



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE
FACOLTA' DI INGEGNERIA

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

**SOUNDSCAPE E IMMAGINI SONORE DEL
PORTO DI ANCONA**

*A correlation between soundscape and sound images in the port of
Ancona*

Relatore:
Ing. Fabio Serpilli

Tesi di Laurea di:
Sara Falghera

Correlatore:
Ing. Valter Lori

Anno accademico 2020/2021

INDICE

INTRODUZIONE	4
IL SUONO	5
Apparato uditivo umano	4
Grandezze acustiche	7
Livelli nel tempo	7
Le curve di Ponderazione.....	8
L'analisi in frequenza	9
LA PSICOACUSTUCA ED IL SOUND QUALITY.....	11
Grandezze psicoacustiche	12
Bande critiche	12
Loudness	13
Fluctuation Strenght	18
Roughness.....	20
Sharpness	23
Tonality	25
IL SOUNDSCAPE.....	27
APPROCCIO METODOLOGICO	30
Misure oggettive.....	31
Clusterizzazione del porto di Ancona.....	34
Raccolta dati soggettivi.....	36
Analisi dati soggettivi.....	41
Analisi statistica	45
CONCLUSIONI.....	50
BIBLIOGRAFIA	51

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1 APPARATO Uditivo umano	6
FIGURA 2 Orecchio medio	7
FIGURA 3 Le curve di ponderazione	10
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	20
FIGURA 7 Modello per fluctuation strength e roughness	21
FIGURA 8 Andamento della fluctuation strength per orecchio destro e sinistro	23
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	24
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	26
FIGURA 11 Andamento del peso G(z) al variare del numero di bark	28
FIGURA 12 Andamento della sharpness per orecchio destro e sinistro	29
FIGURA 13 Esempio domanda questionario secondo il metodo A della normativa ISO/TS parte 2	32
FIGURA 14 Esempio domanda questionario secondo il metodo B della normativa ISO/TS parte 2	33
FIGURA 15 Schematizzazione della normativa ISO 12913	34
FIGURA 16 Schematizzazione dell'approccio metodologico per la valutazione della qualità sonora	35
FIGURA 17 Strumentazione utilizzata per la misurazione	36
FIGURA 18 Anatomia del procedimento di ascolto binaurale	37
FIGURA 19 Clusterizzazione area portuale	40
FIGURA 20 Cluster area porto antico	41
FIGURA 22 Fotografia panoramica scattata al tramonto dal cluster C2	42
FIGURA 21 Arco clementino e duomo di San Ciriaco	41
FIGURA 23 Schematizzazione della procedura di acquisizione dei dati oggettivi e soggettivi	43
FIGURA 24 Questionario percezione visiva cluster C2	47
FIGURA 25 Grafico relativo alla percentuale di frequentazione del luogo	48
FIGURA 26 Grafico a torta che mette in evidenza la percentuale elementi disturbanti l'ambiente sonoro	48
FIGURA 27 Grafico a torta relativo all'inserimento di elementi favorevoli	49
FIGURA 28 Valutazione delle caratteristiche geografiche/spaziali del cluster relazionate con i giudizi espressi dagli intervistati	50
FIGURA 29 Analisi dei dati percentuali riferiti alle caratteristiche soggettive	51
FIGURA 30 Correlazione tra i parametri visivi e sonori riguardanti le caratteristiche soggettive	52
FIGURA 31 Spiegazione grafica della correlazione legata al valore assunto dall'indice di Pearson	54
FIGURA 32 Risultati dell'analisi di regressione	55

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: RISULTATI DELLE MISURE BINAURALI OTTENUTI CON CUFFIE ROLAND CS10-EM	39
TABELLA 2 VALORI OTTENUTI DALLA REGRESSIONE POLINOMIALE	56

INTRODUZIONE

L'arte di sapere ascoltare è oggi più che mai un'urgenza. Il nostro sistema percettivo è sollecitato quotidianamente da innumerevoli quantità di suoni artificiali che sovrastano quelli naturali del territorio. Lo studio e la teorizzazione del Soundscape ("Paesaggio Sonoro") è ad oggi un argomento importante e discusso a livello internazionale. Si tratta dell'educazione all'ascolto e della capacità che hanno i suoni che ci circondano di condizionare il nostro stato d'animo e la visione di ciò che ci circonda. Quando si parla di Paesaggio Sonoro, termine coniato da Micheal Southworth e reso popolare da R. Murray Shafer, si indica lo studio dell'ambiente acustico naturale, consistente nei suoni delle forze della natura e degli animali, inclusi gli uomini. È importante per questo tipo di studio la correlazione tra ambiente visivo e suoni percepiti, in modo che l'interazione uomo-suono, uomo-immagine, e di conseguenza suono-immagine sia ottimale. Per questo preciso motivo, in questo lavoro di tesi, si è scelto di dedicare un'analisi a quest'ultima relazione. In uno studio precedente è stata effettuata la clusterizzazione dell'area portuale di Ancona, zona geografica altamente densa di attività commerciali e crocevia di scambi internazionali. Il porto di Ancona è stato suddiviso in otto cluster, ognuno dei quali rappresentativo di alcune scene acustiche. In questo lavoro, al fine di comprendere quanto l'intenzione visiva pesasse o dipendesse dalla sensazione sonora si è scelto il cluster C2, poiché comprensivo di numerose immagini positive e sede di attività ricreative particolarmente gradite dal cittadino. Si è valutata la qualità acustica tramite misure oggettive effettuate in situ con cuffie Binaurali Roland CS-10EM sfruttando le tipiche grandezze acustiche, in particolare il livello di pressione sonora [db(A)], e i parametri psicoacustici quali Loudness, Sharpness, Roughness e Fluctuation Strenght, che tengono conto, oltre che delle fluttuazioni energetiche, anche delle sensazioni umane. La raccolta dei dati soggettivi è stata effettuata utilizzando un questionario online sulla piattaforma Google. In questo lavoro di tesi si è cercato di sfruttare la precedente analisi del paesaggio sonoro sul porto di Ancona con lo scopo di determinare non solo quanto l'ambiente percettivo sia concorde con i suoni del porto stesso ma valutandone anche la risposta visiva. A tale scopo è stato creato un ulteriore test soggettivo riguardante solo la percezione visiva dell'ambiente, integrato con immagini del paesaggio e domande di carattere generale. Le considerazioni finali sull'interazione suono-immagine sono state ricavate matematicamente con un'analisi di regressione, utilizzando i dati raccolti dalle misure e dai questionari.

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 $35+80 : 1$. 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.

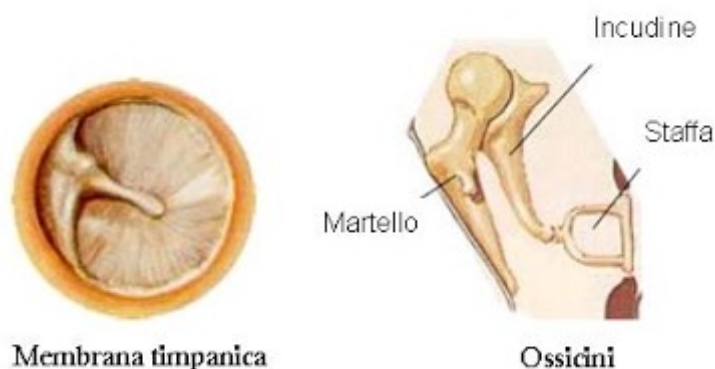


Figura 2 Orecchio medio

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:

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

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 L_{eq} , 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 T_0 è pari ad 1 s, $p(t)$ è la pressione istantanea e non il valore rms, t_2-t_1 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)

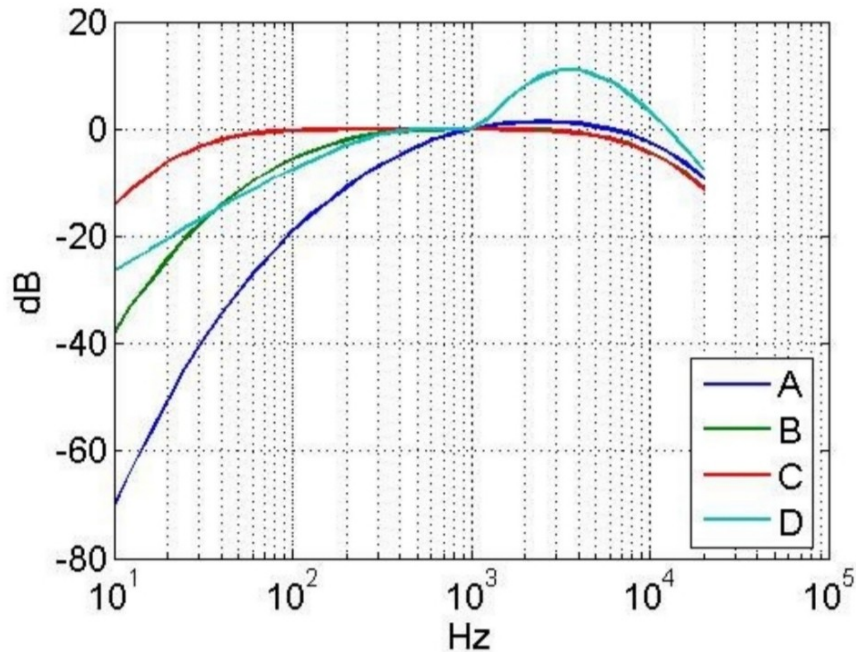


Figura 3 Le curve di Ponderazione

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 sestimi, 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. Con il termine *Sound Quality* si indicano, nel loro complesso, le caratteristiche di un suono che contribuiscono a renderlo piacevole. 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

La 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. Tali curve rappresentano il livello di pressione che deve avere un suono, alle diverse frequenze, per provocare la stessa sensazione; in altre parole le curve sono il luogo dei punti che determinano la stessa sensazione sonora. Il diagramma evidenzia che l'uomo ha scarsa sensibilità per i suoni a bassa frequenza. Viceversa, superati i 1000 Hz, c'è un avvicinamento ad una

massima sensibilità che si verifica a circa 3500 Hz poi, aumentando ulteriormente la frequenza, si ritorna ad una bassa sensibilità di ricezione. 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:

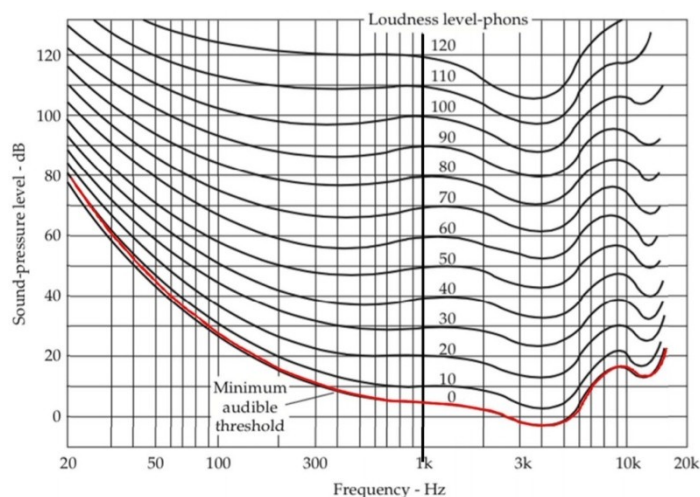


Figura 4 Le isofoniche di Fletcher e Munson

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.

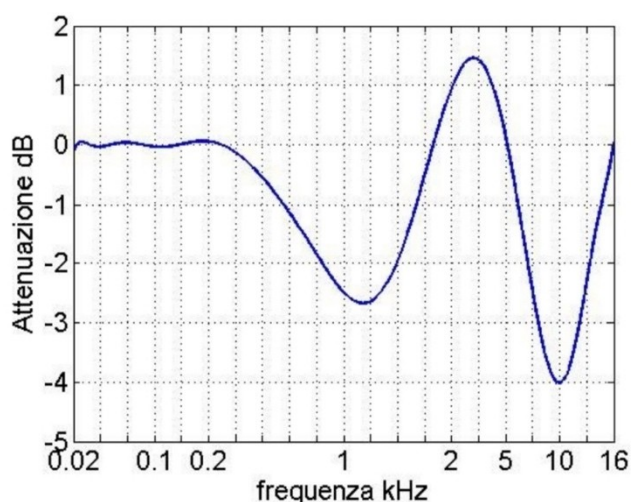


Figura 5 Attenuazione in dB da applicare in campo diffuso

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 ETQ, 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:

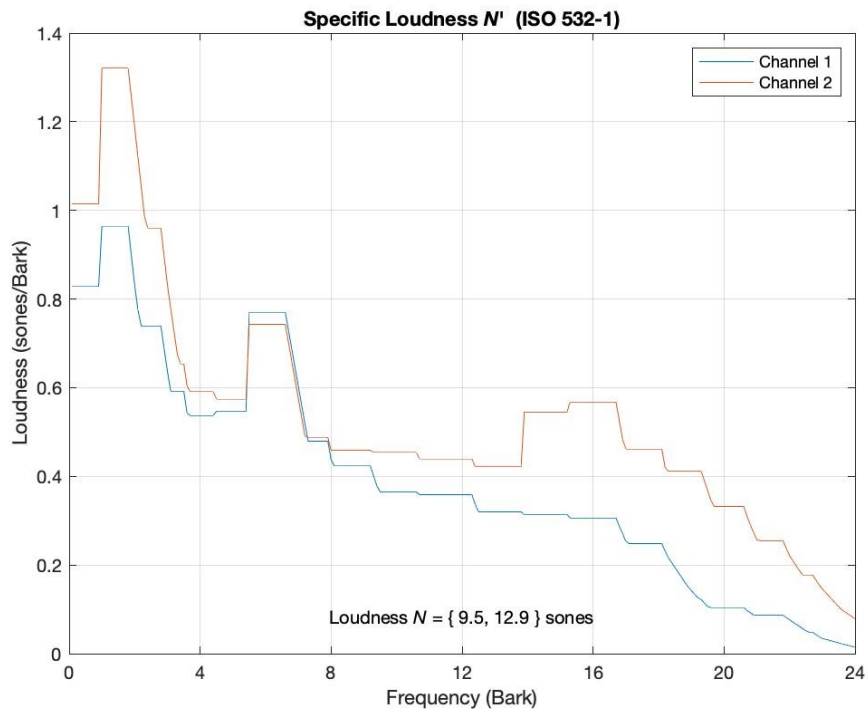


Figura 6 Andamento della Loudness specifica in funzione della frequenza

Fluctuation Strenght

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:

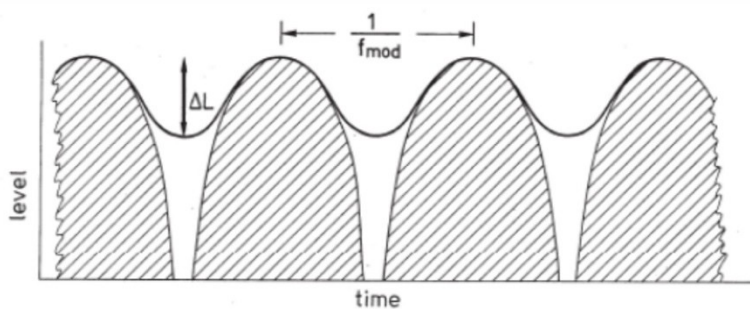


Figura 7 Modello per fluctuation strength e roughness

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:

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

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

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

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

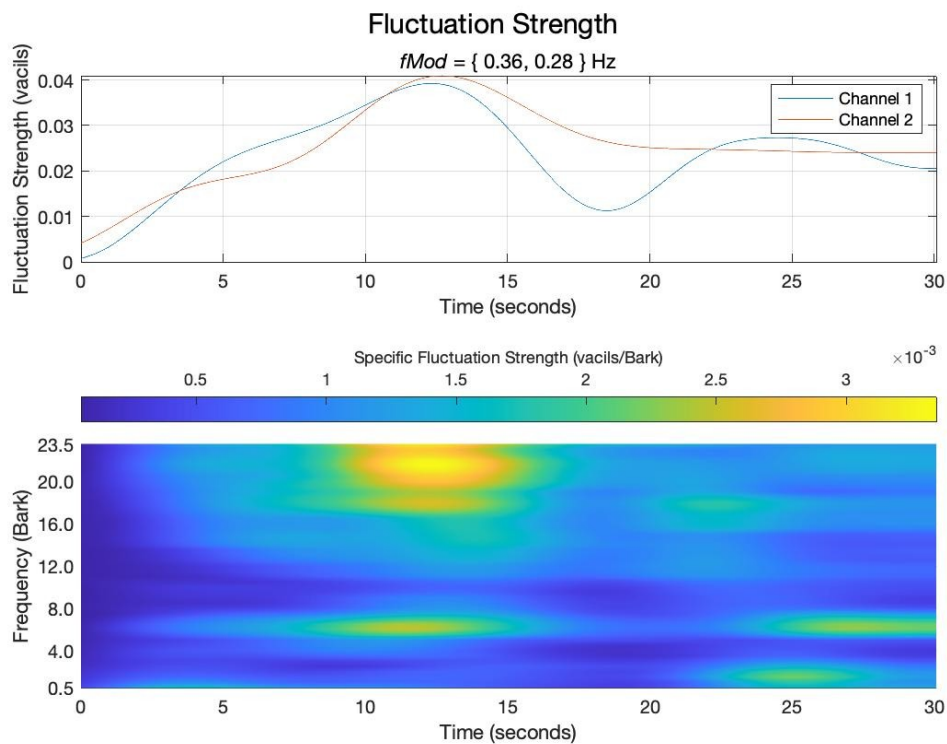


Figura 8 Andamento della fluctuation strength per orecchio destro e sinistro

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:

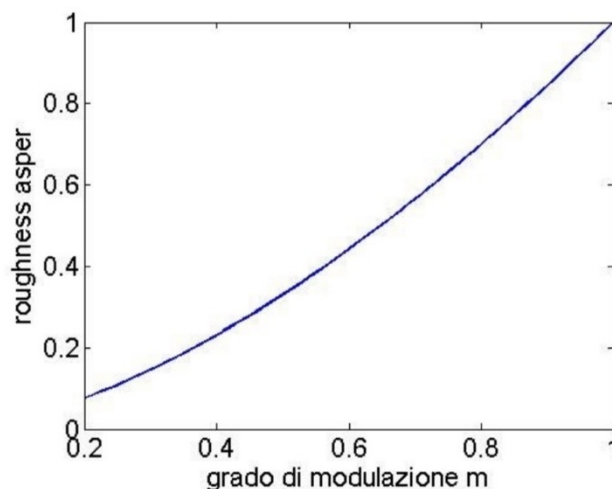


Figura 9 Andamento della roughness con il grado di modulazione, valori in %, per un tono di 1kHz con 60 dB Spl e frequenza di modulazione pari a 70 Hz

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:

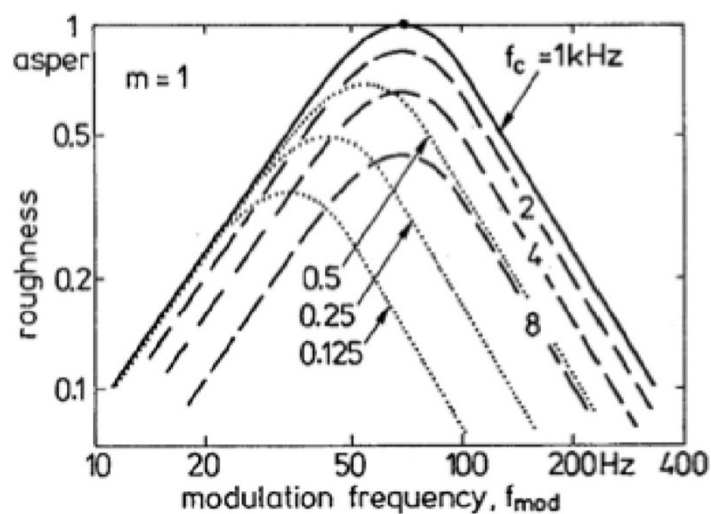


Figura 10 Variazione della roughness al variare della frequenza di modulazione in ampiezza e della frequenza centrale del tono, con modulazione al 100%, livello spl costante pari a 60 dB

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:

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

$$\text{Con } Z \geq 14$$

$$\text{Altrimenti } g(z) = 1$$

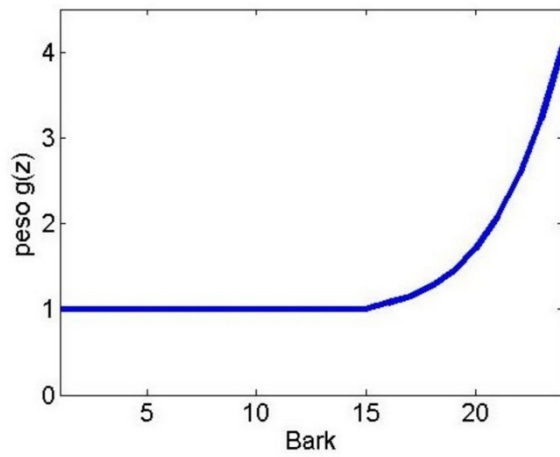


Figura 11 Andamento del peso $g(z)$ al variare del numero di Bark

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:

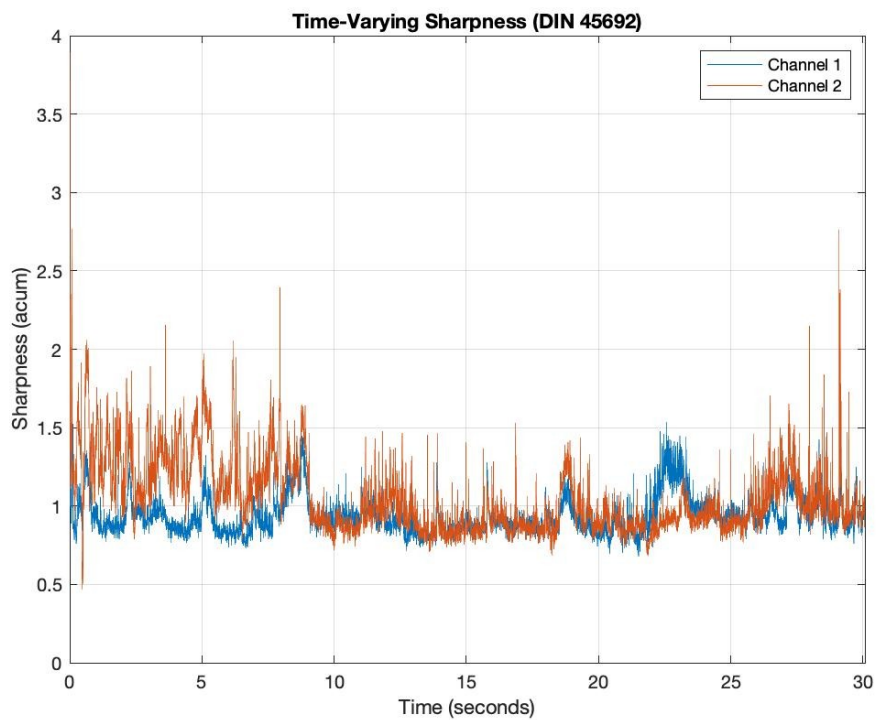


Figura 12 Andamento della sharpness per orecchio destro e sinistro

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 [1]. 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 [7]. 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 [3]. 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 [4]. 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:

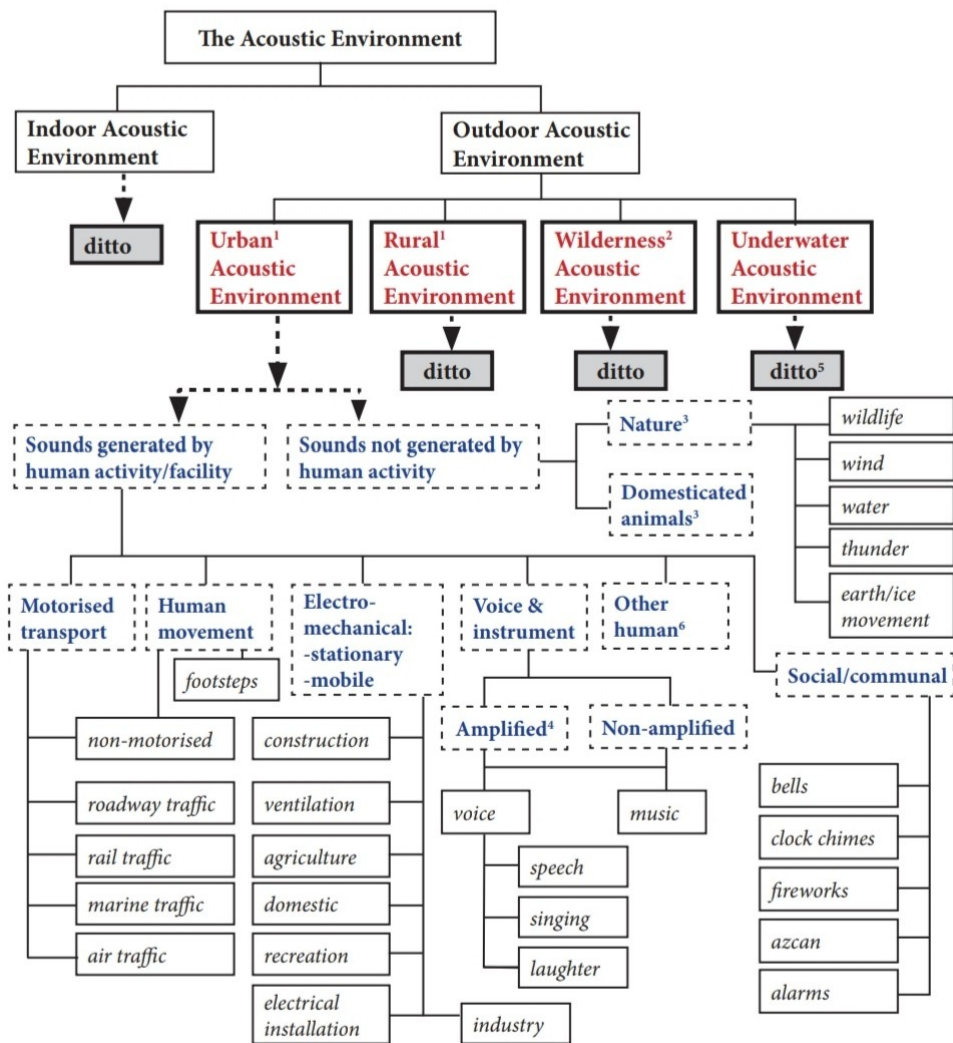
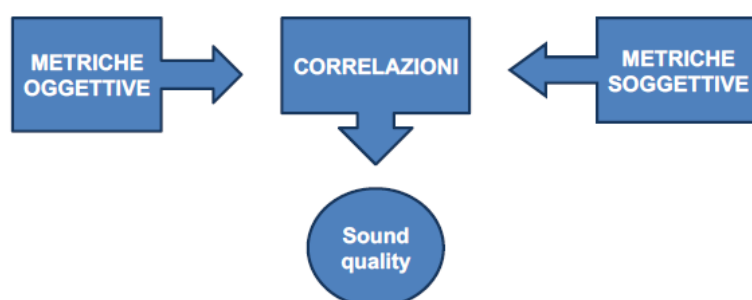


Figura 15 Schematizzazione della normativa ISO 12913

APPROCCIO METODOLOGICO

La caratteristica oggettiva del paesaggio sonoro può essere analizzata sfruttando la combinazione delle metriche tradizionali (LAeq, Lmax e Lmin) con quelle della psicoacustica (L, S, R, FS) inoltre, vengono sfruttati i percentili dei livelli sonori (L5, L10, L50 e L90) come indicatori del paesaggio sonoro e naturalmente gli indicatori psicoacustici per affrontare il tema della sensibilità dell'udito umano. In *Psychoacoustics fact and Methods*, Zwicker descrive “*the features of the human hearing system in acoustical communications*”, ovvero, la comunicazione acustica è uno dei prerequisiti fondamentali per l'esistenza della società umana. Risulta implicito l'obiettivo della psicoacustica ovvero, quello di capire come le persone percepiscono e sperimentano il suono. Questo può essere fatto ad un livello basso; ad esempio, potremmo voler capire con quanta precisione si può localizzare una sorgente sonora, o potremmo voler misurare la più piccola variazione nel livello del suono che puoi rilevare. Discutere di paesaggio sonoro, ecologia sonora o impressione sonora senza considerare la qualità sonora impressa nell'ambiente è impossibile. Questo perché la valutazione della relazione tra l'ambiente acustico/uditivo e le risposte e le caratteristiche comportamentali delle persone che vivono al suo interno, risulta essere una correlazione indispensabile per caratterizzare la percezione umana del suono quotidiano e sviluppare modi per migliorare il suono dell'ambiente costruito e quindi riconoscere l'essenza dei paesaggi sonori, allontanarsi dall'attenzione al rumore negativo e identificare un mezzo attraverso il quale il concetto di paesaggi sonori possa essere efficacemente incorporato nella pianificazione urbana. Il problema principale individuato da Zwicker fu proprio quello di introdurre una sorta di criterio per la valutazione della qualità sonora. Il primo problema riguarda l'identificazione di quelle grandezze psicoacustiche (indicate come metriche) determinate sulla base di risposte soggettive e misure oggettive in campo. Allo stato attuale non esiste una procedura standardizzata, la letteratura però offre una serie di indicazioni il cui scopo è quello di individuare i parametri fisici, dunque misurabili, tramite i quali poter sostituire l'individuo al fine di predire la qualità del suono di un certo prodotto.



Misure Oggettive

Il metodo di misura per l'analisi del Soundscape è standardizzato nella ISO 12913-2. Per il rilievo e la memorizzazione della rumorosità ambientale si è proceduto con registrazioni binaurali durante passeggiate sonore [5]. Tali registrazioni vengono generalmente effettuate sfruttando una testa binaurale. In questo lavoro è stato scelto un approccio di misura molto meno oneroso in termini di tempo, sia di misura che di elaborazione ciò grazie all'utilizzo della cuffia microfonica binaurale indossata da un operatore, in particolare cuffie binaurali Roland CS-10EM:



Figura 17 Strumentazione utilizzata per la misurazione

Il CS-10EM combina monitoraggio in-ear e registrazione binaurale, migliorando la praticità e la registrazione sul campo.

Caratteristiche/specifiche:

- *Microfono a condensatore stereo compatto, di alta qualità, integrato negli auricolari*
 - *Registratore: tensione di funzionamento da 2V a 10V*
- *Design tutto-in-uno permette di monitorare durante la registrazione*
 - *Design sofisticato del contenitore riduce il feedback*

Ulteriori specifiche:

Microfono:

- **Elemento:** *Condensatore electret*

- **Figura polare: Omnidirezionale**
- **Risposta in frequenza: 20Hz a 20.000 Hz**
- **Aprire il circuito sensibilità: -40 dB 1V/Pa**
 - **S/N: Maggiore di 60 dB**
 - **Impedenza: 2.2 k & # 937;**
- **Requisiti di alimentazione: 2 V a 10 V**

La registrazione binaurale (a due orecchi) è un metodo di registrazione tridimensionale del suono che ha il fine di ottimizzare la registrazione per il suo ascolto in cuffia, riproducendo il più fedelmente possibile le percezioni acustiche di un ascoltatore situato nell'ambiente originario di ripresa dell'evento sonoro, mantenendone le caratteristiche direzionali a 360° sferici. Il meccanismo fondamentale si basa sul fatto di possedere due orecchie e non una sola. Tramite l'ascolto binaurale, cioè con entrambe le orecchie, il nostro sistema percettivo è in grado di confrontare le caratteristiche fisiche del suono che perviene alle due orecchie e di ricavare, da tale confronto, informazioni sulla posizione della sorgente che l'ha generato.

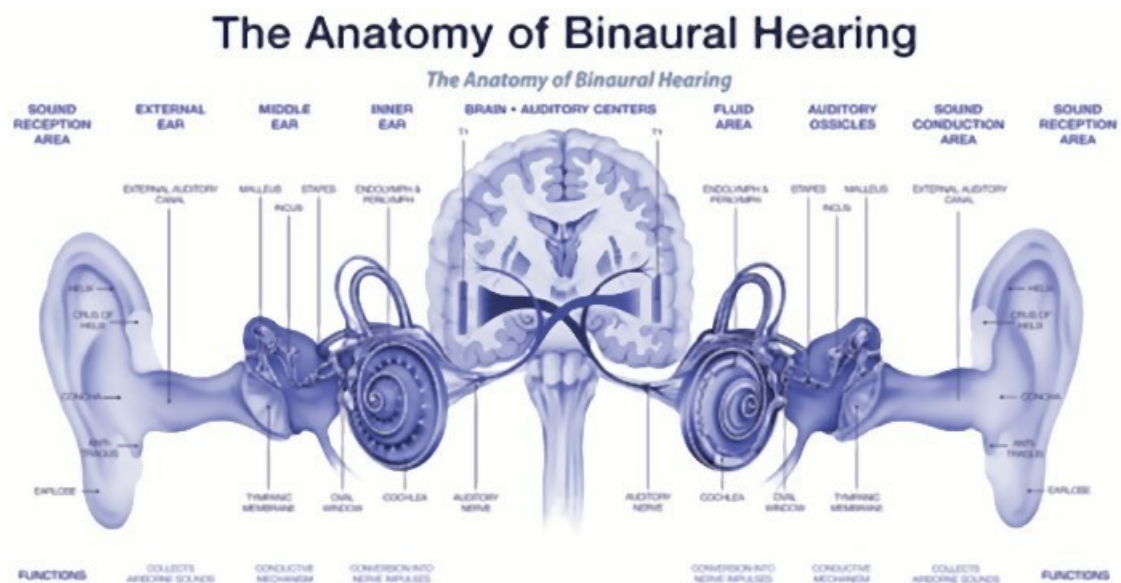


Figura 18 Anatomia del procedimento di ascolto binaurale

Come fare la misura:

- 1- Assicurarsi che le condizioni meteo siano favorevoli (assenza di pioggia , assenza di vento o non superiore a 3 m/s);
- 2- Posizionarsi nei cluster stabiliti ed effettuare una registrazione di almeno 32 s,
- 3- Generare reportistica video e fotografica del cluster selezionato.

L'acquisizione dei parametri dell'acustica tradizionale e della psicoacustica è avvenuta in tempo reale durante una giornata caratteristica della zona presa in esame. Per la misura sono stati presi in considerazione: livello di pressione sonora (SPL) [dBA], Loudness [sone], Sharpness [acum], Fluctuation Strength [vacil] e Roughness [asper]. In particolare, per questo lavoro di tesi, si è scelto di effettuare le misure mediante la cuffia binaurale. L'acquisizione con cuffia ha permesso di rilevare in modo significativo ed attento quelle che sono le variazioni sonore dell'ambiente. Le cuffie sono state indossate da un operatore per tutto il tempo della misura, l'acquisizione è durata circa 2 ore. In questo lasso temporale è stato possibile misurare svariate tipologie di rumore (continuo, discontinuo, impulsivo, ...) propri dell'ambiente esterno, in questo caso del porto. La prima elaborazione ha permesso di eliminare parte delle acquisizioni che non contestualizzassero le sonorità tipiche del porto. Per fare ciò si sono sfruttate le tecniche di dsp standard. Per questa tesi si sono considerati 30s di acquisizione relativi ad un momento di particolare silenzio, tipico dell'area sotto esame. Questa scelta è stata dettata dalla consapevolezza di voler indagare le peculiarità dell'ambiente e soprattutto considerare l'intimità che l'uomo stabilisce con ciò che sente. Per le misure oggettive sono stati selezionati i parametri della psicoacustica precedentemente descritti e il livello di pressione sonora SPL [dBA]. L'analisi dei parametri è stata eseguita con software specifico e sono stati calcolati e graficati i principali parametri acustici e psicoacustici caratterizzanti l'ambiente sonoro. Le misure sono state processate mediante software specifico. Tali software commerciali mettono a disposizione moduli che integrano l'elaborazione dell'SPL con la valutazione del sound quality. Il software permette di creare un diagramma a blocchi in cui ogni blocco svolge una funzione ben precisa, una serie di collegamenti che messi in correlazione tra loro processano il segnale secondo la normativa ISO 532 parte 1 metodo Zwicker. Di

seguito i riporta la tabella contenente il risultato dei parametri precedentemente descritti e calcolati sia per l'orecchio destro che per l'orecchio sinistro.

	SPL [dBA]	Loudness [sone]	Sharpness [acum]	Fluctation Strenght [vacil]	Roughness [asper]
C2-left	32	4,8	1,15	0,18	2,22
C2-right	34	5,2	2,17	0,18	1,39

Tabella 1: Risultati delle misure binaurali ottenuti con CUFFIE Roland CS10-EM

I risultati ottenuti mostrano uno scarto significativo che esiste nella captazione tra orecchio destro ed orecchio sinistro. Ciò rappresenta un fattore estremamente favorevole per analisi di questo tipo, in quanto dimostra come misure fatte all'esterno siano particolarmente differenti rispetto ad un ascolto in ambiente indoor. Non si notano particolari differenze invece per quanto riguarda la variabilità della fluttuazione.

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. In particolare, questo studio è incentrato sul Cluster C2, ovvero l'area del molo Clementino, che si trova nell'area del Porto Antico, localizzato nella parte nord-orientale dell'intero ambito portuale.

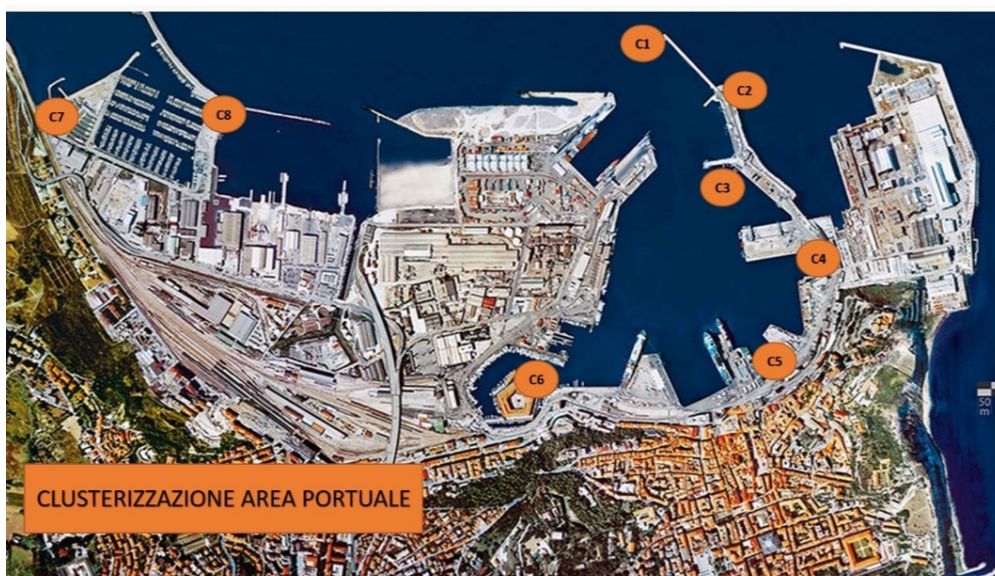


Figura 19 Clusterizzazione area portuale

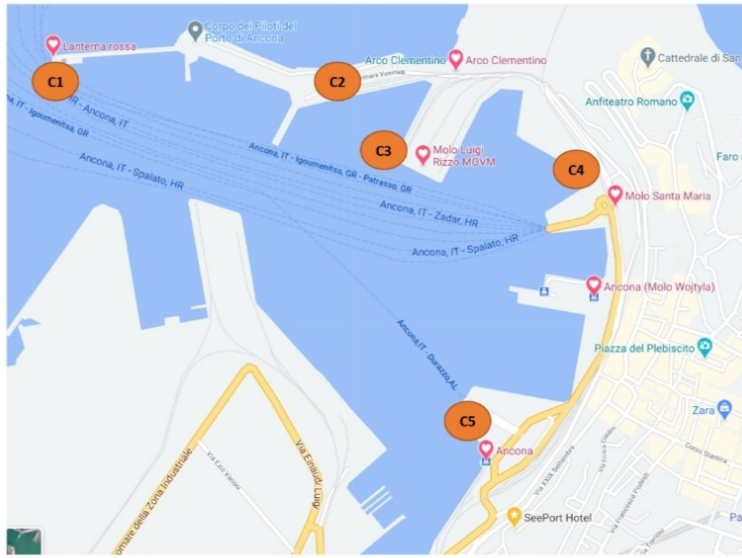


Figura 20 Cluster area Porto Antico



Figura 21 Arco Clementino e Duomo di San Ciriaco



Figura 22 Fotografia panoramica scattata al tramonto dal Cluster C2

Raccolta dati soggettivi

Gli studi sulla psicoacustica prevedono, oltre che misure di particolari parametri, un'importante analisi dello stato d'animo dell'uomo. L'analisi soggettiva riguarda quelle che sono le sensazioni e le percezioni che l'essere umano ha quando si interfaccia con una qualsiasi sorgente. In particolare, nello studio del Soundscape, si vogliono indagare le reazioni emotive dell'uomo nei confronti di un paesaggio urbano. Lo scopo di questo lavoro è stato quello di indagare quanto le sensazioni sonore fossero correlate con la percezione visiva del molo Clementino da parte dei fruitori. Per l'indagine sonora è stato costruito un test di ascolto caratterizzante del Cluster C2. Il test precedentemente sfruttato per un'indagine di tipo esplorativa è stato costruito su una piattaforma online e distribuito mediante social media. Il test inglobava in sé la registrazione dei suoni del Cluster fatta con le cuffie binaurali ed una serie di domande riguardanti la piacevolezza e la familiarità del suono sotto esame. All'ascoltatore è stato chiesto di fornire una risposta in merito alle proprie percezioni dando un giudizio su una scala graduata da 1 a 5, dove 1 rappresentava il giudizio più negativo e 5 il più positivo. 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, questo a causa della limitazione degli spostamenti in periodo di pandemia. Di seguito si riporta una tabella che riassume la procedura di acquisizione di dati soggettivi ed oggettivi per l'analisi del paesaggio sonoro.

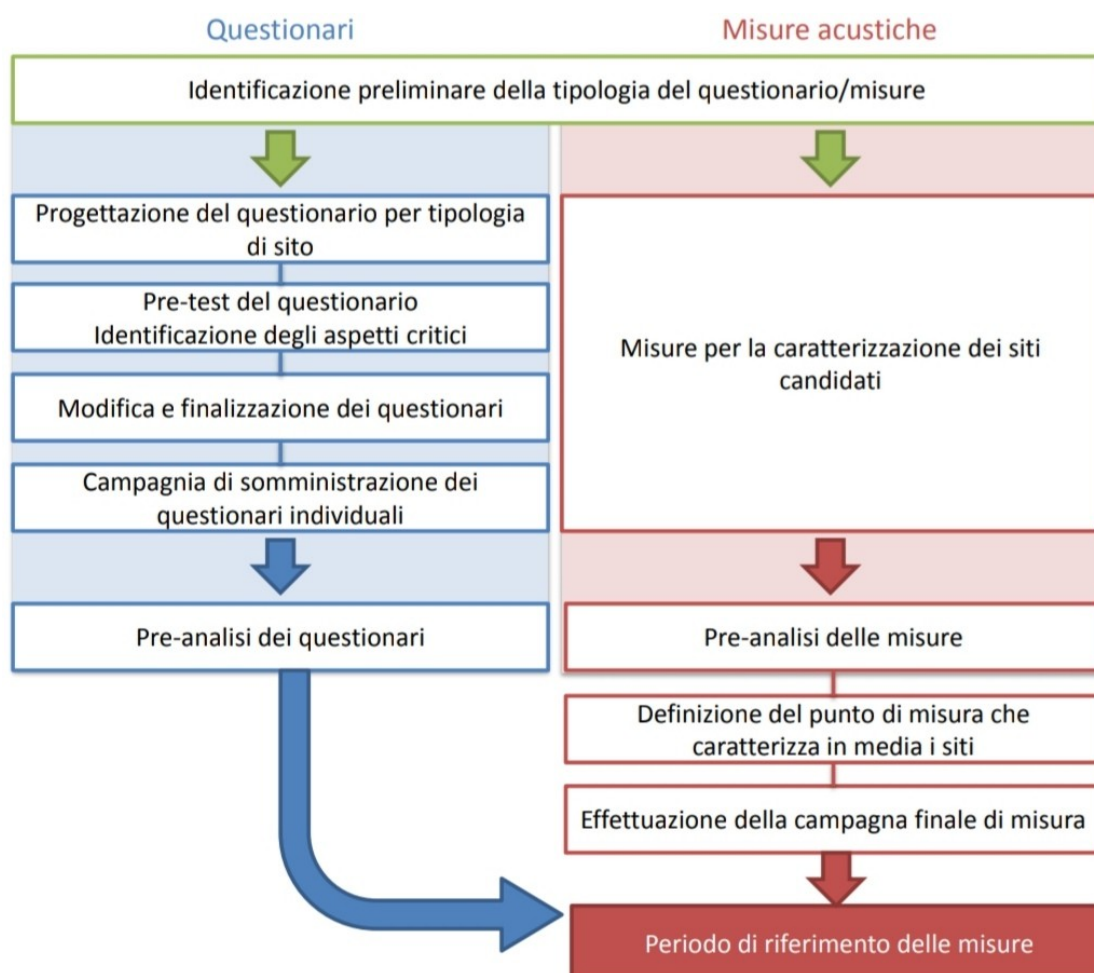


Figura 23 Schematizzazione della procedura di acquisizione dei dati oggettivi e soggettivi

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. Il questionario oggetto della tesi è incentrato su domande riguardanti la percezione visiva scaturita dal Cluster C2. Di seguito si riporta per maggiore chiarezza

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

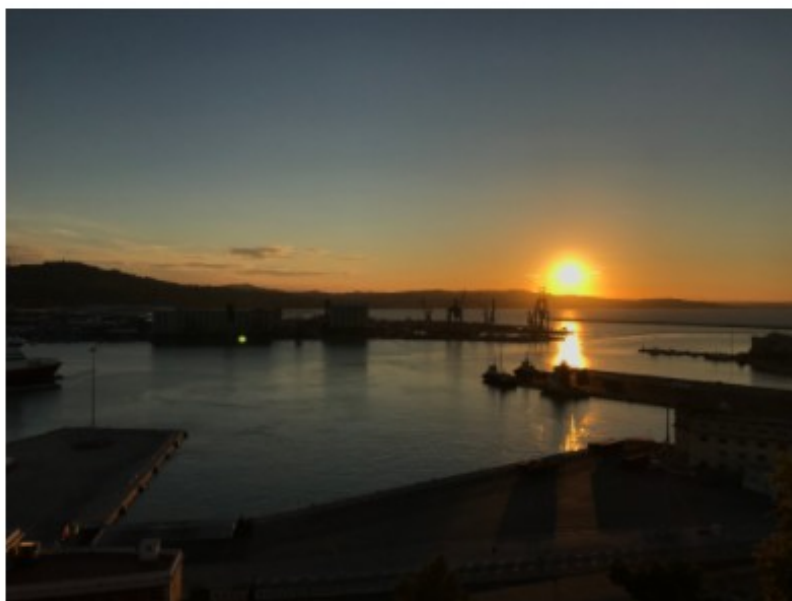
Descrizione del Paesaggio Visivo Cluster-2 (PORTO DI ANCONA (Italy))

Alla luce della precedente indagine ove si è fatto riferimento esclusivamente alla percezione sonora del paesaggio, questa volta si chiede al partecipante al test di indicare la percezione visiva di quest'ultimo al fine di ampliare l'indagine soggettiva.

Il test è completamente anonimo.

*Campo obbligatorio

Cluster 2 - C2



Visiti spesso questo luogo? *

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

Esprimi un giudizio sulla soddisfazione rispetto ad alcune caratteristiche del luogo. *

1(per niente), 2(poco), 3(moderatamente), 4(abbastanza), 5(molto)

	1	2	3	4	5
Traffico, inquinamento, rumore	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sporcizia/Pulizia delle strade	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Degrado/Stato di manutenzione degli edifici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dotazione di aree verdi, spazi per attività ricreative, sportive	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficoltà di parcheggio	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Difficoltà di accesso ai mezzi pubblici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sicurezza per l'accesso in bicicletta o a piedi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Offerta culturale e ricreativa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Qualità estetica degli edifici e degli spazi pubblici	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Come descriveresti l'ambiente visivo in quest'area in relazione all'ambiente sonoro? *

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"/>
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"/>

Quali sono gli elementi visivi che danno impressioni favorevoli in questa località?
 1(per niente), 2(poco), 3(moderatamente), 4(abbastanza), 5(molto)



	1	2	3	4	5
Cantieri Navali	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mare	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Elementi architettonici (es. Arco Clementino)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vista Duomo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Come valuti la vista sul paesaggio storico?
 Indicare un punteggio su una scala da 1 a 5 punti.



	1	2	3	4	5	
Non adatta all'ambiente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Adatta all'ambiente

In che momento della giornata preferisci visitare questo luogo?

- Alba
- Metà mattinata
- Primo pomeriggio
- Tramonto
- Sera

Con quali mezzi visiti questo luogo?

- A piedi
- In bicicletta
- Con mezzi pubblici
- In auto

Quali elementi vorresti "togliere" dal paesaggio?

- Container
- Navi in costruzione
- Automobili/camion
- Dossi/segnaletica
- Tralicci
- Infrastrutture
- Niente

Quali elementi aggiungereesti per rendere più piacevole l'ambiente?

- Aree verdi
- Bar/Ristoranti
- Negozi
- Campi sportivi
- Piste ciclabili e pedonali
- Lampioni
- Bidoni per la raccolta differenziata dei rifiuti
- Fermate dei servizi pubblici
- Niente

Figura 24 Questionario percezione visiva Cluster C2

Analisi dati soggettivi

Dopo aver ottenuto un numero di risposte valide pari a 98, si è andato a valutare l'andamento dei dati soggettivi grazie anche all'aiuto delle rappresentazioni grafiche fornite da Google in relazione all'andamento generale dei questionari svolti.

Visiti spesso questo luogo?



Figura 25 Grafico relativo alla percentuale di frequentazione del luogo

Quali elementi vorresti "togliere" dal paesaggio?

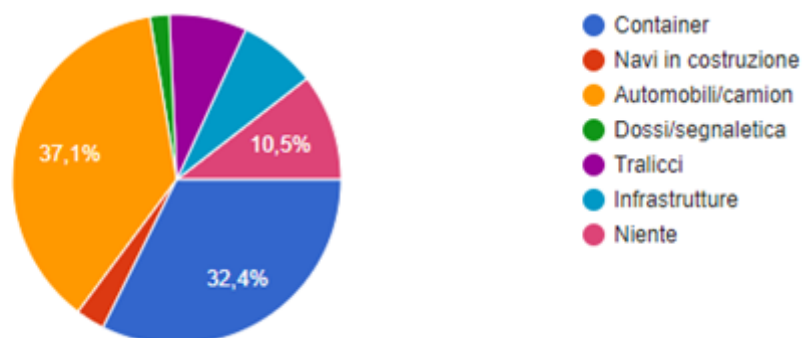


Figura 26 Grafico a torta che mette in evidenza la percentuale elementi disturbanti l'ambiente sonoro

Quali elementi aggiungereesti per rendere più piacevole l'ambiente?

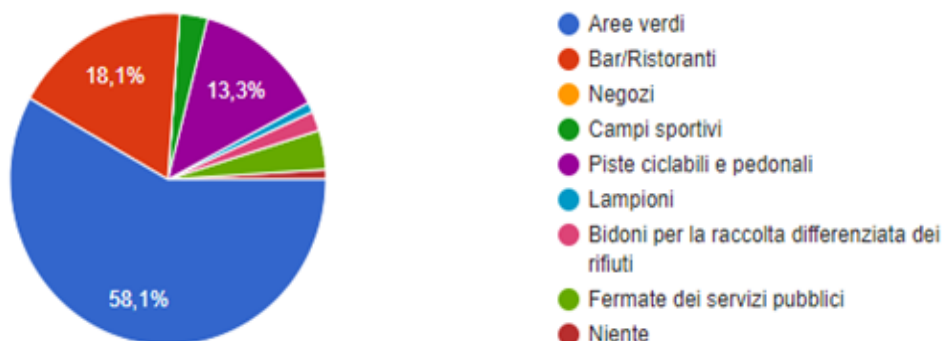


Figura 27 Grafico a torta relativo all'inserimento di elementi favorevoli

In base ai grafici precedenti, si pone l'attenzione sulla sgradevolezza data dalla presenza di infrastrutture, automobili ed autoarticolati, che potrebbero essere attenuate andando ad inserire nel paesaggio aree verdi, piste ciclabili, pedonali ed aree di ristorazione, come per esempio dei bar.

Andando poi a valutare le caratteristiche spaziali del Cluster, gli intervistati hanno messo l'accento sulla difficoltà di parcheggio, difficoltà della circolazione a piedi causata dalla presenza di mezzi in movimento, apprezzando però la qualità estetica data dagli edifici e degli spazi pubblici del luogo.

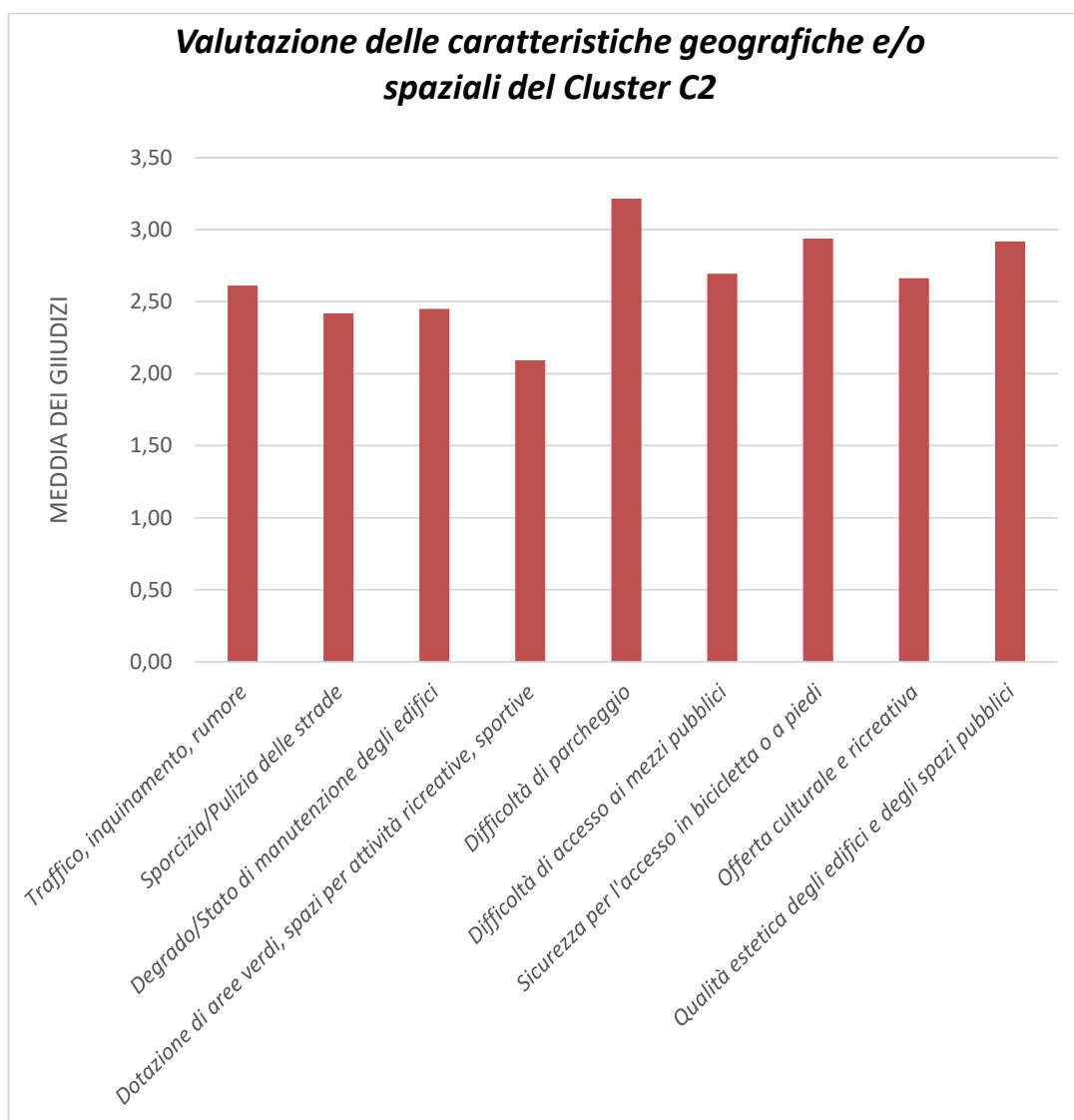


Figura 28 Valutazione delle caratteristiche geografiche/spaziali del cluster relate con i giudizi espressi dagli intervistati

Per quanto riguarda gli aggettivi legati alle sensazioni visive date dal Cluster, interessanti per questo tipo di studio, si è riscontrata una suddivisione equa e concorde da parte degli intervistati, vedendo visibilmente dal grafico a torta sottostante una percentuale quasi uguale per ogni aggettivo legato alla percezione visiva.

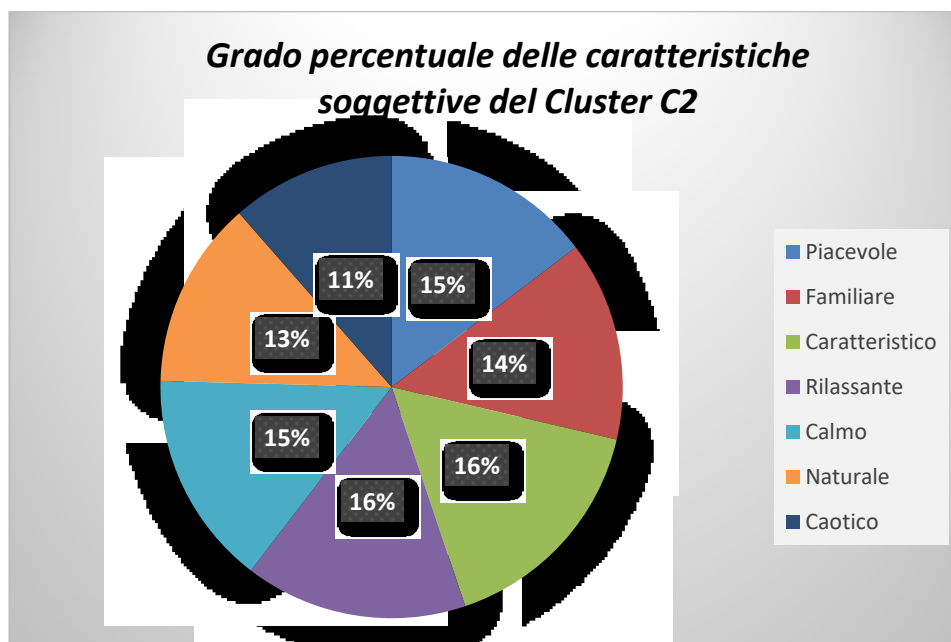


Figura 29 Analisi dei dati percentuali riferiti alle caratteristiche soggettive

Analisi statistica

L'analisi dati è stata condotta sfruttando i modelli matematici offerti dalla letteratura. Per prima cosa si sono confrontati i dati ricavati dal precedente questionario sulle sensazioni sonore con quelli prelevati dal questionario fatto riguardante le sensazioni visive soggettive del Cluster C2. Innanzitutto si è proceduto con la normalizzazione del dataset soggettivo andando a cogliere in entrambi i casi quelle che potevano essere le sensazioni comuni in termini di piacevolezza, familiarità e naturalezza del cluster. Si è calcolata la media aritmetica dei giudizi forniti dagli ascoltatori nell'intorno del gap 0-5 rispettivamente non in accordo e perfettamente in accordo con la richiesta. Di seguito si riporta il grafico che mette in luce la comparazione che esiste tra tali sensazioni in funzione della media dei giudizi ottenuti.

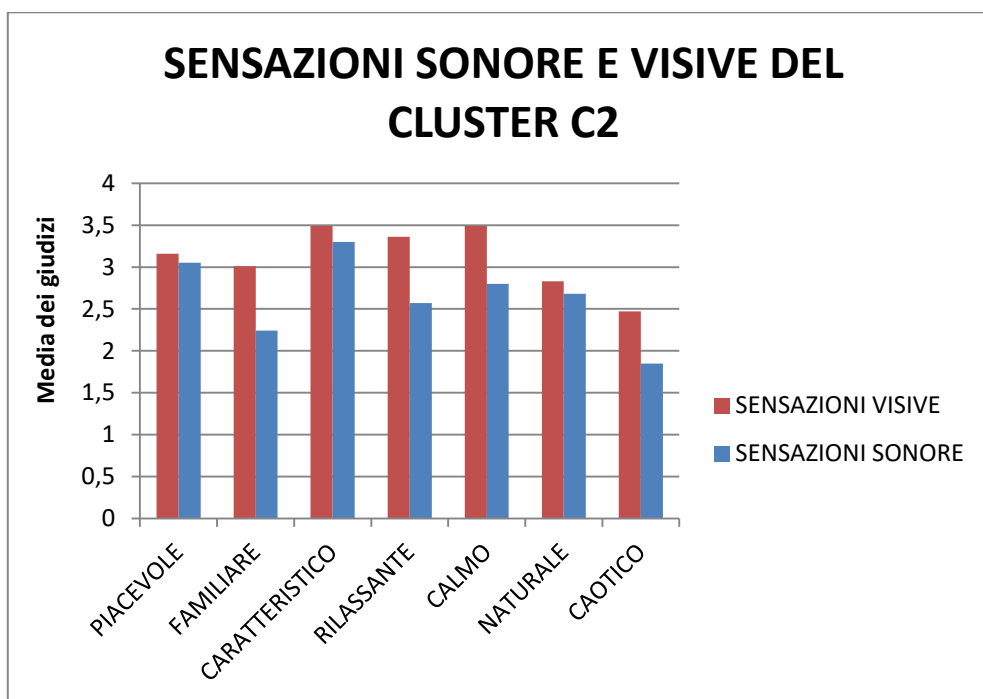


Figura 30 Correlazione tra i parametri visivi e sonori riguardanti le caratteristiche soggettive

Il passo successivo è stato quello di sfruttare l'analisi di regressione lineare, tecnica utilizzata per analizzare una serie di dati e ricavare un'eventuale relazione funzionale tra di essi. Si è fatta una valutazione diretta tra le sensazioni sonore e visive per

visualizzare il reale andamento dell'indagine. L'obiettivo principale di questa fase del processo di sound quality è identificare la correlazione più efficace tra i parametri psicoacustici e le risposte dei test soggettivi. Da qui, si è ricavato l'indice di correlazione di Pearson (anche detto coefficiente di correlazione lineare o coefficiente di correlazione di Pearson o coefficiente di correlazione di Bravais-Pearson), che è un indice che esprime un'eventuale relazione di linearità tra le due variabili statistiche:

$$Y = a + Xb$$

Dove:

- **X** è la variabile esplicativa (metriche oggettive);
- **Y** è la variabile dipendente (metriche soggettive);
- La pendenza della linea è **b** e **a** è l'intercetta (il valore di y quando x = 0).

Date due variabili statistiche X ed Y, l'Indice di correlazione di Pearson è definito come la loro covarianza divisa per il prodotto delle deviazioni standard delle due variabili:

$$\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

dove σ_{xy} è la covarianza tra X ed Y e σ_x e σ_y sono le due deviazioni standard.

Il coefficiente assume sempre valori compresi tra -1 ed 1 : $-1 < \rho_{xy} < 1$.

Si distinguono vari tipi di correlazione:

- Se $\rho_{xy} > 0$, le variabili X ed Y si dicono *direttamente correlate*, oppure *correlate positivamente*;
- Se $\rho_{xy} = 0$, le variabili X ed Y si dicono *incorrelate*;
- Se $\rho_{xy} < 0$, le variabili X ed Y si dicono *inversamente correlate*, oppure *correlate negativamente*.

Inoltre, per la correlazione diretta (ed analogamente per quella inversa) si distingue:

- Se $0 < |\rho_{xy}| < 0.3$, si ha *correlazione debole*;

- Se $0.3 < |\rho_{xy}| < 0.7$, si ha *correlazione moderata*;
- Se $|\rho_{xy}| > 0.7$, si ha *correlazione forte*.

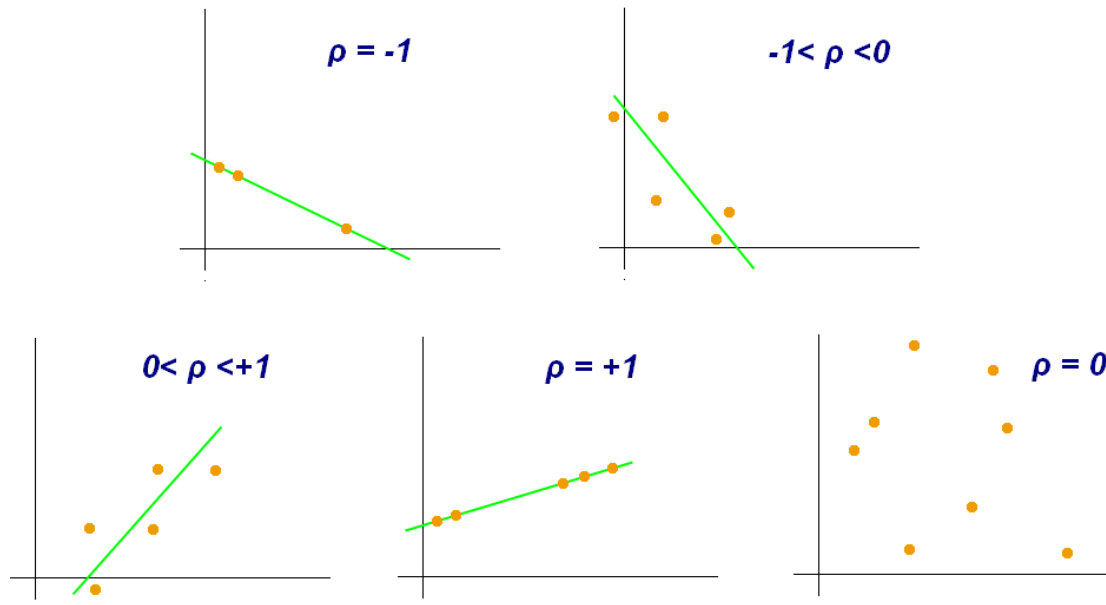


Figura 31 Spiegazione grafica della correlazione legata al valore assunto dall'Indice di Pearson

Da questa analisi, considerando Y come indice pesato delle immagini ed X come variabile correlata ai suoni, si è ricavata una regressione polinomiale di quarto grado.

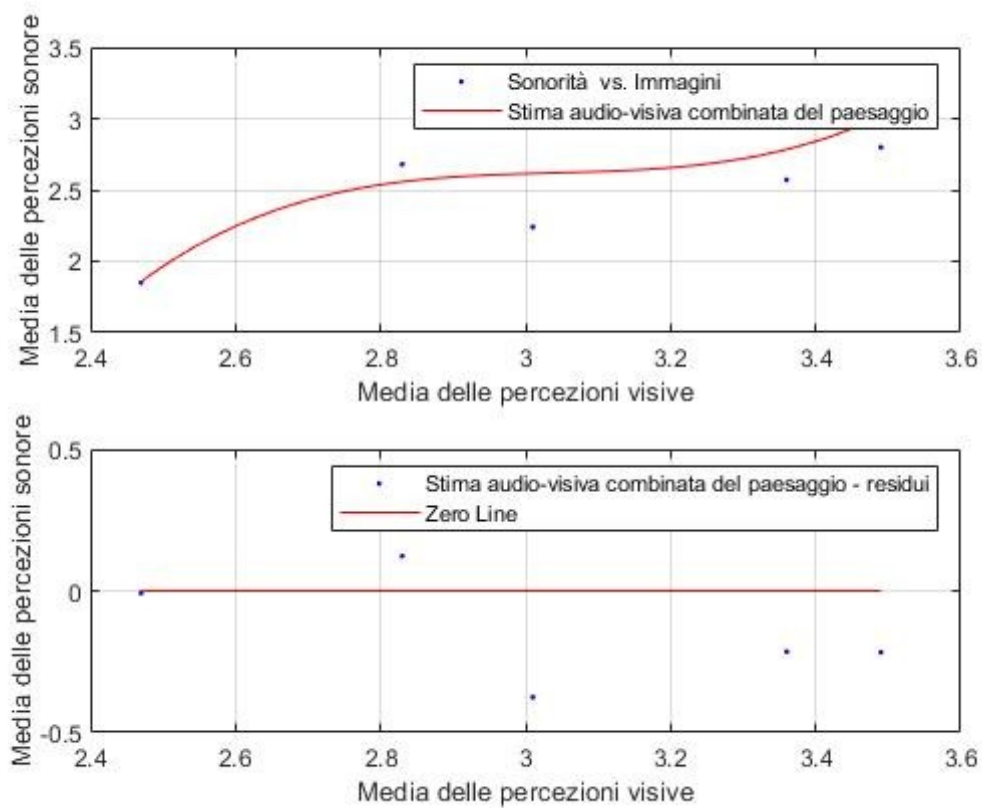


Figura 32 Risultati dell'Analisi di Regressione

Attraverso la piattaforma Matlab si è tracciata la retta di regressione sovrastante, utilizzando la funzione *fitresult*. In uscita si ha un polinomio di quarto grado del tipo:

$$\mathbf{fitresult(x) = p1*x^4 + p2*x^3 + p3*x^2 + p4*x + p5,}$$

i cui coefficienti assumono i seguenti valori:

$$p1 = -0.03514$$

$$p2 = 4.118$$

$$p3 = -35.6$$

$$p4 = 106.4$$

$$p5 = -104.4.$$

Abbiamo un sistema con 4 gradi di libertà, da cui si ricavano:

GOF	
SSE	0,4954
RSQUARE	0,6511
DFE	2
ADJRSQUARE	-0,0467
RMSE	0,4977

Tabella 2 Valori ottenuti dalla regressione polinomiale

Il dato di interesse è RSQUARE, che equivale all'Indice di Correlazione di Pearson. Esso ha un valore di 0.66, approssimabile a 0.7, quindi siamo nel caso $0.3 < |\rho_{xy}| < 0.7$ e si ha *correlazione moderata*. Si può dedurre che i dati soggettivi ed oggettivi delle sensazioni sonore e visive sono connessi in maniera ottimale; le due variabili vanno di pari passo, nel senso che quando aumenta il valore di una aumenta proporzionalmente anche il valore dell'altra. Ciò significa che dal valore della variabile indipendente può essere ricavato approssimativamente quello della variabile dipendente.

CONCLUSIONI

In questo lavoro di tesi si è indagato il paesaggio sonoro del porto di Ancona, sede di innumerevoli attività commerciali, ricreative e industriali. Lo studio del Paesaggio Sonoro ha permesso l'indagine dei principali parametri della psicoacustica e la correlazione di essi con la risposta soggettiva dell'ascoltatore.

In particolare la metodologia adottata in questo caso studio è stata:

1. Individuazione delle aree di indagine, cluster del porto di Ancona;
2. Misure acustiche in situ sfruttando la tecnologia binaurale, in particolare cuffie Roland CS-10EM;
3. Creazione e somministrazione di un test d'ascolto soggettivo incentrato sul landscape del Cluster C2;
4. Correlazione tra le misure oggettive e le risposte soggettive del test;
5. Individuazione di una retta di regressione che mette in evidenza quanto la percezione visiva incide sulla percezione sonora del Cluster C2.

I risultati dell'analisi sperimentale hanno evidenziato quanto il gradimento del paesaggio visivo da parte dell'osservatore sia fortemente influenzato dall'ascolto dei suoni del porto. In particolare l'analisi soggettiva ha voluto mettere in evidenza quelle che sono le componenti edificio-uomo, percezione-ambiente del porto di Ancona. Per fare questo, è stato chiesto agli osservatori di porre l'attenzione sugli elementi favorevoli in termini di adattamento al luogo, piacevolezza alla visione ed anche necessità di più punti ricreativi, lo stesso è stato chiesto per gli elementi disturbanti. In parallelo è stato calcolato matematicamente un indice che potesse quantificare la percezione dell'individuo in termini di piacevolezza, gradevolezza, familiarità del luogo sia in termini di ascolto che di visione. Si è calcolato l'Indice di Correlazione di Pearson e si è ottenuto un valore pari a 0.66, approssimabile a 0.7. Si può dedurre quindi che i dati soggettivi ed oggettivi delle sensazioni sonore e visive sono connessi in maniera ottimale; le due variabili vanno di pari passo, nel senso che quando aumenta il valore di una aumenta proporzionalmente anche il valore dell'altra. Ciò significa che dal valore della variabile indipendente può essere ricavato approssimativamente quello della variabile dipendente.

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.