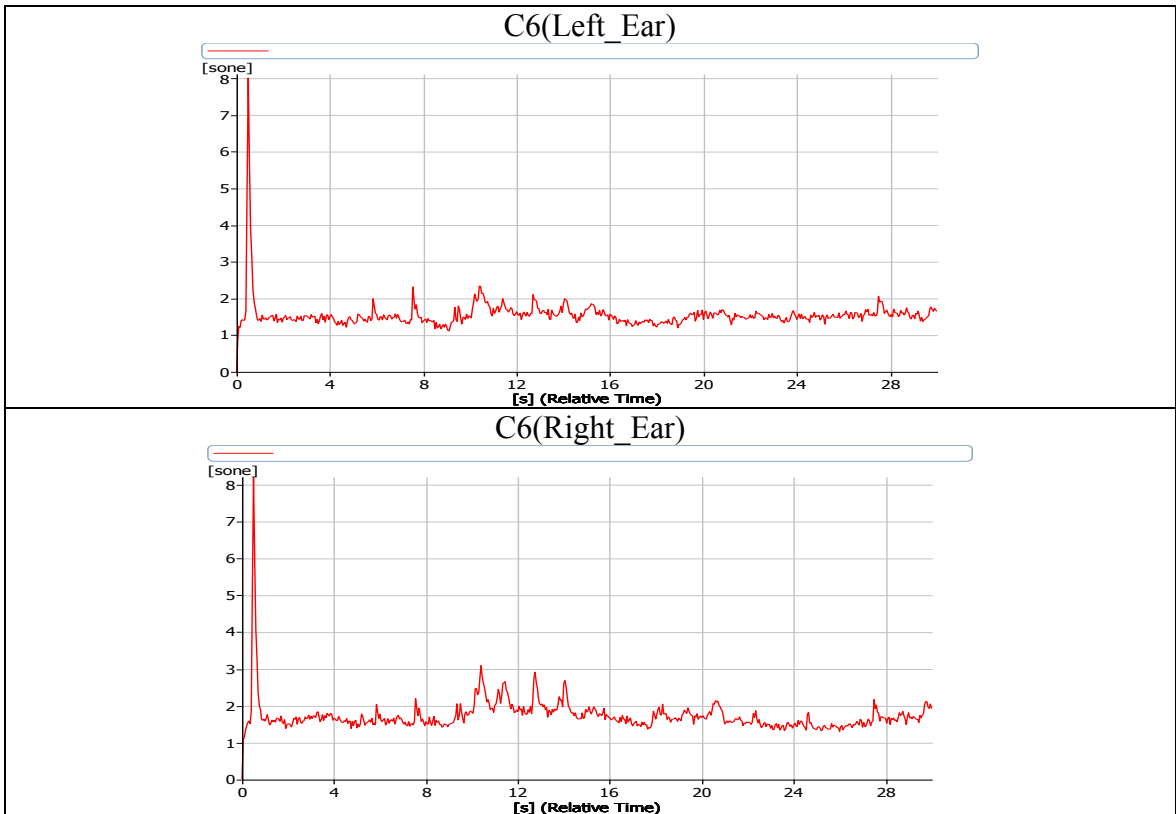


Figura 36 C6_Loudness [sone]

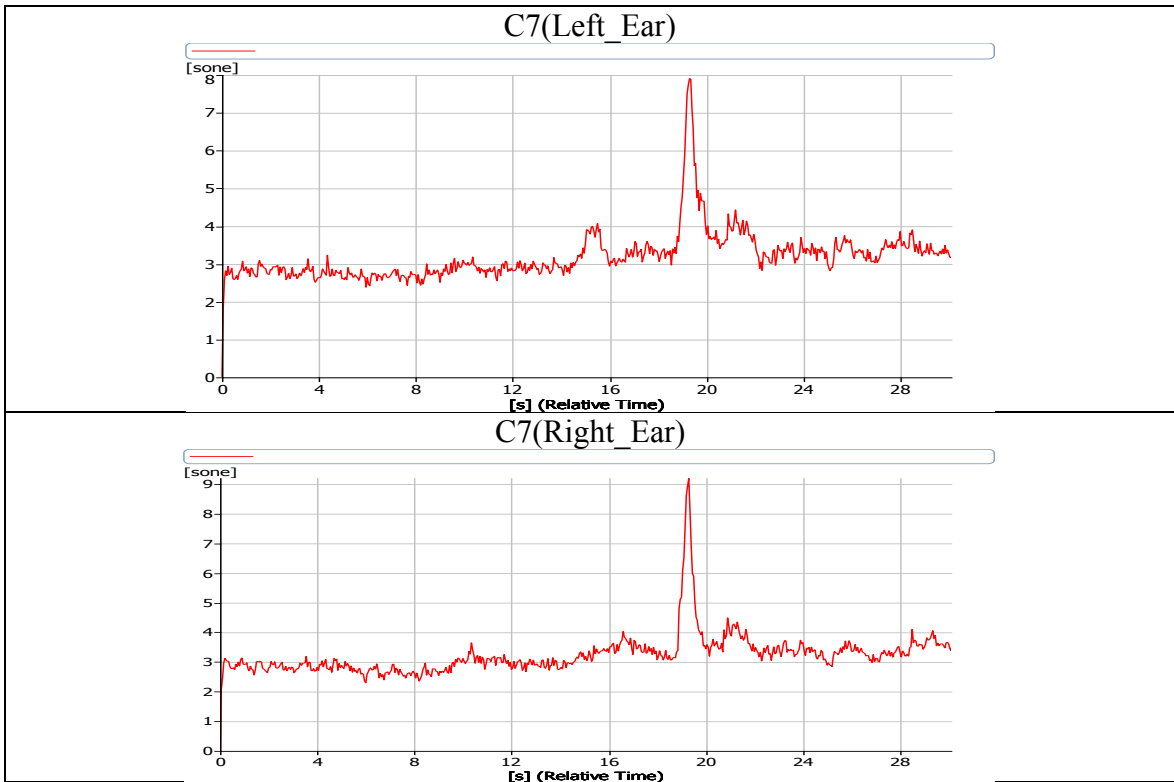


Figura 37 C7_Loudness [sone]

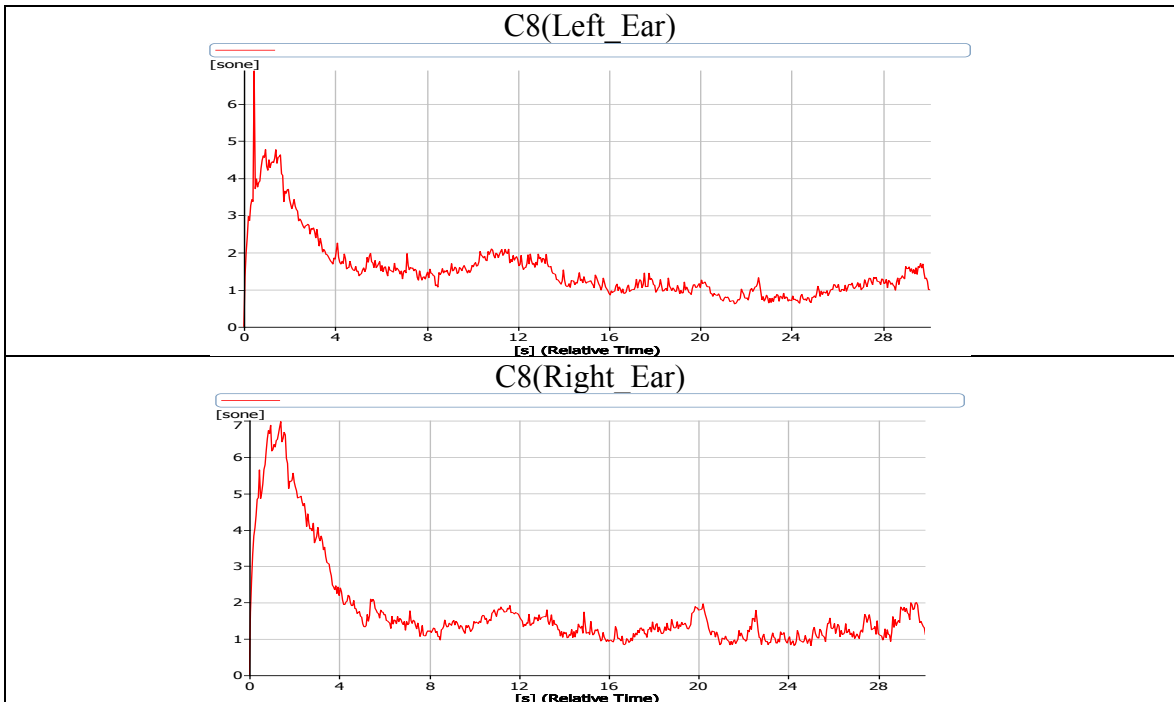


Figura 38 C8_Loudness [sone]

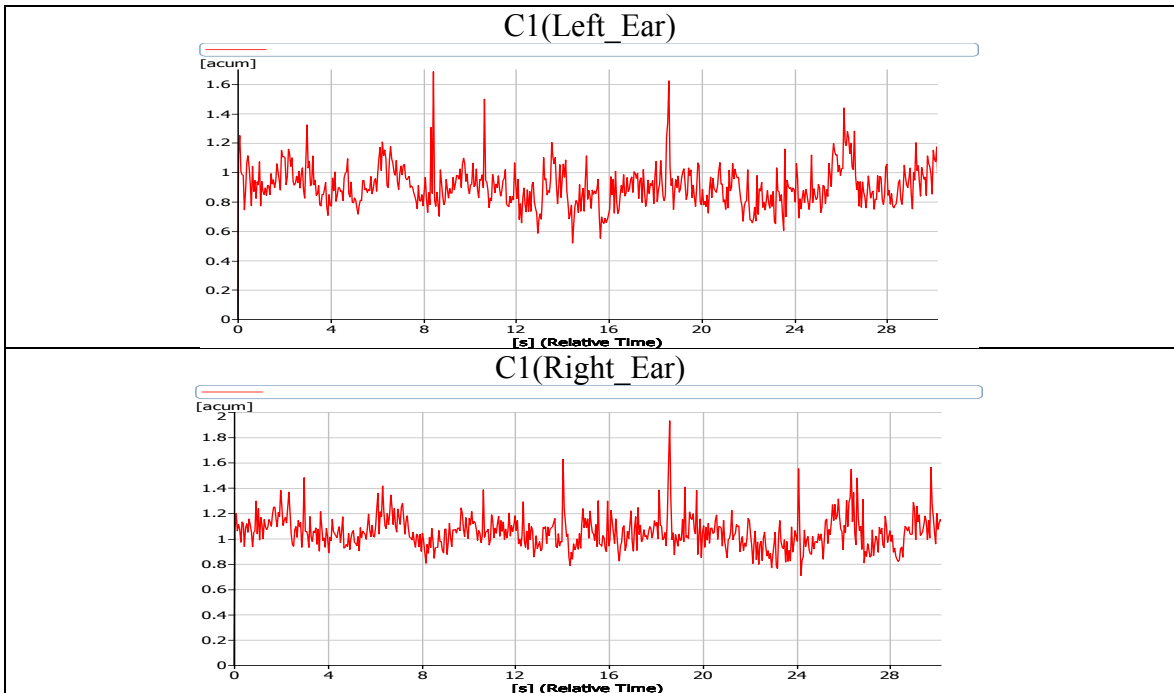


Figura 39 C1_Sharpsness [acum]

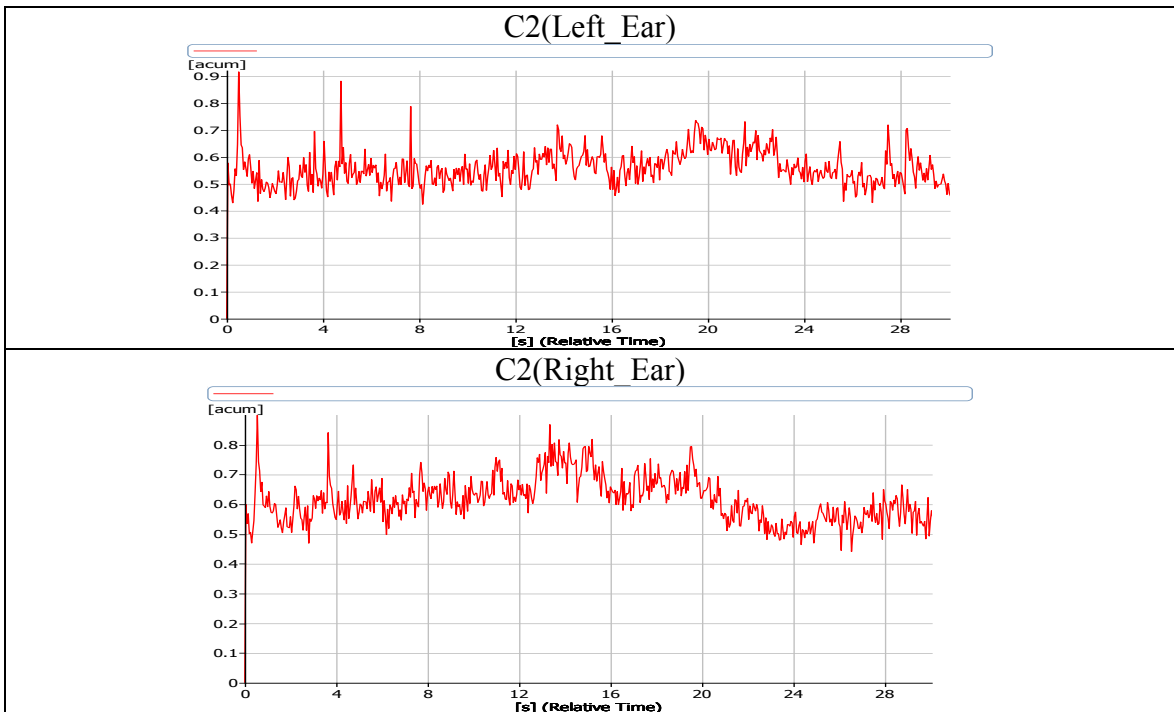


Figura 40 C2_Sharpsness [acum]

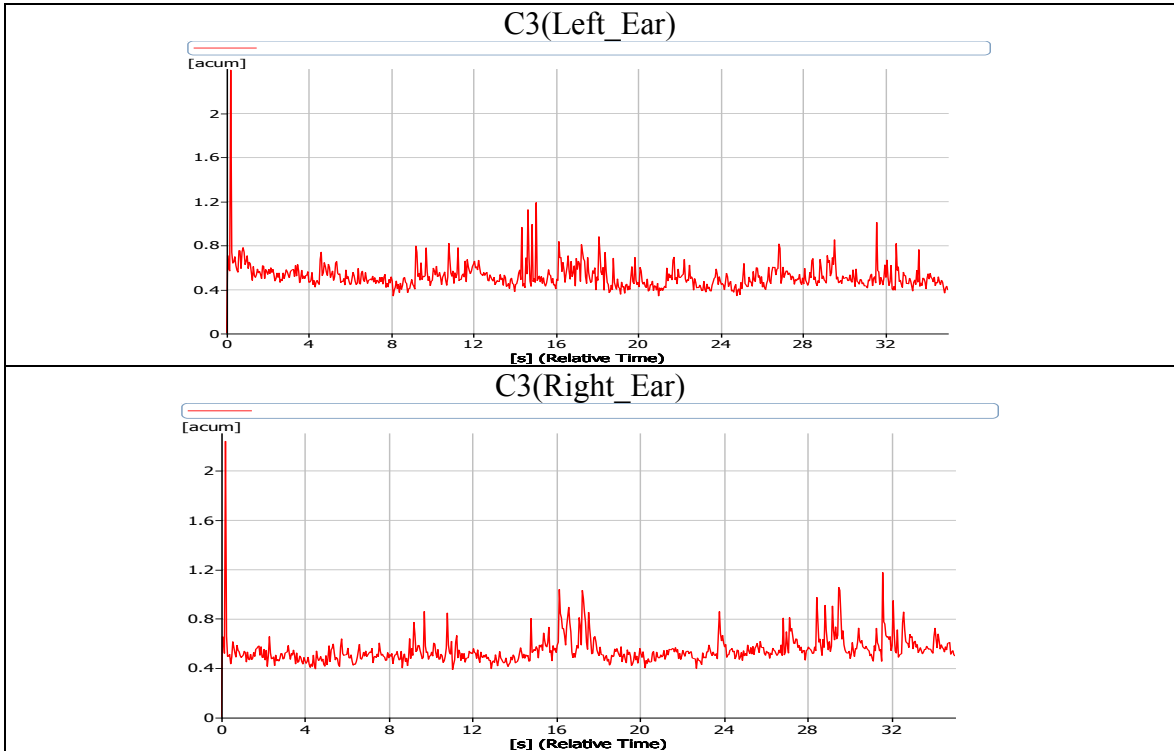


Figura 41 C3_Sharpness [acum]

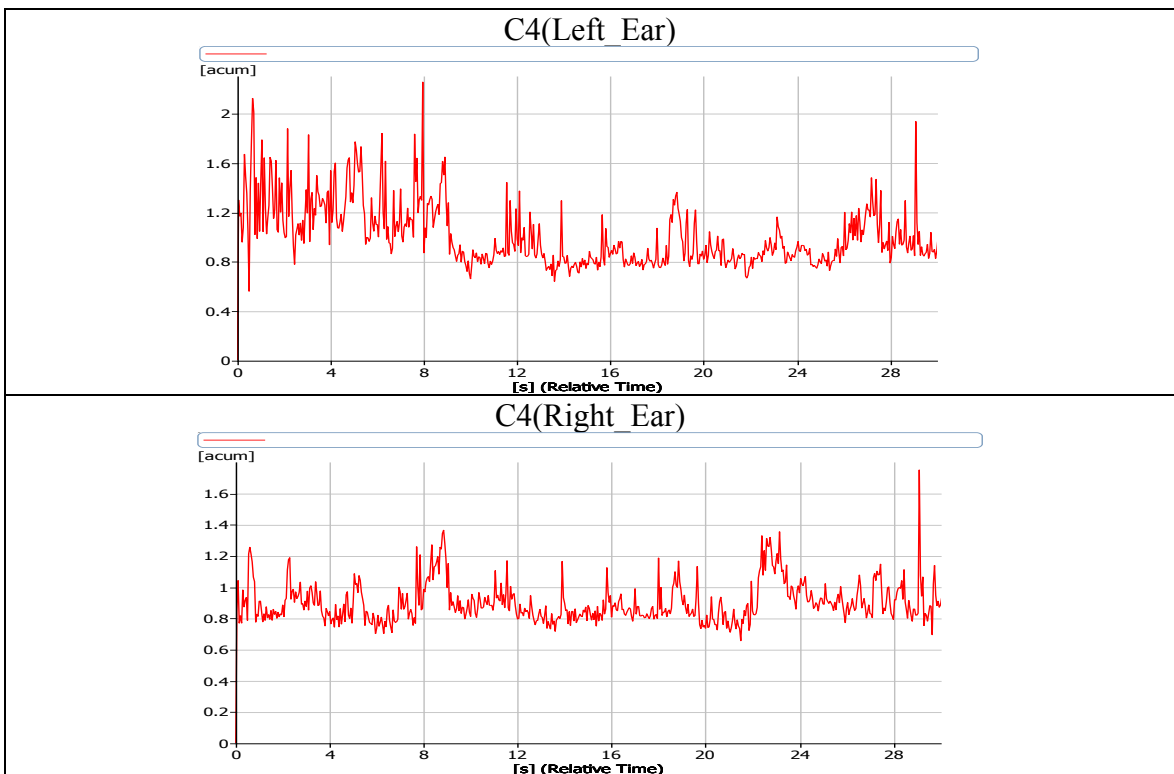


Figura 42 C4_Sharpness [acum]

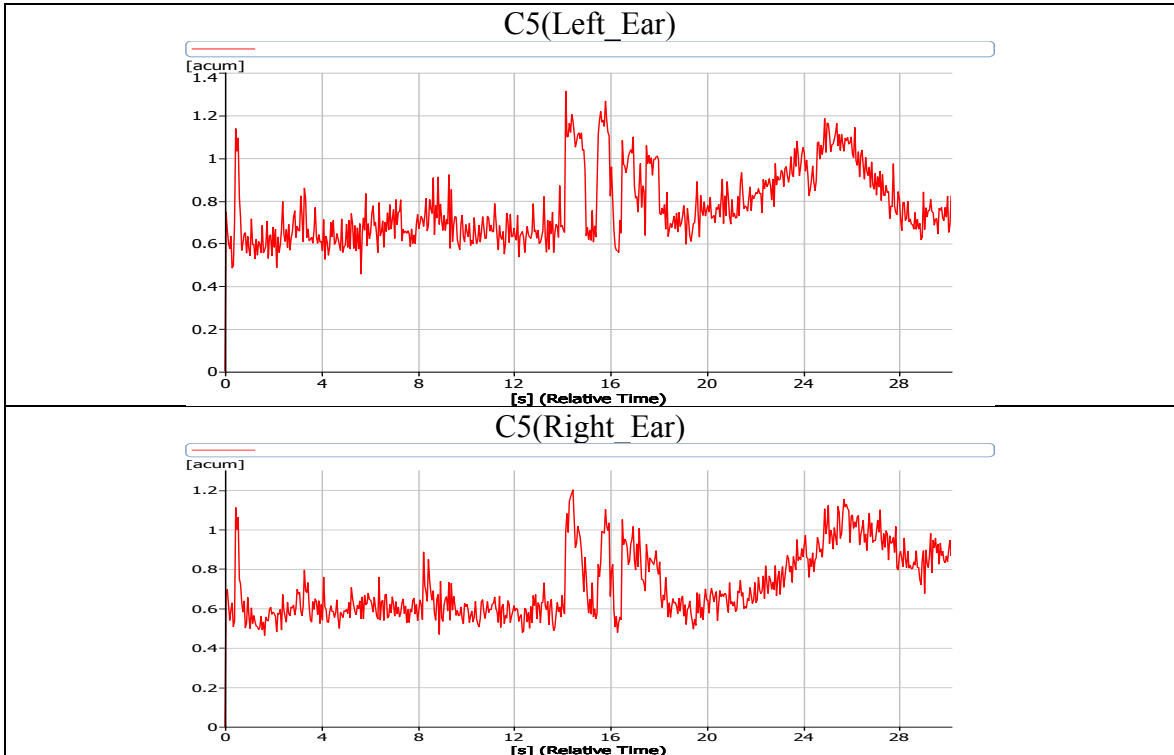


Figura 43 C5_Sharpness [acum]

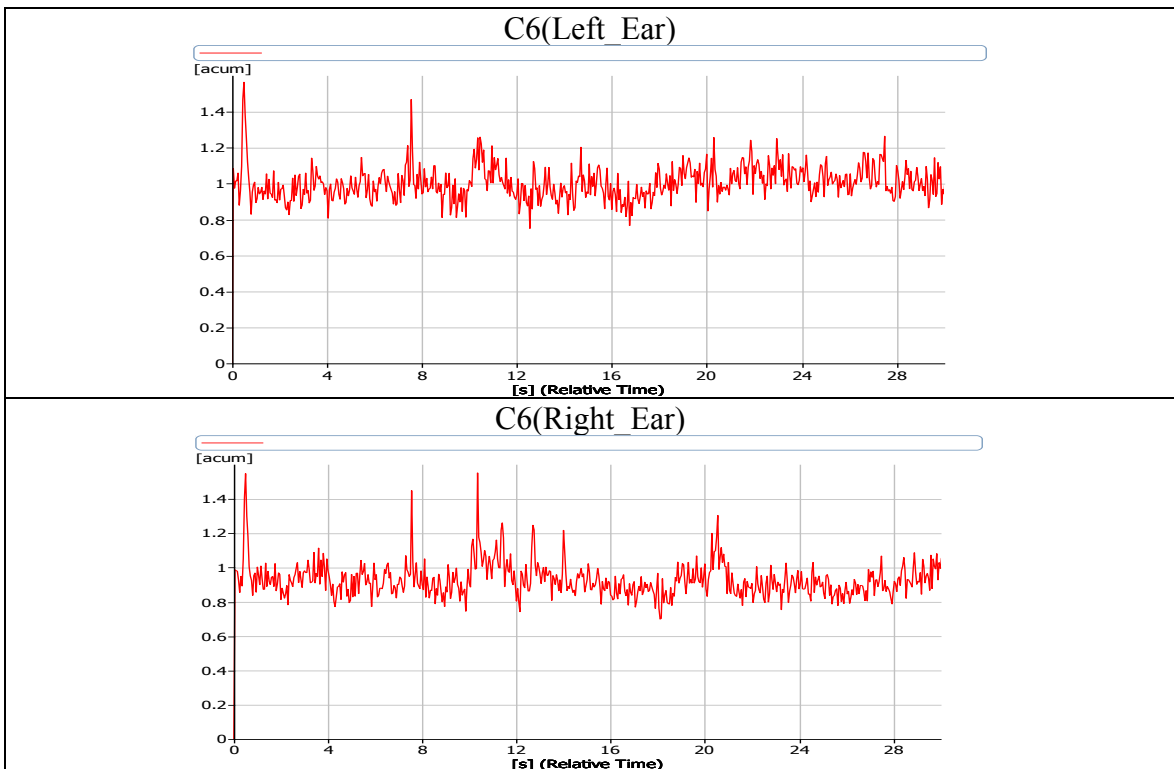


Figura 44 C6_Sharpness [acum]

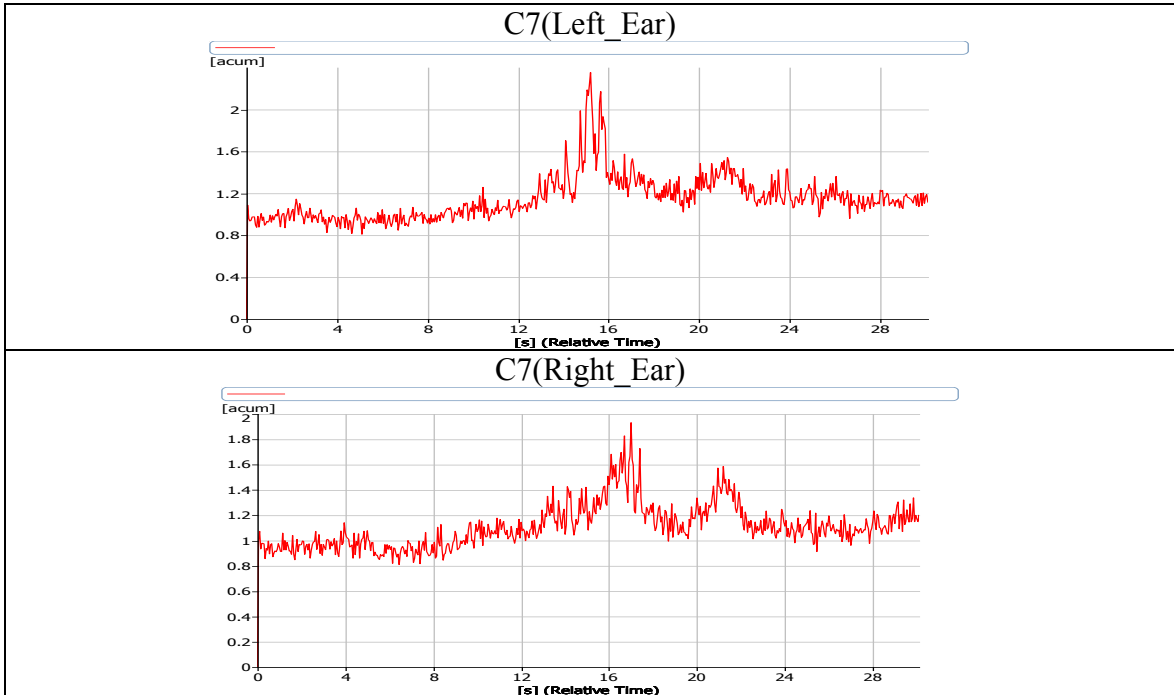


Figura 45 C7_Sharpsness [acum]

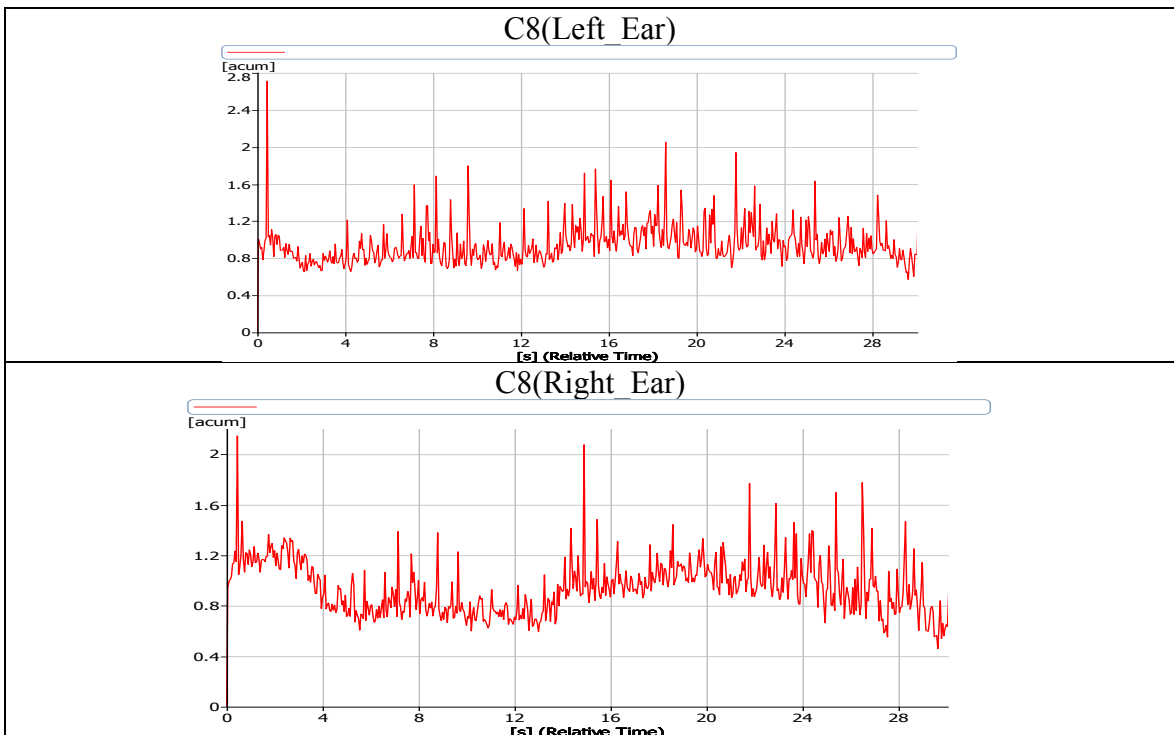


Figura 46 C8_Sharpsness [acum]

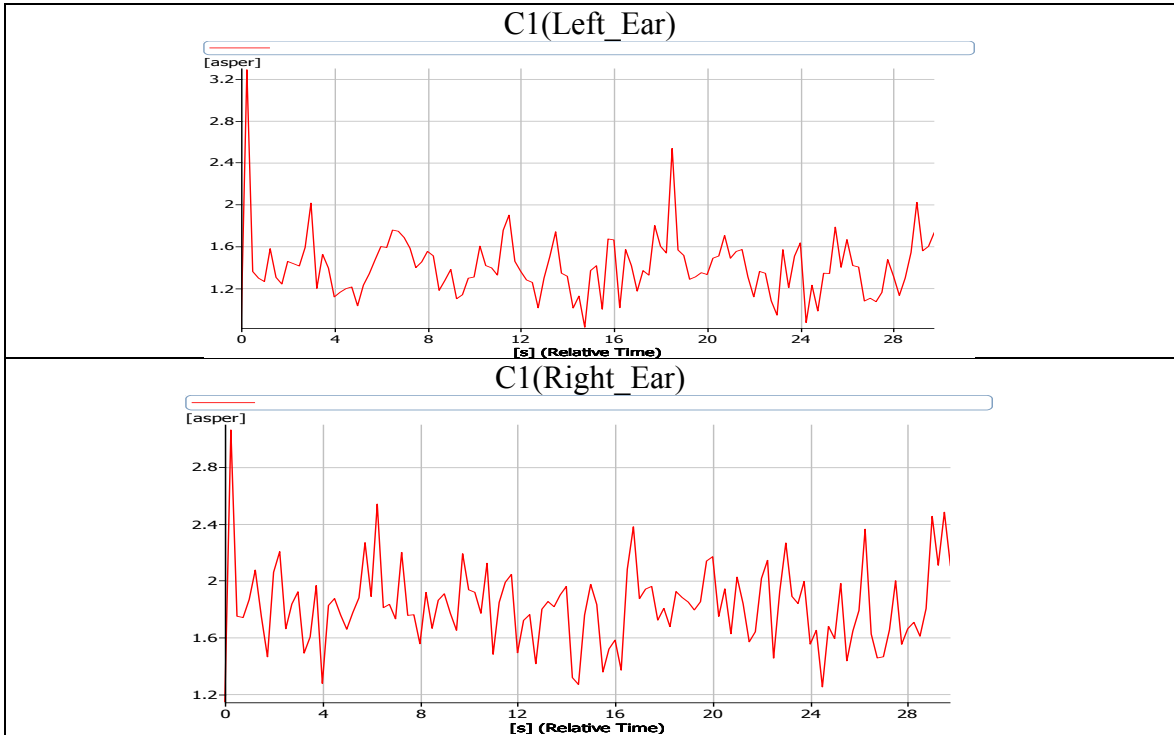


Figura 47 C1_Roughness[asper]

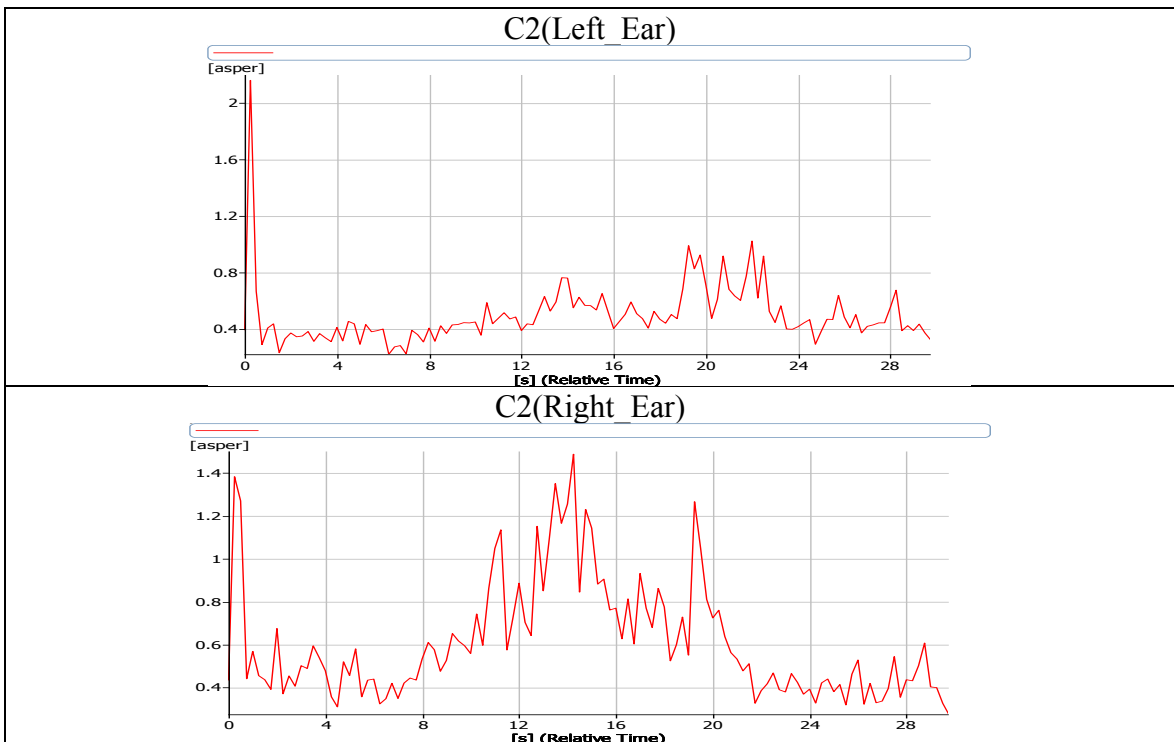


Figura 48 C2_Roughness[asper]

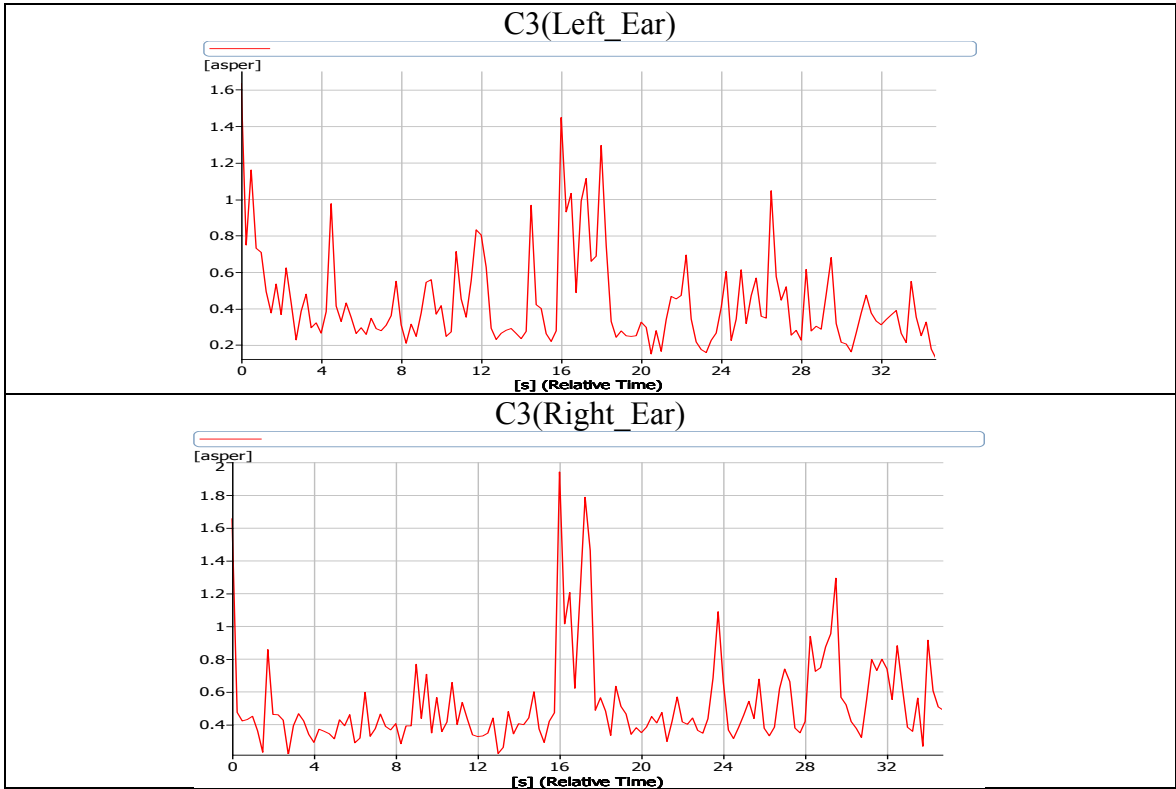


Figura 49 C3_Roughness[asper]

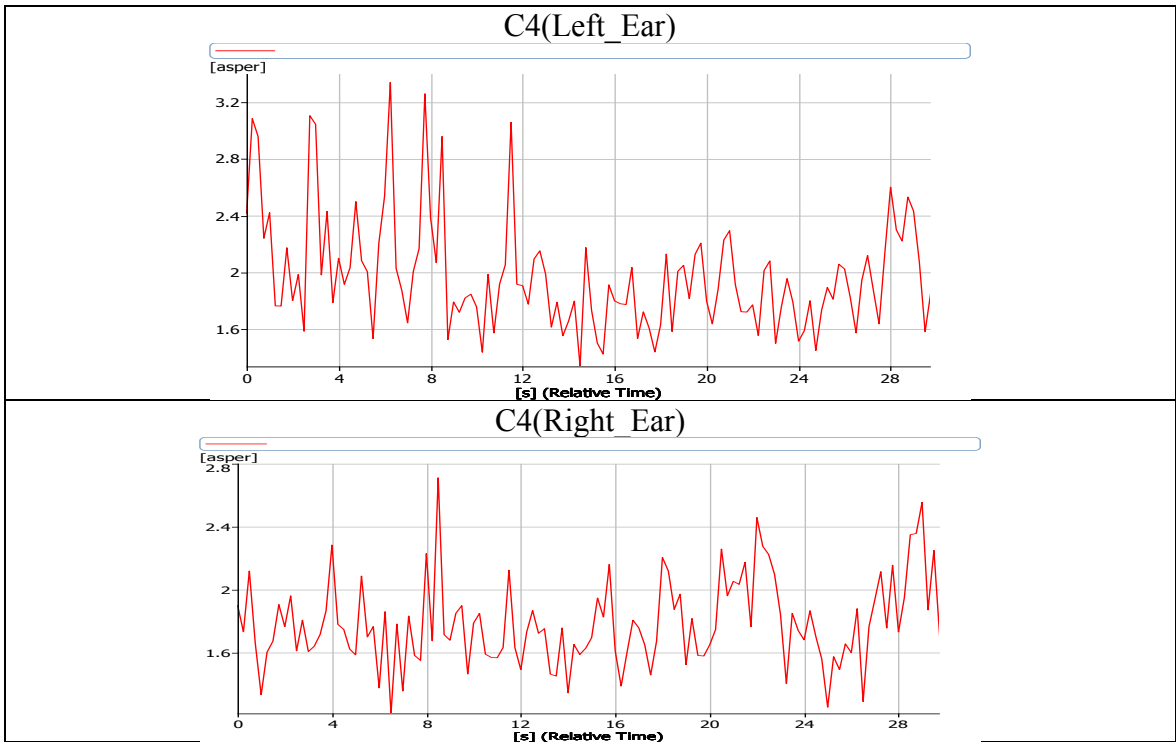


Figura 50 C4_Roughness[asper]

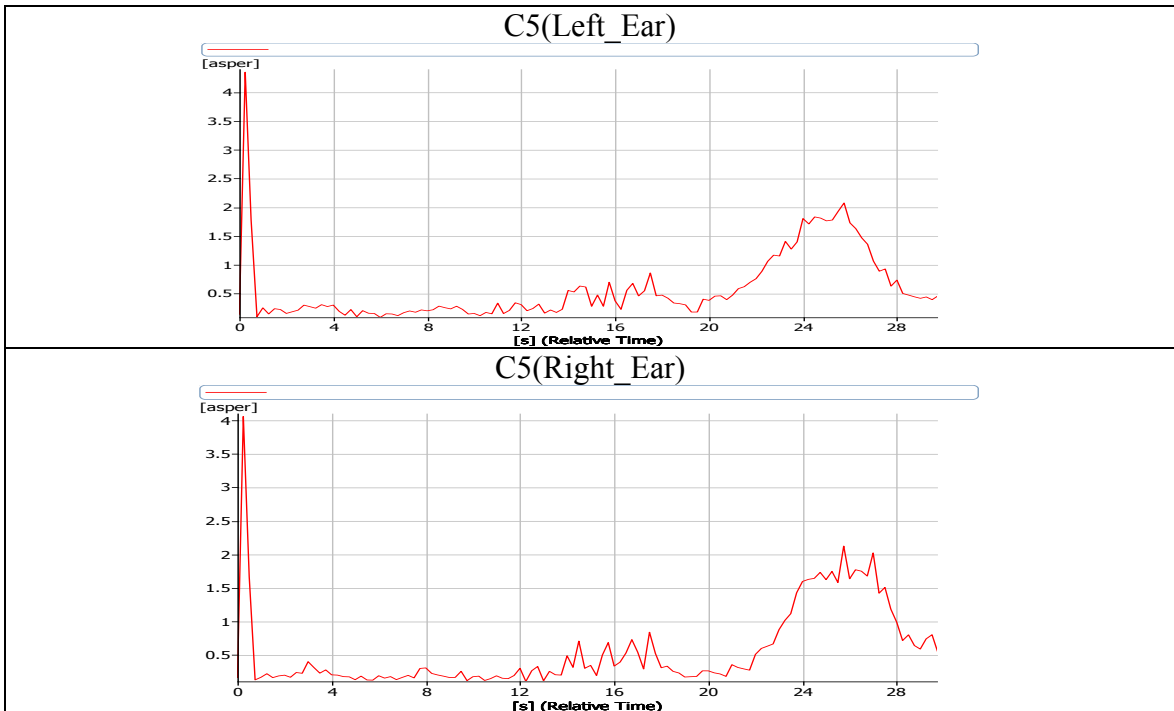


Figura 51 C5_Roughness[asper]

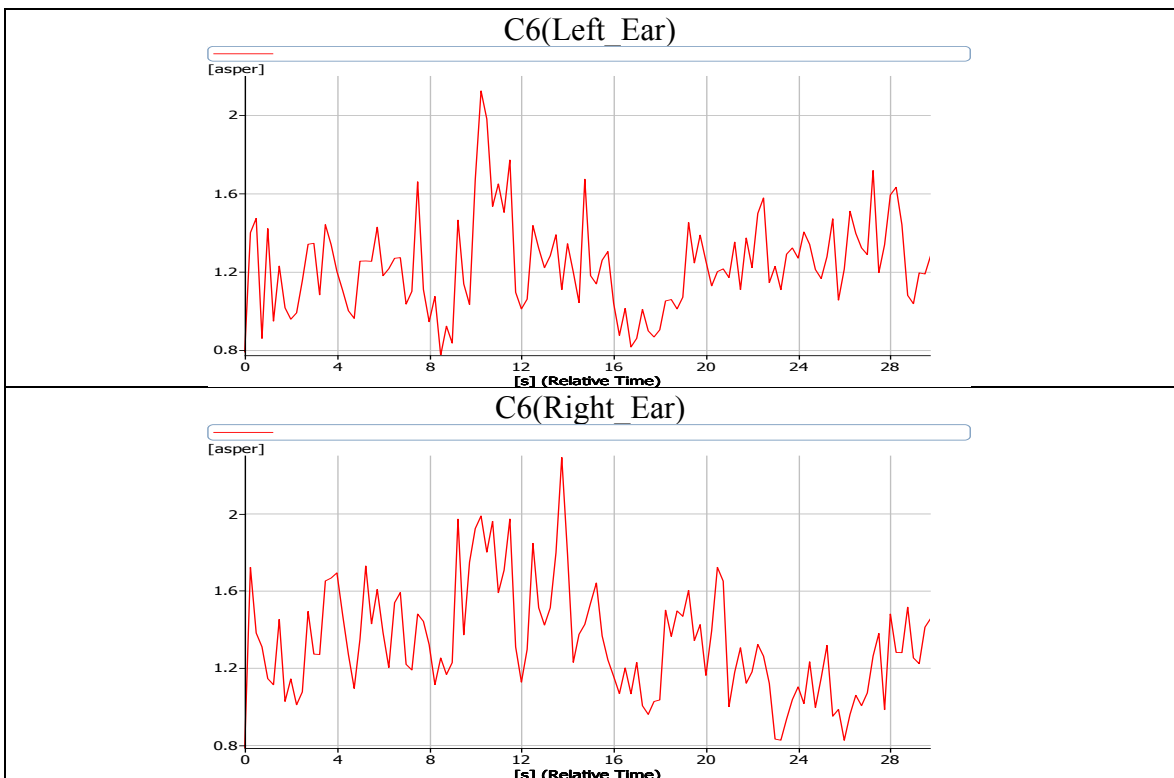


Figura 52 C6_Roughness[asper]

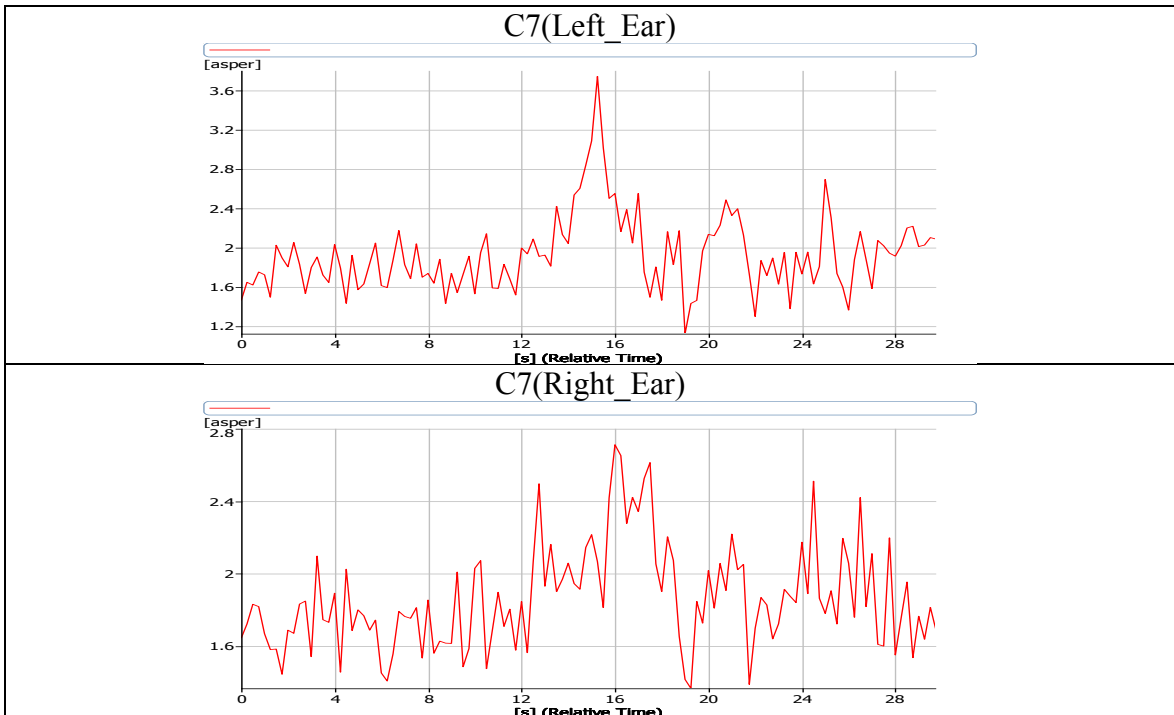


Figura 53 C7_Roughness[asper]

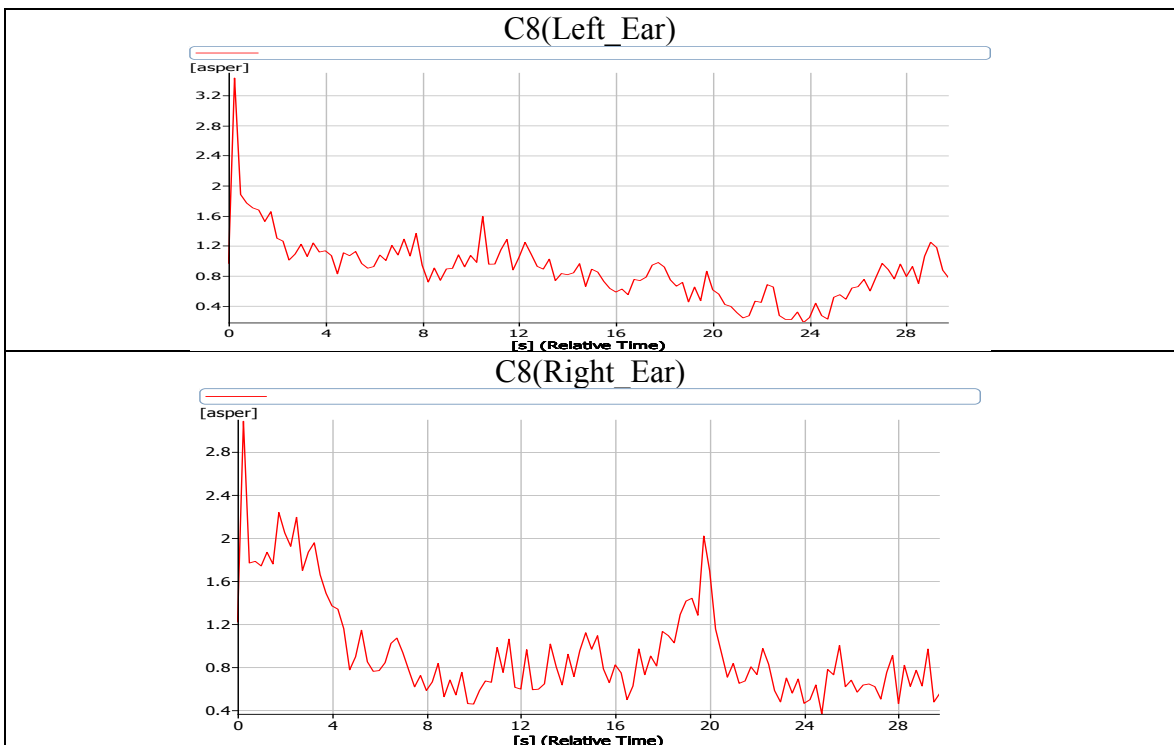


Figura 54 C8_Roughness[asper]

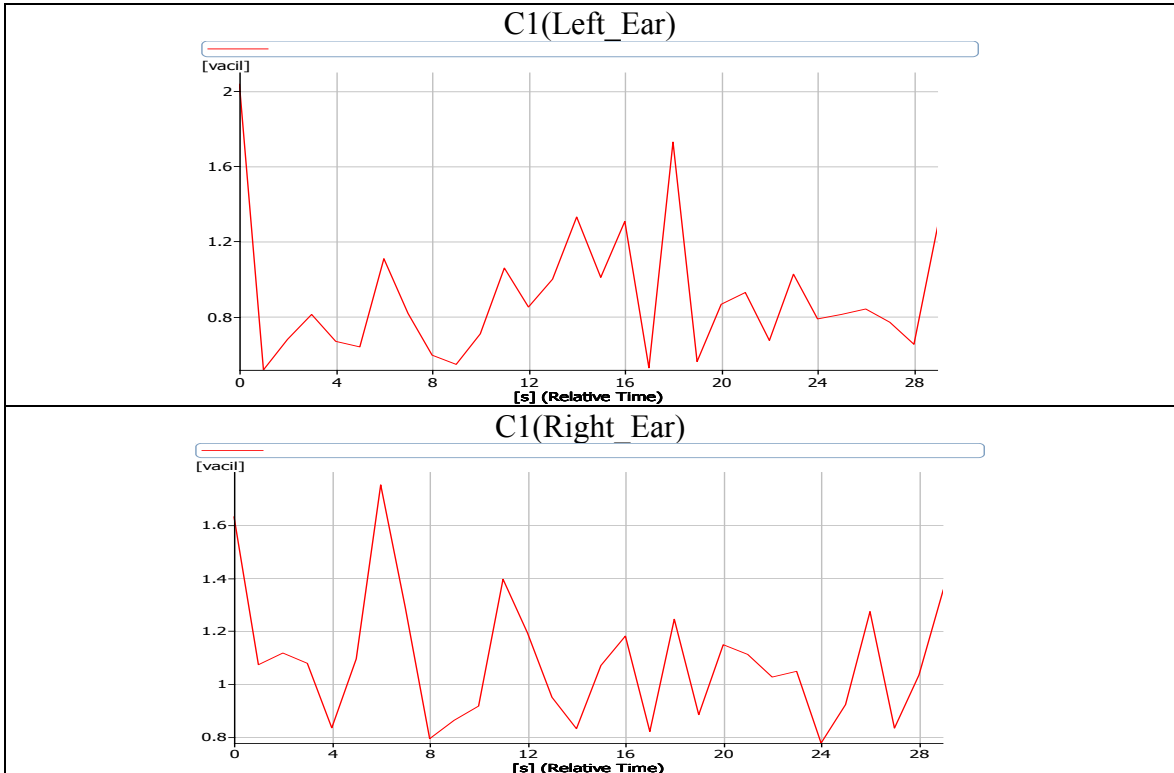


Figura 55 C1_Fluctuation Strength [vacil]

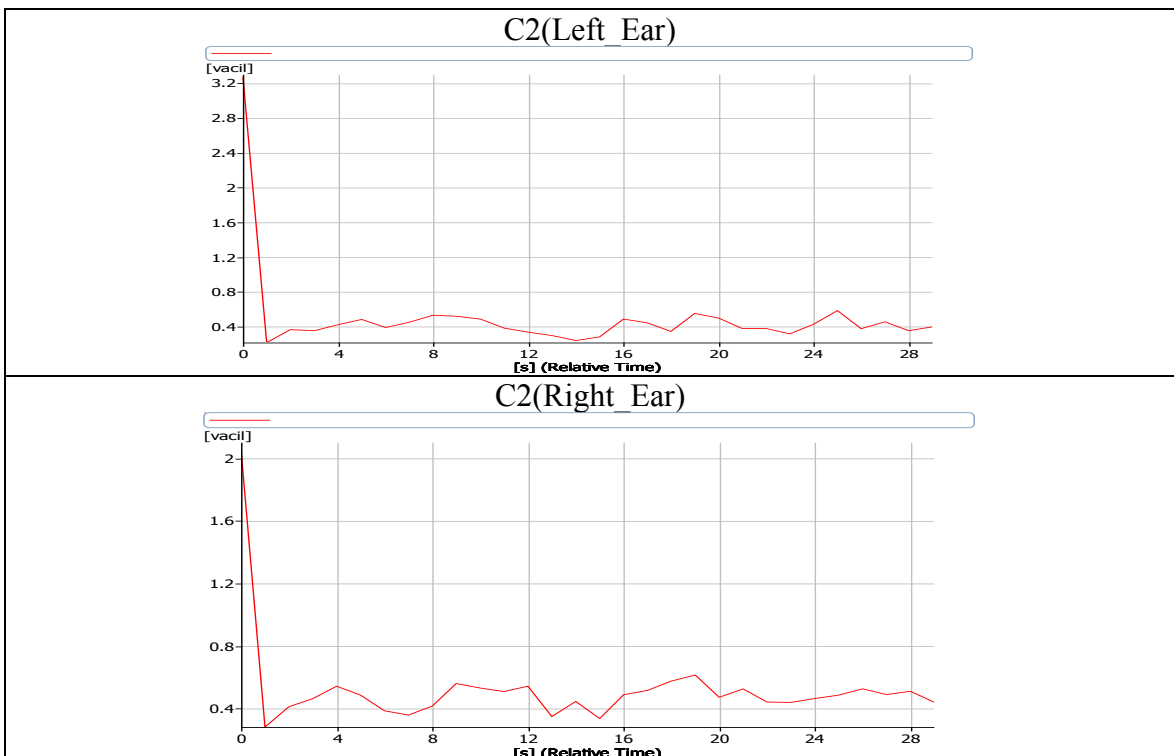


Figura 56 C2_Fluctuation Strength [vacil]

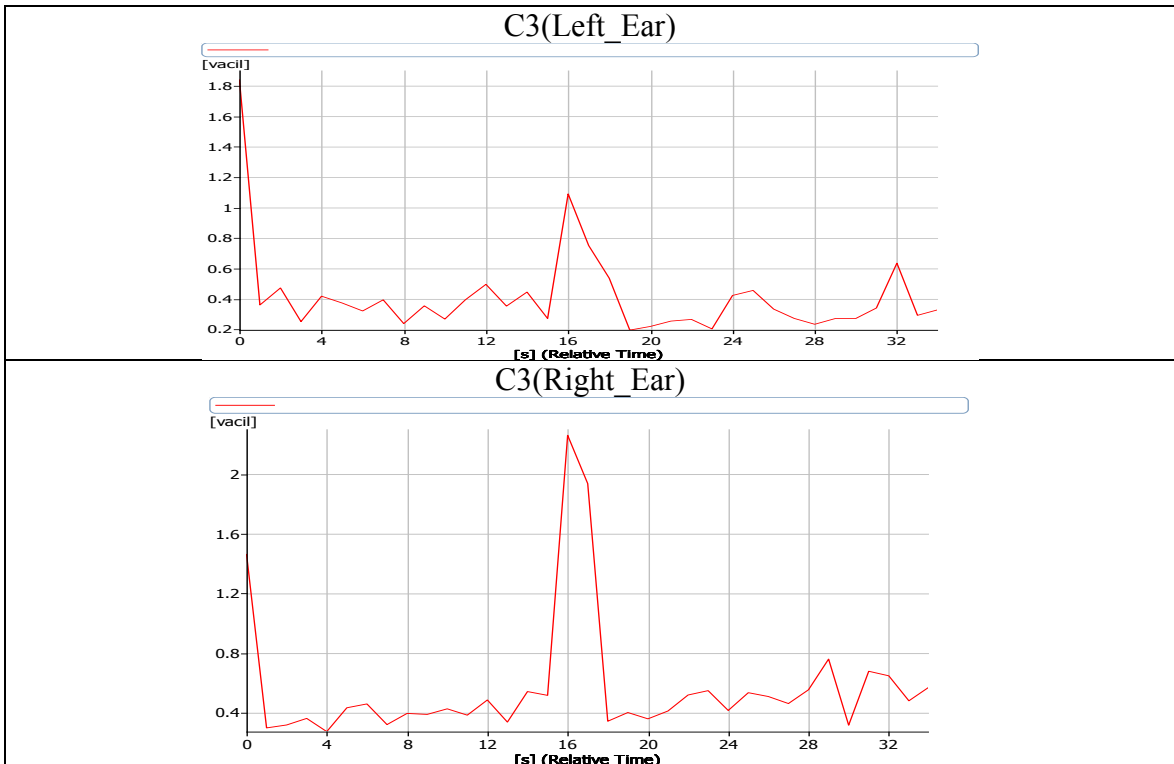


Figura 57 C3_Fluctuation Strength [vacil]

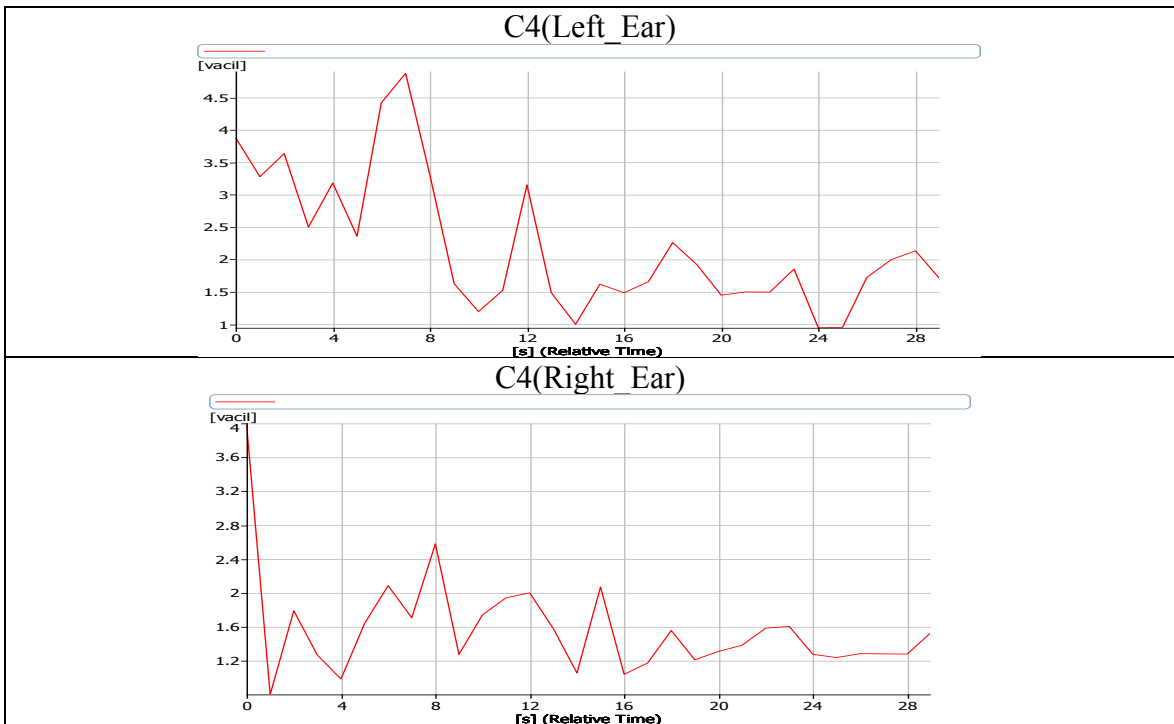


Figura 58 C4_Fluctuation Strength [vacil]

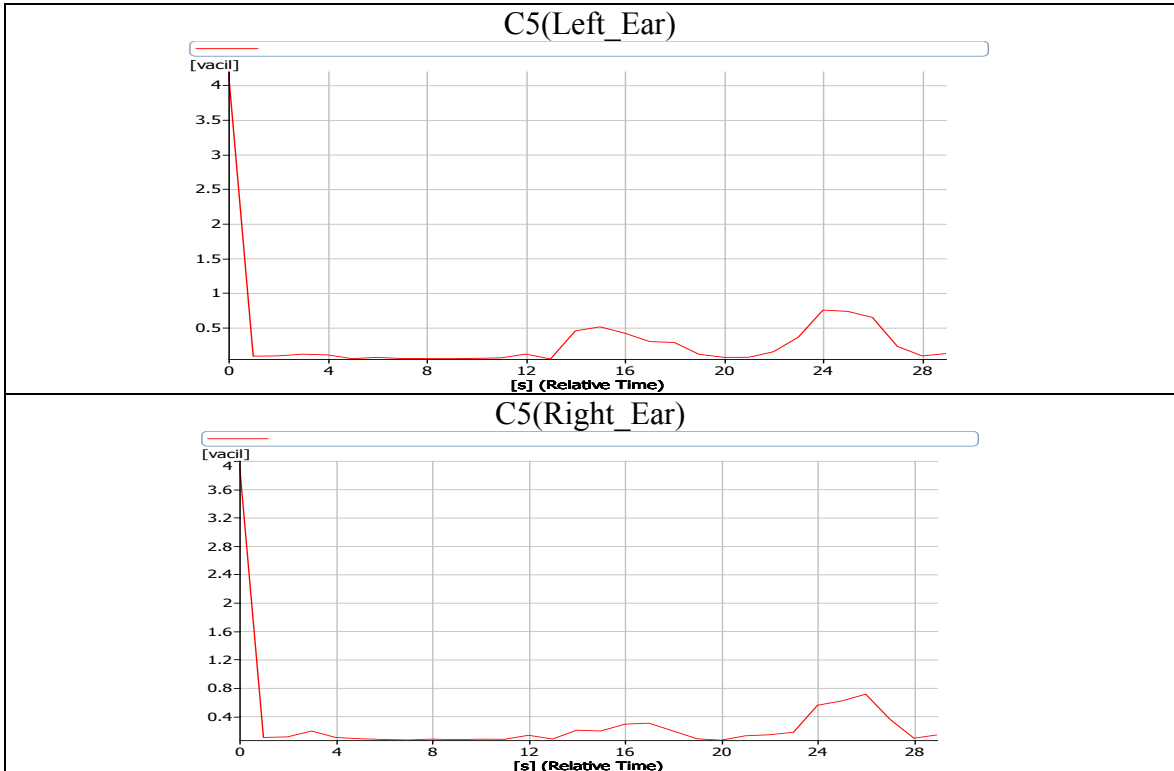


Figura 59 C5_Fluctuation Strength [vacil]

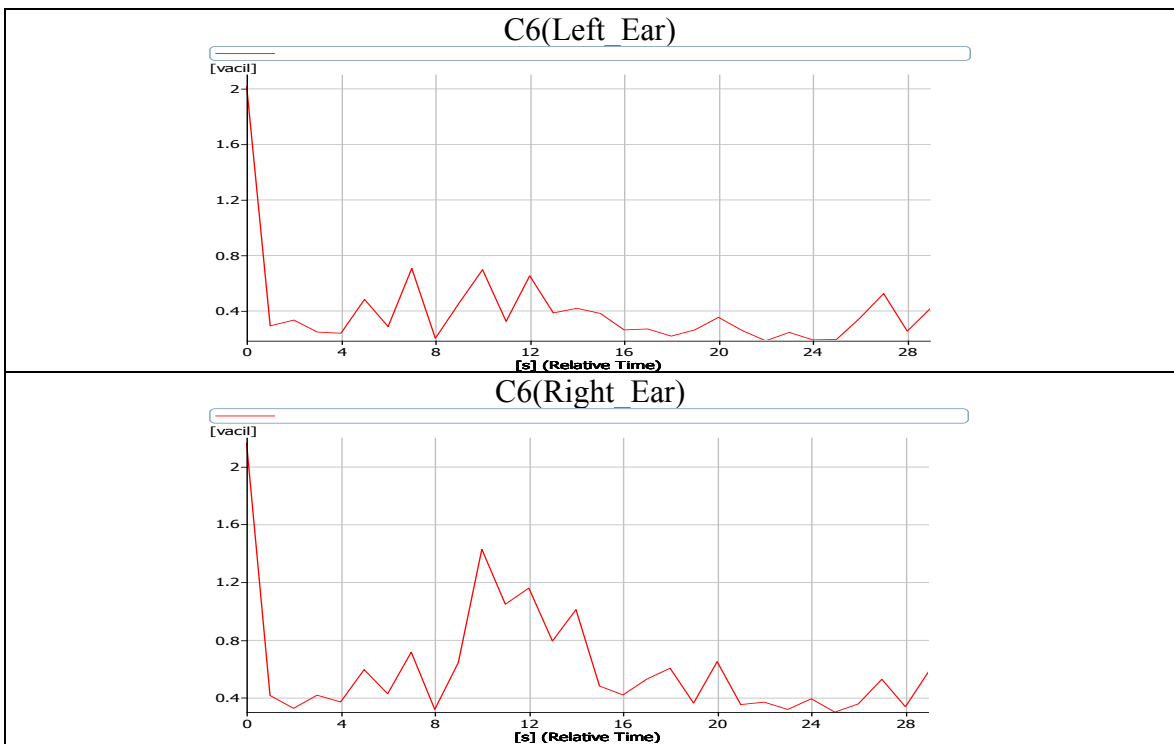


Figura 60 C6_Fluctuation Strength [vacil]

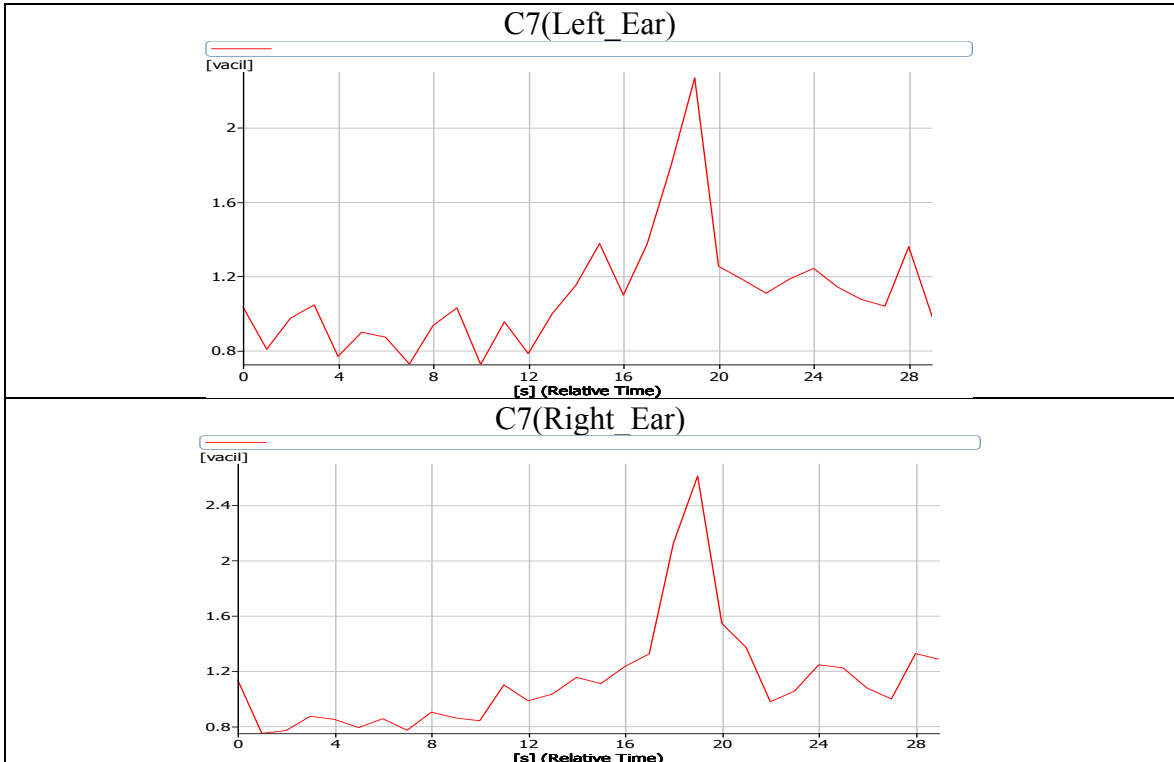


Figura 61 C7_Fluctuation Strength [vacil]

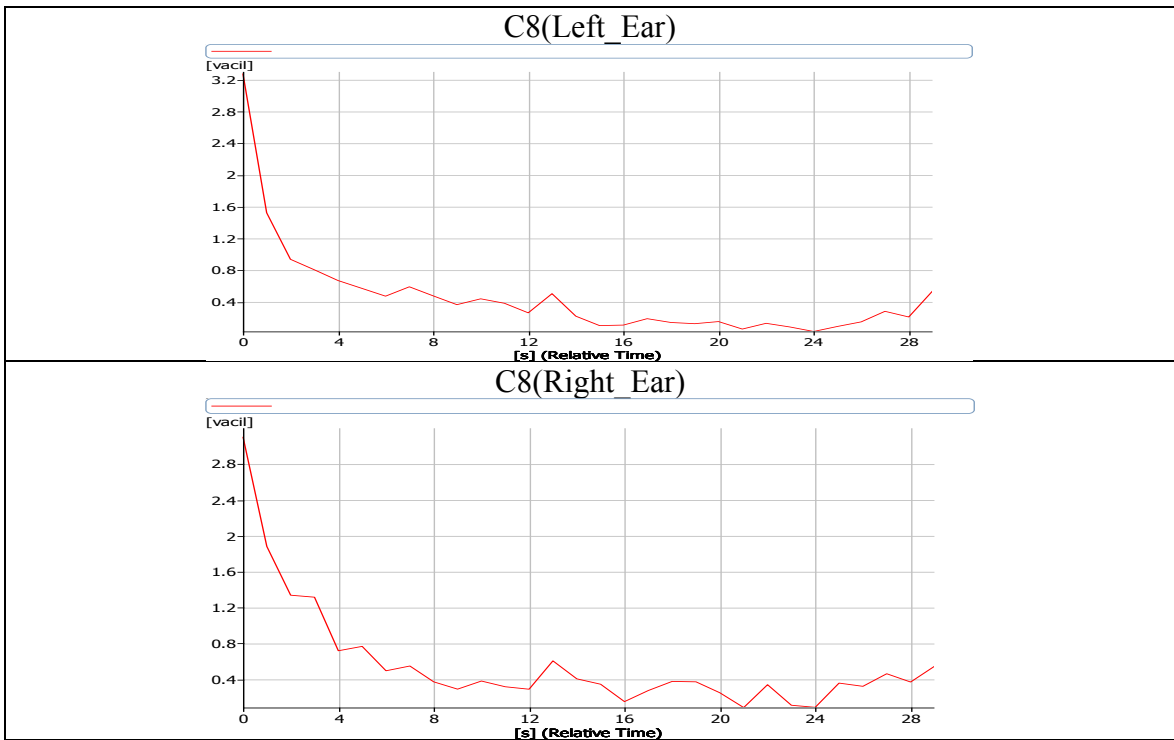


Figura 62 C8_Fluctuation Strength [vacil]

Raccolta dati soggettivi

La raccolta dei dati soggettivi sul posto attraverso delle domande da parte dell'operatore nei confronti dei partecipanti della soundwalk è stata sostituita da un questionario online creato sulla piattaforma Google.

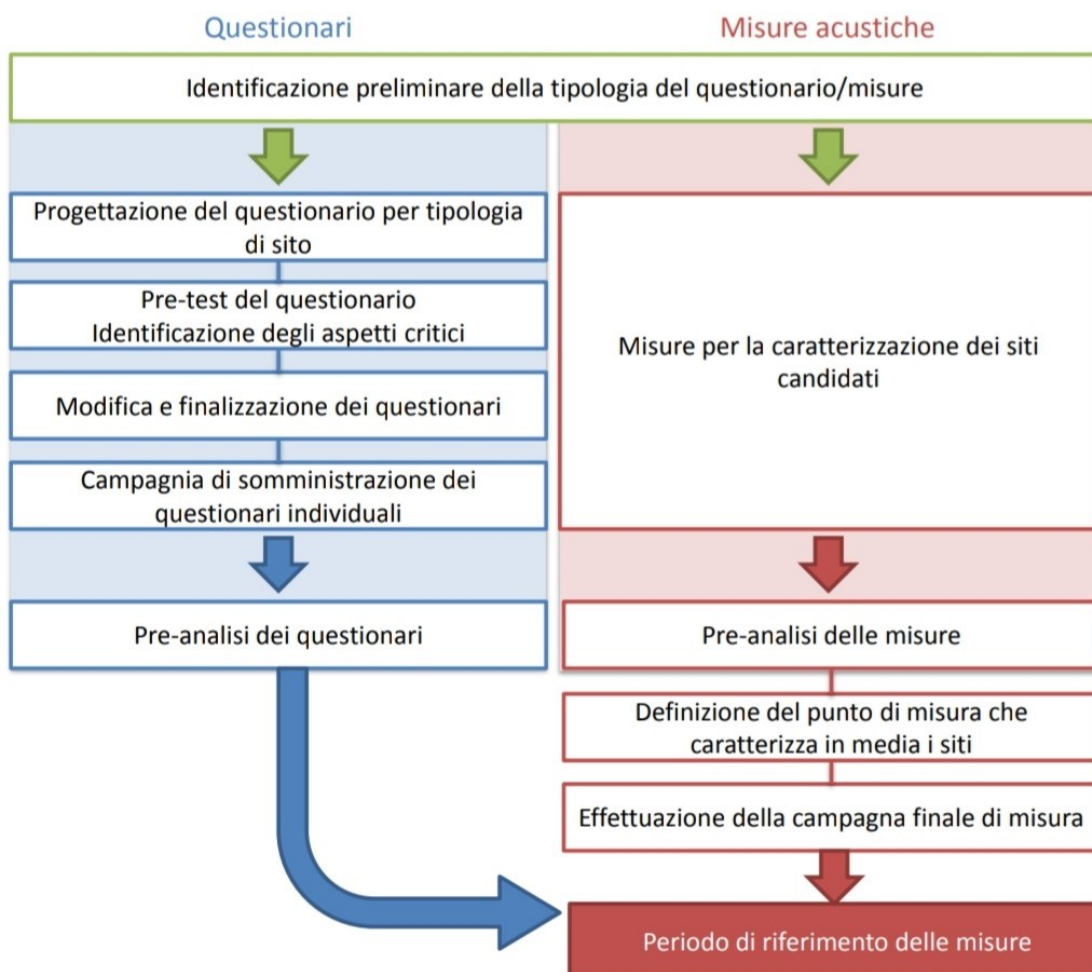



Figura 63 Schematizzazione della procedura di acquisizione dei dati oggettivi e soggettivi

Come già affermato in precedenza, si è deciso di effettuare un sondaggio. Esso è stato realizzato attraverso un questionario, con l'intenzione di ricercare la correlazione dei risultati soggettivi con le misure oggettive. Il questionario realizzato attraverso i moduli

di Google prevede una parte iniziale, dove si chiede al partecipante delle informazioni generali riguardante il cluster.



Sezione 1 di 9


Il porto di Ancona: Soundscape study

L'arte di saper ascoltare è più che mai un'urgenza oggi giorno poiché il nostro sistema percettivo sonoro è sollecitato quotidianamente da innumerevoli quantità di suoni artificiali che sovrastano quelli naturali del territorio. In questo test si chiede all'ascoltatore di immergersi completamente nel paesaggio proposto praticando un ascolto "Attento" con lo scopo di restituire onore al rumore di fondo del mondo in cui viviamo scavando nell'intimo del nostro rapporto con l'Ambiente Sonoro.

Il test è completamente anonimo. Non sono richiesti dati personali.

Figura 64 Questionario-1

Visiti spesso questo luogo? *



- Ogni giorno
- Una volta a settimana o molto spesso
- Alcune volte al mese
- Una volta al mese o molto poco

Figura 65 Questionario-2

<p>In quale fascia oraria giornaliera visiti maggiormente questa zona? *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> Durante la mattina<input type="radio"/> Durante l'ora di pranzo<input type="radio"/> Durante il pomeriggio<input type="radio"/> Nella sera	<p>Quanto tempo resti al massimo in questa zona? *</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> 0-15 min<input type="radio"/> 16-30 min<input type="radio"/> 60-120 min<input type="radio"/> oltre 120 min
--	--

Figura 66 Questionario-3

Perchè visiti maggiormente questo luogo? *

- Per lavoro
- Per passeggiare con il mio cane
- Per camminare/correre
- Per incontrare altre persone
- Per la natura
- Per rilassarmi
- Per sentire musica
- Per leggere

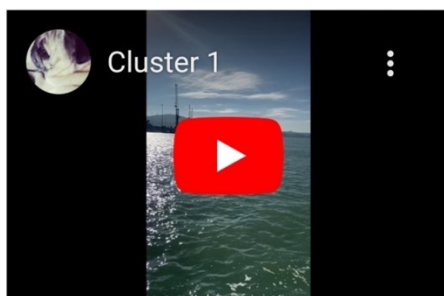
Figura 67 Questionario-4

Nella parte successiva vengono presentati i cluster dove sono state effettuate le misurazioni e per ognuno di essi vengono poste le stesse domande. In ogni scheda sarà riportata la registrazione video combinata con la registrazione binaurale. L'utente sarà così immerso visivamente nel luogo e potrà dare informazioni circa la sensazione che prova vivendolo.

Descrizione del Paesaggio Sonoro Cluster-1

Si prega l'ascoltatore di dotarsi di un paio di cuffie prima di effettuare il test e di rispondere alle domande solo dopo aver visionato ogni paesaggio proposto.

CLUSTER 1 - C1



Riesci a distinguere i seguenti tipi di suono del paesaggio proposto? *

1 (Niente affatto), 2 (un pò), 3 (moderatamente), 4 (molto), 5 (domina completamente)

	1	2	3	4	5
RUMORE DEL T...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
ALTRO RUMOR...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SUONO DAGLI ...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SUONI NATURA...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SUONI PROGET...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
EFFETTI ACUST...	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 68 Questionario-5

Come descriveresti l'ambiente sonoro in quest'area? *

1 (Assolutamente in disaccordo), 2 (In disaccordo), 3 (Nè d'accordo, nè in disaccordo), 4 (D'accordo), 5 (Assolutamente d'accordo)

	1	2	3	4	5
piacevole	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
familiare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
caratteristico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
rilassante	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
calmo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
noioso	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
naturale	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
caotico	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Nel complesso, in che misura l'attuale ambiente sonoro risulta essere concorde con il luogo? *

Indicare un punteggio su una scala da 1 a 10 punti.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

La sonorità del paesaggio non risulta affatto correlata con la visione di quest'ultimo

La sonorità del paesaggio è perfettamente correlata con la visione di quest'ultimo

Nel complesso, come descriveresti l'attuale paesaggio? *

Indicare un punteggio su una scala da 1 a 5 punti.

1 2 3 4 5

Molto brutto Molto bello

Figura 69 Questionario-6

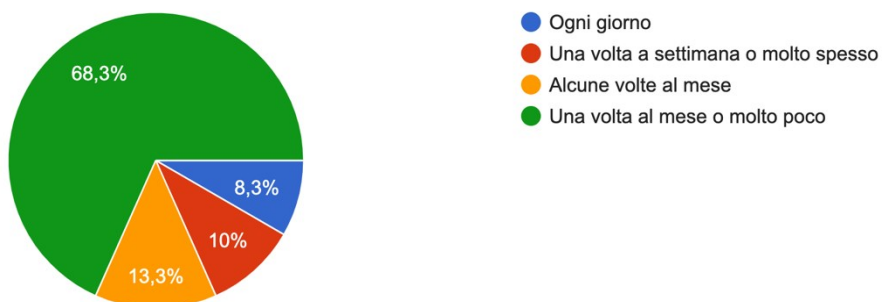
Una volta realizzato è stato caricato sul web e condiviso tramite social media.

ANALISI DATI SOGGETTIVI

L'analisi dati per questo lavoro di tesi vuole mettere l'accento sulla risposta del questionario proposto. Di seguito, infatti, si riportano una serie di rappresentazioni grafiche tali da riassumere l'andamento della risposta soggettiva per tutti i cluster analizzati. Prima di graficare la risposta per ogni cluster si riporta nei grafici a torta l'andamento generale del campione:

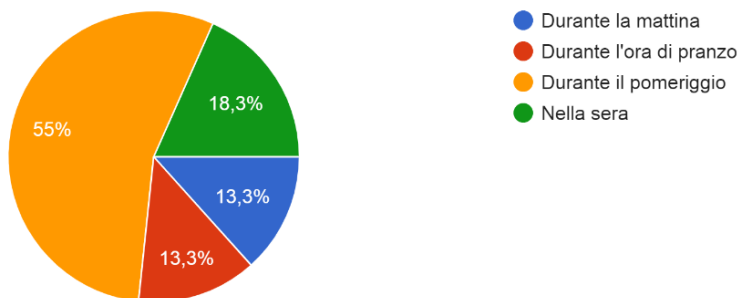
Visiti spesso questo luogo?

60 risposte



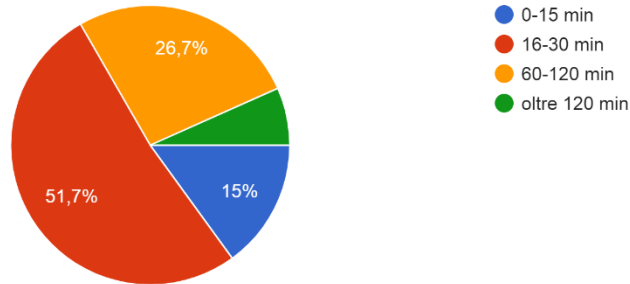
In quale fascia oraria giornaliera visiti maggiormente questa zona?

60 risposte



Quanto tempo resti al massimo in questa zona?

60 risposte



Perchè visiti maggiormente questo luogo?

60 risposte

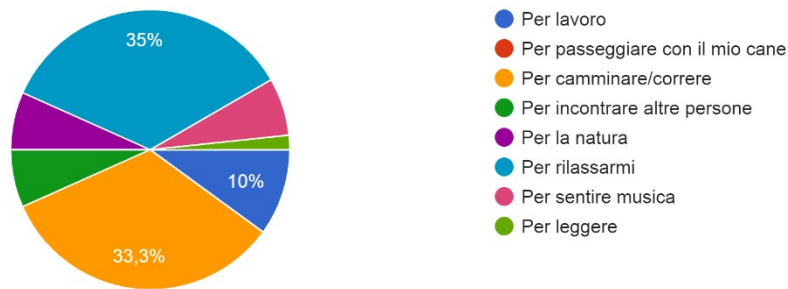


Figura 70 Andamento generale del campione umano scelto per l'esperimento

Le figure 71-78 riportano l'andamento delle risposte per 8 cluster. In particolare si pone l'accento sull'identificazione del rumore, dunque quale tipologia di emissione risulta essere presente nell'area al momento dell'ascolto e su come l'ascoltatore associa tale rumorosità ad un grado soggettivo di gradevolezza.

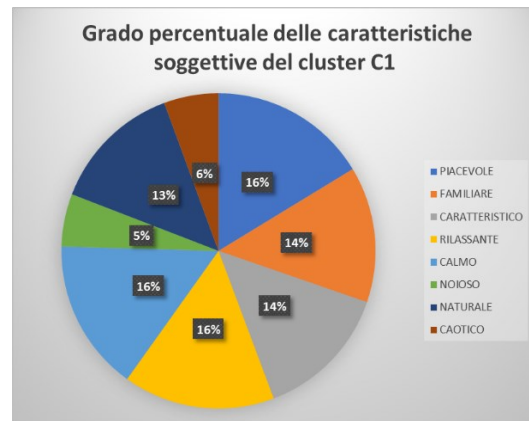
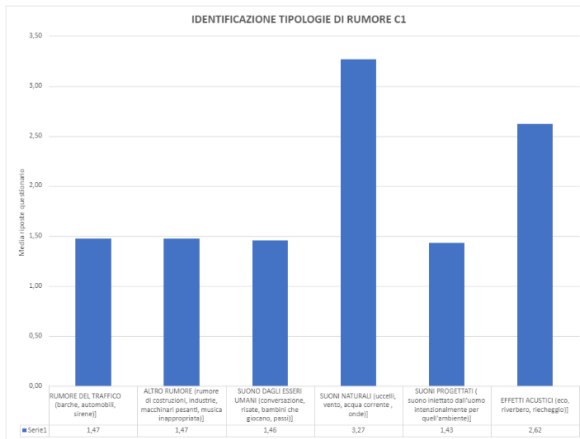


Figura 71 Analisi dati relativi al cluster C1

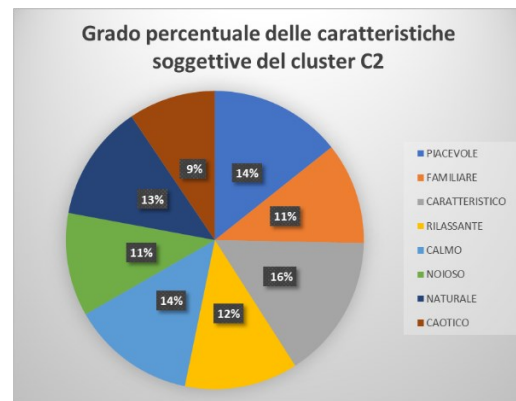
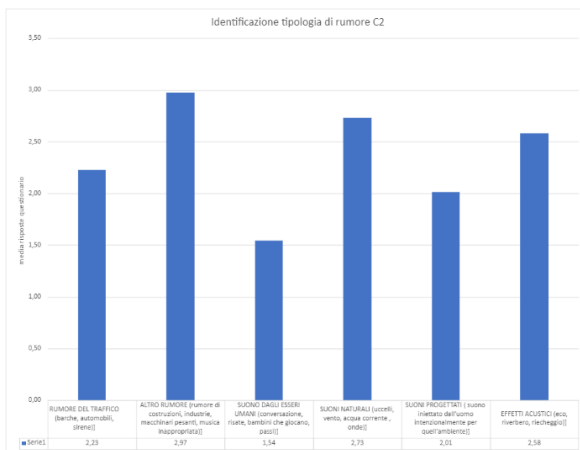


Figura 72 Analisi dati relativi al cluster C2

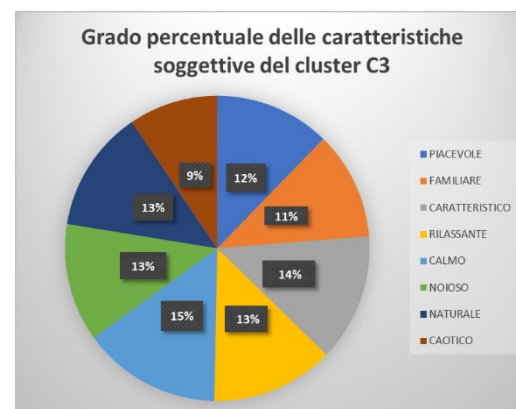
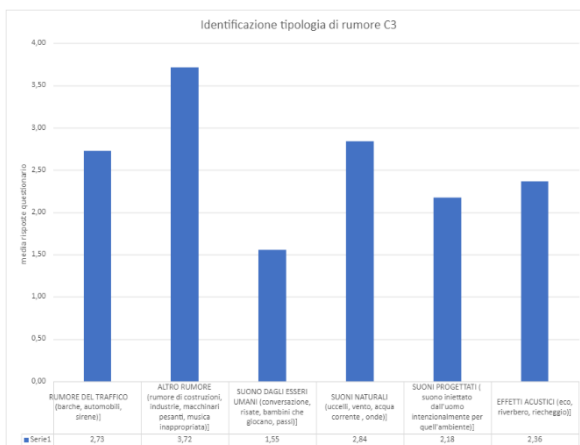


Figura 73 Analisi dati relativi al cluster C3

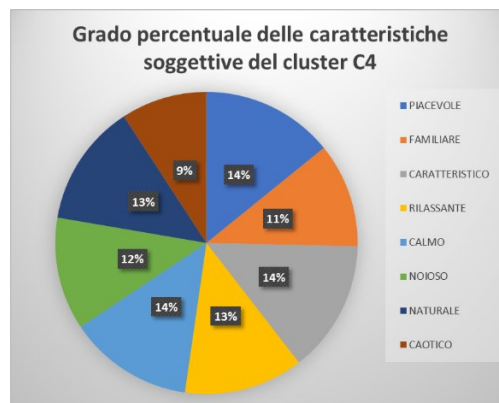
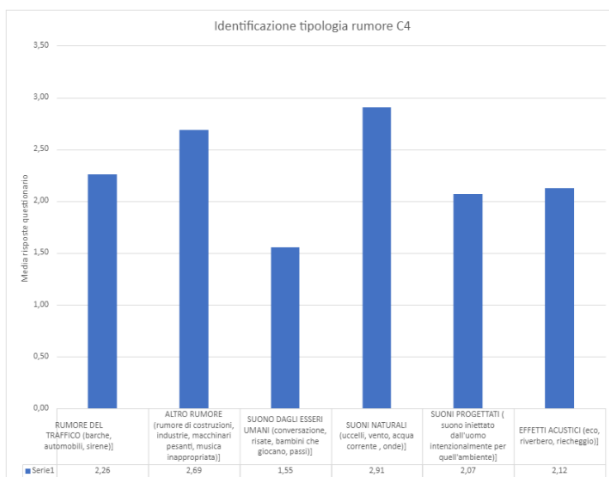


Figura 74 Analisi dati relativi al cluster C4

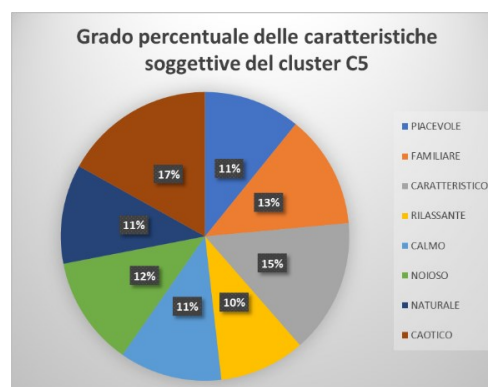
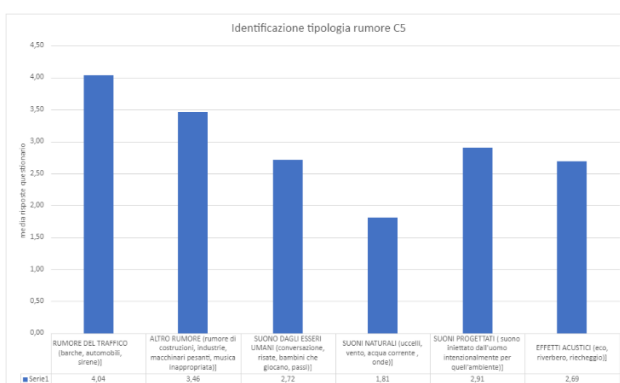


Figura 75 Analisi dati relativi al cluster C5

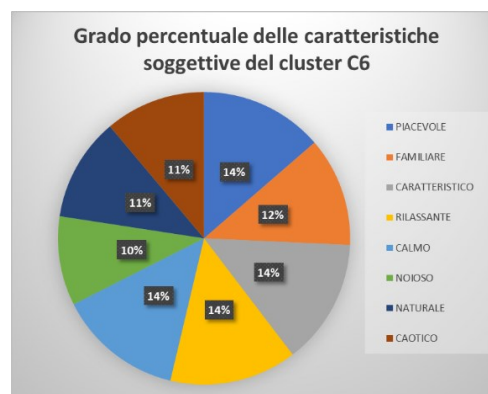
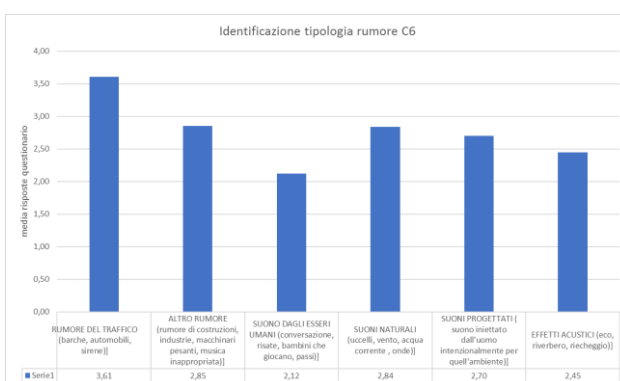


Figura 76 Analisi dati relativi al cluster C6

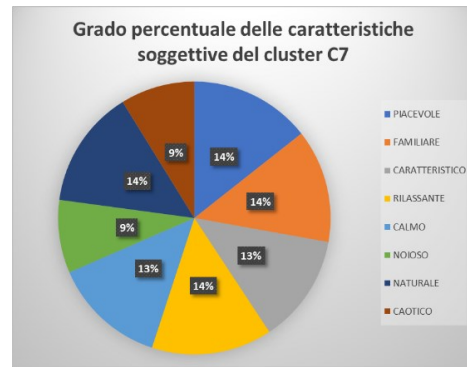
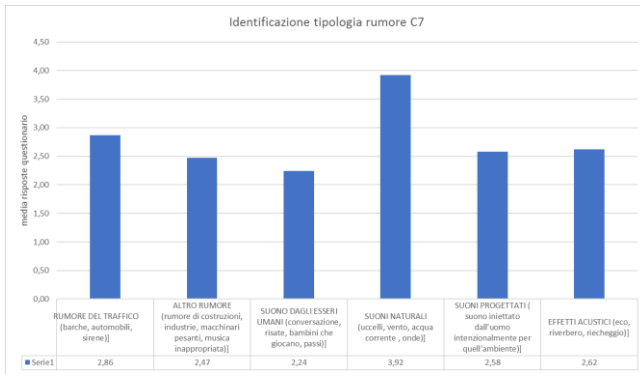


Figura 77 Analisi dati relativi al cluster C7

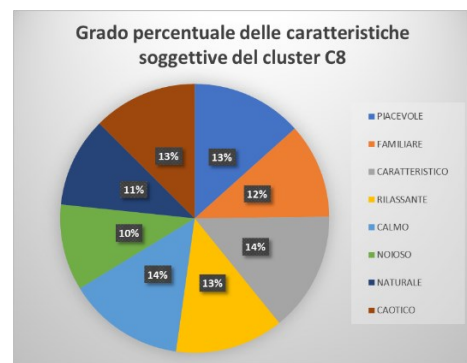
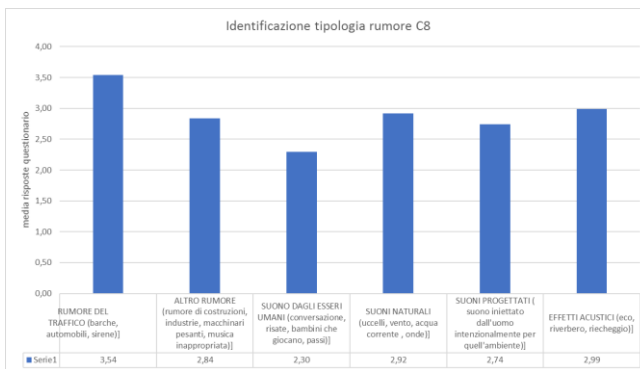


Figura 78 Analisi dati relativi al cluster C8

CONCLUSIONI

Questo lavoro di tesi ha avuto come obiettivo la messa in opera sul campo della procedura di Soundscape conforme alla normativa ISO 12913-2. A causa delle problematiche sopraggiunte per via del Covid-19 sono state fatte varianti operative del metodo per permettere lo svolgimento del lavoro. Con questo lavoro si vuole mettere ancora una volta in luce l'importanza della soggettività umana quando si effettuano misure di acustica. Lo scopo è quello di applicare la procedura di Soundscape al porto di Ancona, considerato importante in Italia dal punto di vista degli scambi internazionali ma valutato interessante per questo tipo di approccio per la dislocazione geografica delle banchine e del passeggio comune. Per effettuare questo tipo di indagini ci siamo basati oltre che sulla normativa anche sui principi base della psicoacustica e valutazione della qualità sonora. Ciò ha imposto un'indagine preliminare sul campo, una serie di misure oggettive effettuate con adeguata strumentazione ed infine una raccolta di dati soggettivi ad hoc per il caso studio. Il sondaggio svolto online ha fornito informazioni molto importanti ed emerge che i posti proposti nei cluster, sono risultati in media molto positivi e i suoni presenti sono conformi con il luogo. Le principali caratteristiche soggettive riscontrate in tutti i cluster sono la calma e la piacevolezza. La tipologia di rumore riscontrata è differente nei vari cluster. In C1, C4, C7 si sono distinti rumori relativi alla natura (acqua corrente, onde, vento), in C5 e C6 rumori del traffico (barche, auto) mentre nei cluster C2 e C3 sono stati individuati altri rumori pertinenti alle industrie, costruzioni e macchinari pesanti. Dalle statiche si nota che il cluster C5 è quello che ha trasmesso meno sensazioni positive dove il rumore prevalente è quello del traffico. Viene definito come ambiente caotico per il 17% dei partecipanti, il 15% lo definisce come caratteristico e il 13% familiare. I rilevamenti acustici, consistenti in registrazioni binaurali, hanno permesso di descrivere la rumorosità ambientale mediante gli indicatori tradizionali dell'acustica ambientale e quelli psicoacustici più direttamente relazionati alla percezione sonora. Tenendo conto solo del livello di pressione acustica i luoghi selezionati risultano classificati come "fastidiosi" in quanto hanno un'intensità media compresa tra i 30 e 65 dB(A), sotto questo valore limite è presente solo il livello di pressione sonora relativo al cluster C5. Questo dato è in contraddizione con il risultato dei test soggettivi, dove il C5 risultava essere il luogo più caotico e rumoroso. Ciò dimostra chiaramente come l'approccio classico dell'acustica tradizionale, basato esclusivamente su valutazioni legate al livello di pressione sonora ponderato A, non è in grado di esprimere al massimo il concetto di qualità di un ambiente sonoro. Il lavoro nel suo complesso ha consentito di testare sul campo una metodologia e di fornire una significativa esperienza operativa che si è rivelata fondamentale per la stesura di una procedura conforme alla normativa ISO 12913-2.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Murray Schafer, R., "*The New Soundscape*", BMI CANADA LIMITED, 1969
- [2] Murray Schafer, R. "The tuning of the world", 1977.
- [3] Aletta, f., Guattari, C., Evangelisti, L., Asdrubali, F., OBERMAN, T., KANG, J., "*Exploring the compatibility of "Method A" and "Method B" data collection protocols reported in the ISO/TS 12913- 2:2018 for urban soundscape via a soundwalk*", Applied Acoustics, vol 155, pp 190-203, 2019.
- [4] Jo, H., Seo, R., Jeon, J., "*Soundscape assessment methods: Compatibility of questionnaires and narrative interview based on ISO 12913-2*", 2020.
- [5] Brambilla, G., Masullo, M., Pascale, A., Sorentino, F., "*The soundwalk at Alghero*", Rivista Italiana di Acustica, Vol. 40 , N. 3, pp. 52-62, 2016.
- [6] Zwicker E., Fastl H., "*Psychoacoustics Facts and Models*", Springer- Verlag Berlin Heidelberg, 1990.
- [7] Adams, M., Bruce, N., Davies, W., Cain, W., Jennings, P., Carlyle, P., Cusack, P., Hume, K., Plack, C., "*Soundwalking as methodology for understanding soundscapes*", Vol. 30. Pt.2., 2008.