



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
CORSO DI DOTTORATO IN INGEGNERIA INDUSTRIALE
CURRICULUM ENERGETICA

La Psicoacustica come strumento per la riqualificazione urbana sostenibile

*Psychoacoustics as a tool for sustainable
urban regeneration*

Ph.D. Dissertation of: **SAMANTHA DI LORETO**

Advisor: **Prof. Ing. Costanzo Di Perna**
Co-Advisor: **Ing. Fabio Serpilli; Ing. Valter Lori**

Novembre, 2022

Preamble

Oggi l'arte di saper ascoltare è più che mai un'urgenza poiché il sistema percettivo dell'essere umano è sollecitato quotidianamente dal paesaggio sonoro nel quale una innumerevole quantità di suoni artificiali sovrastano quelli naturali del territorio. Quando si parla di paesaggio sonoro la terminologia da utilizzare fa riferimento al compositore ed ambientalista Raymond Murray Schafer.

In questo momento storico in cui si parla tanto di sostenibilità ambientale, lo studio e la teorizzazione del paesaggio sonoro e il World Soundscape Project di M. Schafer^[1], si rivelano essere ricerche molto importanti anche in termini di ecologia acustica, cioè, la relazione di equilibrio tra i suoni e il loro ambiente. Accettando questa impostazione vediamo come il concetto di paesaggio sonoro sia strettamente correlabile alla definizione di ecologia sonora poiché è in grado di accogliere in sé vari aspetti legati a pratiche che si occupano di studiare gli habitat acustici dei suoni naturali o generati dall'uomo ad hoc per quell'ambiente, al fine di ridare dignità al rumore di fondo, mettendo al centro del discorso il rapporto con l'ambiente.

La teoria del Soundscape distingue tre elementi sonori fondamentali:

1. **Keynotes**: identificabile con suoni presenti più frequentemente ai quali non facciamo più caso come quelli naturali del vento, degli uccelli, animali in genere, così come sono da considerarsi ormai keynotes anche i suoni urbani partendo dal traffico stradale fino addirittura agli impianti di condizionamento delle nostre case.
2. **Soundsignal**: sono le sirene d'emergenza, le campane, la sveglia, il clacson, etc. cioè suoni ascoltati in primo piano con un forte carattere semantico e facilmente assimilabile ad una condizione di fastidio.
3. **Soundmarks**: sono le cosiddette impronte sonore strettamente legate ad un territorio. Rappresentano la carta d'identità di un luogo è proprio per la loro importanza andrebbero protette così come vanno tutelati gli animali in via d'estinzione e la dignità dell'essere umano.

È noto che il livello di pressione sonora (SPL), i fatidici "Decibel", non rappresentano appieno il comfort acustico poiché il parametro "*non tiene conto della complicata interazione tra i suoni e la percezione umana del rumore*".

Il termine "rumore ambientale", per esempio è noto da molti anni^[1].

¹Il rumore ambientale è costituito da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo^[2]

La sua caratteristica è descritta da parametri come SPL [A], L_{day} , L_{evening} , L_{night} , etc. Questi parametri possono essere misurati e calcolati[3]. Quando però ci si spinge oltre la misura e si sfiora il campo della percezione sonora i parametri psico-acustici come Loudness, Sharpness, Roughness e altri, prendono il sopravvento.

È chiaro dunque, dalle ultime affermazioni, che la teoria di Zwicker è una condizione necessaria e sufficiente per iniziare uno studio di questo genere ed a livello internazionale lo standard disponibile è rappresentato dalla ISO 532-1,2[4, 5].

In Psychoacoustics fact and Methods[6], 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, dunque, 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, si potrebbe voler capire con quanta precisione si possa localizzare una sorgente sonora, o si potrebbe voler misurare la più piccola variazione nel livello del suono. Si potrebbe poi salire di livello e azzardare a voler comprendere la risposta emotiva al suono nell'ambiente che viviamo nel quotidiano, oppure voler valutare il fastidio dovuto all'inquinamento acustico. Il risultato ottenuto da questo approccio, ancora per certi versi sconosciuto, è finalizzato alla progettazione di ambienti migliori, prodotti più accattivanti e normative più efficaci.

Zwicker introduce allora il concetto di Sound Quality la cui definizione è ancora strettamente soggettiva e difficilmente replicabile da uno studio all'altro.

La definizione che più rende giustizia all'intricata formulazione di Zwicker è sicuramente quella di R. H. Lyon *"Sound Quality is a perceptual reaction to the sound of a product that reflects the listener's reaction to how acceptable the sound of that product is: the more acceptable, the greater the SQ"*[7], la qualità sonora non è altro che lo studio che correla le reazioni umane, dunque le sensazioni, al suono meccanicamente emesso dall'oggetto o circostanza interessata.

Dopo questa premessa 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 per sviluppare modi per migliorare il suono dell'ambiente costruito. Non da meno, questo approccio, permette di 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 termine "relativamente" giovane paesaggio sonoro è standardizzato, invece, nella ISO 12913-1[8]. È chiaro, quindi, che sarebbe auspicabile abituarsi all'idea di considerare la percezione umana come variabile necessaria, poiché gli aspetti cognitivi, il contesto e l'interazione, sono condizioni che vanno oltre la fisica e la psicoacustica in generale.

Si tratta di un concetto in cui il rumore ambientale non è ridotto a una quantità media che evoca solo sensazioni spiacevoli stimate da probabilità statistiche di chissà quale genere, ma che comprende il rumore come una risorsa preziosa, che può essere utilizzata intenzionalmente.

Nonostante i recenti progressi nel processo di standardizzazione, si verificano, forse, molte interpretazioni errate nell'uso pratico, dove i termini sono fortemente confusi.

L'intenzione è quella dunque di connettere, appoggiandosi alla normativa e i disegni di legge, la partecipazione emotiva del cittadino al reale bisogno di riqualificare o migliorare il contesto urbano designato, integrando con forte peso l'aspetto del rumore, purtroppo oggi sottovalutato.

Samantha Di Loreto

Contents

Preamble	iii
1 Introduzione	1
1.1 Inquadramento della ricerca	1
1.2 Metodologia	3
2 Psicoacustica: elementi per un approccio plurale e collaborativo	7
2.1 La valutazione dei suoni complessi: cenni e definizioni	7
2.2 La localizzazione spaziale	12
2.3 La teoria del Sound Quality: background	13
2.4 Metodi per la progettazione della qualità del suono del prodotto: casi di studio	16
2.4.1 Caratterizzazione acustica delle cappe da cucina	17
2.4.2 Test di ascolto e metodo di prova	19
2.4.3 Il Sound Quality Index	22
2.4.4 Sound Quality Index Vs Psychoacoustic Annoyance	26
3 L'arte di fare paesaggio: compatibilità dell'opera vs livello di sensazione sonora	31
3.1 Riferimenti legislativi nazionali	31
3.2 Strategie regionali e progettazione della sostenibilità urbana	33
3.2.1 Il Protocollo Itaca su scala urbana per la valutazione sostenibile del Waterfront	34
3.2.2 Punteggio di sostenibilità del porto di Ancona: verifiche e riflessioni	61
4 Qualità acustica: approccio soundscape nella progettazione	65
4.1 Il Paesaggio sonoro del porto: Il contributo dell'UNI EN ISO 12913 nella rigenerazione degli interventi	65
4.1.1 Overview	65
4.1.2 Monitoraggio acustico	67
4.1.3 Questionari	69
4.1.4 Analisi statistica	72
4.1.5 Risultati	73

5 Conclusioni	99
A Questionario esteso	101
Bibliography	105

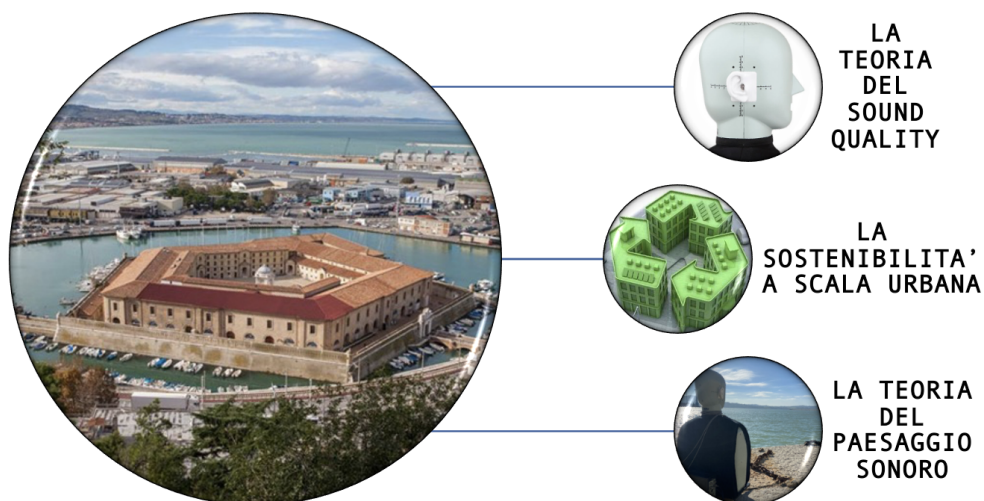
Chapter 1

Introduzione

1.1 Inquadramento della ricerca

La tesi si contestualizza nell'area dell'ingegneria industriale con particolare riguardo ai temi della psicoacustica, trovando nei concetti sviluppati in questo ambito i propri punti di riferimento. Il punto di collegamento tra questi ambiti è rappresentato dal tema del paesaggio sonoro, nel quale si evidenzia un concetto complesso, che necessita di un inquadramento ampio per essere esplorato in toto.

È in particolare la nozione di “sostenibilità ambientale” a svolgere un ruolo fondamentale di raccordo tra un ambito operativo, come quello dell'edificio, e un orizzonte più teorico come quello del paesaggio sonoro.



L'ambizione della ricerca consiste dunque nel tentativo di avvicinare le due aree del paesaggio sonoro e della progettazione sostenibile, con l'obiettivo di definire uno scenario in grado di produrre un arricchimento su entrambi i versanti, passando attraverso la capacità di comprendere il fenomeno sonoro misurandolo e soprattutto interpretan-

dolo qualitativamente, alla luce del particolare legame che si instaura tra esso e gli abitanti del luogo.

La teoria del Sound Quality

Nel primo capitolo, a partire da una ricognizione dell'evoluzione del background sulla psicoacustica, l'attenzione è stata rivolta particolarmente al rapporto che ha tradizionalmente legato tale ambito con il mondo dell'industria (Sound Quality approach).

Lo studio del Sound Quality, che descrive l'impressione soggettiva causata da un suono è legato ad una serie di parametri che non sono la sola pressione sonora che raggiunge l'orecchio umano ma passa attraverso grandezze che coinvolgono la psicofisica e la psicoacustica. La rilevanza degli effetti cognitivi è valutata non solo in base agli aspetti psicologici e sociologici, ma anche da un punto di vista ingegneristico. In un mercato globale con molti prodotti concorrenti equivalenti sotto molti aspetti, il rumore prodotto può diventare una caratteristica importante.

All'interno della trattazione si vedrà come gli aspetti cognitivi siano essere determinanti in fase di sviluppo di un prodotto industriale.

Il problema dell'ottimizzazione acustica di un prodotto non si esaurisce con l'analisi dei descrittori psicoacustici ma si vedrà come la metodologia che verrà proposta metta in evidenza quelle che sono le caratteristiche di rumore che influenzano il giudizio dell'ascoltatore.

Il lavoro svolto ha permesso di individuare una metodologia speditiva per la valutazione del gradimento di un prodotto attraverso la definizione di un sound quality index (SQI).

Tale metodologia risulterà cruciale per le valutazioni successive di questa trattazione, poichè fungono da punto di partenza per la determinazione di scenari più ampi.

Paesaggio sonoro e la sostenibilità a scala urbana

Il capitolo successivo si concentra sulla tematica del paesaggio sonoro, prendendo in considerazione quelli che attualmente rappresentano gli strumenti per la gestione del fenomeno acustico.

Attualmente l'area di intervento in cui si collocano gli studi sul soundscape risulta essere purtroppo bloccata dalla continua necessità di inseguire una realtà già affermata, dando luogo a interventi perennemente costretti a porre riparo a scenari compromessi, con la conseguente creazione di modelli surreali per un mondo che spesso va nella direzione opposta. Il vero limite si trova nel campo legislativo-normativo, che rappresenta l'unico apparato effettivamente in grado di porre dei vincoli all'evoluzione dello scenario multi-sensoriale. Nel corso della discussione si vedrà chiarito come la legislazione sia estremamente bloccante per l'analisi sul paesaggio sonoro poiché si riferisce al fenomeno acustico solo attraverso dei sistemi basati su vincoli quantitativi che agiscono indipendentemente dalla comprensione del legame che si instaura tra il suono e il sistema di valori di chi lo percepisce.

L'ipotesi di fondo si basa sulla convinzione di non poter interpretare il territorio senza una visione d'insieme, pertanto, consapevoli che la valutazione del rumore ambientale risulta essere cruciale per la costruzione di nuovi insediamenti costruttivi,

per caratterizzare la forma sensoriale del territorio è necessario anche quantificare l'impatto che tali costruzioni avranno sulla comunità. In questa direzione è fondamentale l'unificazione e il coordinamento tra gli strumenti urbanistici e acustici, in particolare un'adeguata progettazione del paesaggio sonoro.

Nel corso del capitolo si farà anche riferimento agli strumenti di pianificazione urbanistica scelti (Protocollo ITACA a scala Urbana).

Paesaggio sonoro per la riqualificazione della città

Nell'ultimo capitolo si è cercato di passare da una dimensione interpretativa del sonoro a una considerazione progettuale. L'analisi dell'esistente, attraverso una ricerca di casi studio nella città di Ancona ha rivelato la stretta relazione tra paesaggio e esperienza del paesaggio sonoro in contesti reali, e che gli aspetti sonori e funzionali dovrebbero essere considerati in termini di creazione di un migliore paesaggio sonoro durante i processi di progettazione e gestione ambientale. Così, i controlli del livello sonoro, la mappatura del rumore e l'abbattimento del rumore rappresentano uno strumento importante che può essere utilizzato dal progettista per combattere l'inquinamento acustico.

Nell'ottica di questo ragionamento risulta quindi importante lo studio di scenari sostenibili che riguardano le trasformazioni territoriali e il sistema di spazi pubblici, ovvero piazze, aree verdi, dove poter intervenire in misura maggiore per migliorare la qualità nell'ambiente percepito, individuando puntualmente le relazioni tra pianificazione del landscape, sistema edificio-persona e la pianificazione acustica. Il capitolo si conclude con un'interpretazione del rapporto uomo-spazio che parte da un'idea di percezione non limitata alla considerazione visiva degli ambiti di riferimento, ma primariamente interessata dalla relazione complessiva che si stabilisce tra il soggetto e l'ambiente.

Il metodo che la scrivente propone, consente di raccogliere informazioni sull'ambiente urbano, sia dal punto di vista acustico che emotivo e rappresenta un arricchimento degli strumenti di pianificazione urbana del comune, pur rimanendo coerente con l'idea di aumentare la sostenibilità ambientale e ridurre la povertà energetica, entrambe questioni di grande importanza nel XXI secolo.

1.2 Metodologia

La metodologia seguita ha puntato a valorizzare l'intersezione disciplinare che sta alla base della ricerca: da un lato approfondendo il retroterra ingegneristico che le ha dato origine, dall'altro contestualizzandolo all'interno di uno scenario operativo come quello definito nell'Acustica in generale e più nel dettaglio della psicoacustica.

Il primo passo è quindi consistito in un rafforzamento delle conoscenze teoriche di base: sia in riferimento al contesto specificamente acustico – recuperando, almeno nei suoi tratti essenziali, l'ampia discussione che ha riguardato la nozione percezione nel secolo scorso – sia in riferimento all'ambito della psicoacustica ed in particolare nella teoria del Sound Quality.

Una considerazione specifica è stata inoltre rivolta alla tematica del paesaggio sonoro, attraverso l'analisi degli studi svolti dai principali autori e dei maggiori centri di ricerca, nazionali ed internazionali, che hanno affrontato la tematica.

Lo scenario con il quale ci si confronta risulta dunque caratterizzato da due polarità: da un lato l'approccio normativo/legislativo il quale, ancorato ad una valutazione principalmente quantitativa del fenomeno sonoro, non sembra favorire la nascita di un senso civico e di un'attenzione verso l'argomento. Dall'altro canto gli studiosi del soundscape, sostenuti da una corretta interpretazione qualitativa del fenomeno sonoro, sono costretti a tenere in considerazione una mole di dati enorme in quanto il paesaggio sonoro cambia in modo significativo in base alle varie fasi del giorno e dell'anno, essendo influenzato da milioni di condizioni al contorno spesso non riproducibili.

Il concetto, quindi, di progettazione sonora si caratterizza come contraddittoria: da un lato risultando incapace di affermarsi come guida del progetto nel suo complesso poiché non è in grado di sostituire un modello retto da presupposti culturali estremamente profondi come quello visivo – dall'altro caratterizzandosi come un'operazione difficilmente classificabile, che si configura all'interno di un orizzonte oscillante tra la sfera artistica e quella tecnica.

Pertanto, in un ambito come quello sonoro, in cui l'esistenza del fenomeno da indagare potrebbe risultare istantanea, in cui gli elementi del paesaggio variano in modo decisivo all'interno di brevi slot temporali (si parla di secondi e al massimo minuti), è fondamentale creare un approccio rigoroso per poter gestire la rigidità in modo da adeguare lo strumento al contesto che si vuole analizzare.

La tabella di marcia dei contenuti principali è illustrata nella fig. [4.1](#):

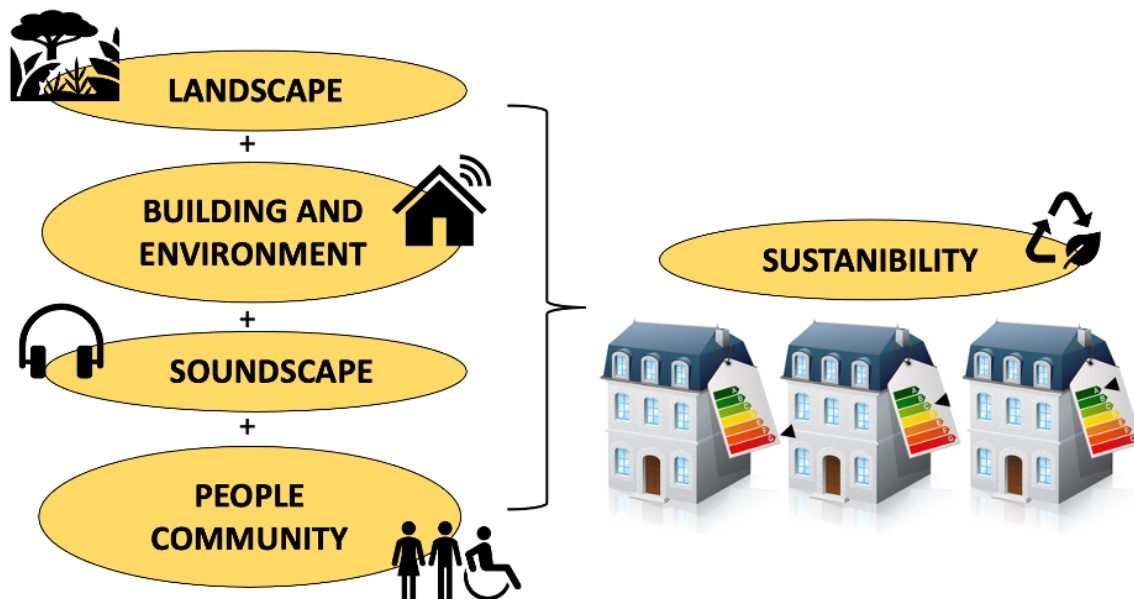


Figure 1.1: Argomenti di ricerca della tesi in oggetto e interpretazione visiva delle loro interrelazioni.

Va sottolineato che:

- data l'ampia gamma di argomenti e background teorici coinvolti, ogni capitolo è stato fornito con il proprio paragrafo introduttivo, necessario per contestualizzare problemi, metodologie e soluzioni;

- non tutte le attività sperimentali effettivamente svolte durante il percorso di dottorato sono qui presentate: è stata fatta una selezione tra quelle con maggiore impatto internazionale o già pubblicate in riviste peer-reviewed ma soprattutto è stato seguito un filo logico di interconnessione al fine di garantire completezza e rigore alla tesi per dare la giusta dignità ed attenzione ad un argomento di interesse mondiale, purtroppo oggi ancora sottovalutato.

Chapter 2

Psicoacustica: elementi per un approccio plurale e collaborativo

Le attività che conduciamo nel quotidiano implicano la propagazione di suoni, il che influisce costantemente sulla sensibilità dell'ascoltatore ma soprattutto sul rendimento di quest'ultimo durante la sua giornata.

Creare i corretti livelli sonori per tali attività è fondamentale e siccome l'ambiente sonoro influenza tutte le attività, il rumore rappresenta un elemento cruciale nell'esperienza di vita delle persone. Per tale motivo, Lo scopo di questo capitolo è introdurre i concetti base della psicoacustica fino ad arrivare alla definizione di qualità sonora.

Lo studio del sound quality e il metodo descritto dalla scrivente è fondamentale per comprendere l'evoluzione di questa trattazione, ma soprattutto è doveroso chiarire che senza l'applicazione dei casi di studio decritti nel cap. 2 non sarebbe stato possibile elaborare una teoria di rigenerazione sonora a larga scala applicabile per un ambiente esterno.

2.1 La valutazione dei suoni complessi: cenni e definizioni

La psicoacustica è un ramo della psicofisica, che analizza il funzionamento dell'apparato uditivo e in che modo l'uomo percepisce i suoni che lo circondano. Il termine "psicoacustica" venne coniato per la prima volta nel 1860 da Gustav Fechner, nel suo libro "Elements Of Psychophysics" [9].

Mentre le caratteristiche fisiche di un'onda sonora, quali ad esempio frequenza o durata, sono ormai ampiamente conosciute e possono essere misurate direttamente con strumenti e tecniche consolidati, il modo in cui un suono viene percepito ed elaborato dal nostro cervello nonché come e quali sensazioni o emozioni, piacevoli o sgradevoli che siano, il suono induca nell'ascoltatore è un argomento più complesso.

Le sensazioni primarie che accompagnano l'ascolto di un suono sono *Pitch* (altezza), *Loudness* (intensità) e *Timbre* (timbro). Queste sensazioni sono il risultato della elaborazione dell'orecchio e del cervello e non sono grandezze misurabili direttamente, ma sono comunque legate a caratteristiche misurabili dell'onda sonora, come ad esempio la frequenza fondamentale per quanto riguarda il pitch, oppure lo spettro energetico per quanto riguarda il timbro.

L'applicazione dei principi della psicoacustica all'ingegneria sonora è stata solo di recente accettata come un utile strumento di progettazione.

È noto che il livello di pressione sonora (SPL) non rappresenta completamente il comfort acustico in quanto il parametro "*non tiene conto della complicata interazione tra suoni e percezione umana del rumore*" [6]. Rispetto al tradizionale A-ponderato livello di pressione sonora, una misurazione del suono tradizionale, gli attributi della psicoacustica sono migliori, perché sono unanimi con la sensazione soggettiva dell'essere umano [7]. I riferimenti tecnici per questo tipo di misure sono la ISO 532-1 [4] e la ISO 532-2 [5] dove i parametri psicoacustici come Loudness, Sharpness, Roughness e altri sono stati standardizzati.

In *Psychoacoustics fact and models* [6], Zwicker descrive le caratteristiche del sistema uditivo umano nelle comunicazioni acustiche perché la comunicazione acustica è uno dei prerequisiti fondamentali per l'esistenza della società umana.

L'obiettivo della psicoacustica è implicito, ovvero, capire come le persone percepiscono e sperimentano il suono. Il risultato ottenuto da questo approccio, per certi versi ancora sconosciuto, è volto a progettare ambienti migliori, prodotti più attraenti e normative più efficaci.

L'orecchio umano può generalmente rispondere tra la gamma di frequenze udibile che va da 20 Hz a 20 kHz, ed è il più sensibile tra 2 kHz a 4 kHz.

Tuttavia, la sensibilità a determinate frequenze varia fra gli individui. Di conseguenza, la gamma di frequenza udibile è divisa in 24 fasce critiche [4], che sono basate sulla "scala della corteccia". La prima banda critica si estende da 0 a 100 Hz, la seconda da 100 a 200 Hz, la terza da 200 a 300 Hz e così via fino a 500 Hz dove, naturalmente, la gamma di frequenze di ogni banda critica aumenta. Tracciare il numero ordinale di ogni banda allineata in funzione della frequenza produce una serie di punti tracciati in fig. 4.2 si può notare che l'intervallo di frequenze udibili a 16 kHz può essere suddiviso in 24 bande critiche adiacenti che ha come unità di misura è il Bark. La corrispondenza fra le bande critiche e la lunghezza della membrana basilare, è pari a circa 32 mm. La membrana basilare è direttamente responsabile della trasformazione delle vibrazioni sonore in impulsi elettrici, poi mandati al sistema nervoso.

Per passare dal dominio delle frequenze ai Bark si può utilizzare la seguente equazione:

$$z = 13 * \arctang(0.76 * f) + 3.5 * \arctang\left(\frac{f}{7.5}\right)^2 \quad (2.1)$$

Abbiamo dunque compreso che il comportamento psicoacustico dell'orecchio cambia al variare della frequenza. Infatti, sottoponendo i soggetti in esame all'ascolto degli stessi toni della scala delle frequenze usata per la definizione della soglia di udibilità, ma, questa volta, ad intensità aumentata ogni volta, per esempio, di 5 o di 10 dB e chiedendo loro di indicare i livelli che vengono percepiti con intensità uguale a quella di riferimento (1000 Hz), si ottengono le *curve di isofonia o isofoniche* (uguale sonorità) che presentano l'intensità necessaria alle diverse frequenze per ottenere una sensazione sonora in dB corrispondente a quella che si ottiene dalla frequenza di riferimento (1000 Hz).

Poiché il livello di sensazione sonora (o livello di intensità soggettiva) non coincide necessariamente con il livello di intensità oggettiva e il dB non può servire per esprimere

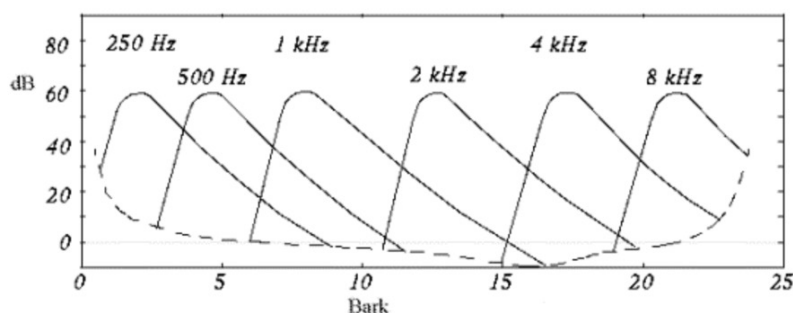


Figure 2.1: Bark linear scale.

i valori della sensazione sonora, si rese necessario adottare per quest'ultima un'unità di misura specifica: il **Phon**.

Nel 1933 Fletcher e Munson elaborarono negli anni un diagramma completo, fig. 4.11, basato sulle curve isofoniche. 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.

Il procedimento adottato per rilevare il diagramma è il seguente: un ascoltatore viene sottoposto ad un suono puro, generato da un'onda piana sinusoidale con pressione e velocità in fase, e in seguito ad un suono di riferimento di 1 dB a frequenza 1000 Hz; regolando l'intensità del suono di riferimento in modo che le due sensazioni corrispondano, si stabilisce a quale curva appartiene la coppia di valori pressione-frequenza del primo suono. La curva inferiore, denominata MAF (Minimum Audible Field), riporta la soglia di udibilità binaurale in un campo frontale di toni puri per persone otologicamente normali di età compresa tra 18 e 30 anni.

Un miglioramento delle misurazioni di Fletcher e Munson fu eseguito da Robinson e Dadson nel 1956. Essi utilizzarono suoni puri riprodotti direttamente da un altoparlante, in campo libero. Rispetto all'audiogramma normale di Fletcher e Munson le differenze si hanno soprattutto nei campi di frequenza prossimi a 4 kHz e 8 kHz, questo perché Robinson e Dadson lavorarono in assenza di un ascoltatore e quindi non ebbero problemi di diffrazione dell'onda sonora intorno alla testa e al padiglione auricolare. In entrambe le famiglie di curve si nota una zona di scarsa sensibilità sonora in corrispondenza delle basse frequenze, mentre intorno ai 3 - 4 kHz si ha una zona di massima sensibilità. Ciò significa che a basse frequenze la sensazione sonora aumenta rapidamente all'aumentare del livello di pressione sonora; ad alti valori di frequenza le isofoniche sono quasi parallele e la sensazione aumenta meno rapidamente, il che è un indicatore di non linearità. Le curve di Robinson e Dadson sono quelle adottate dalla norma ISO 226:2003 [10] per il calcolo della Loudness.

Passiamo ora alla descrizione dei principali parametri psicoacustici di interesse. Nel descrivere le differenti grandezze, se non diversamente specificato, si farà riferimento

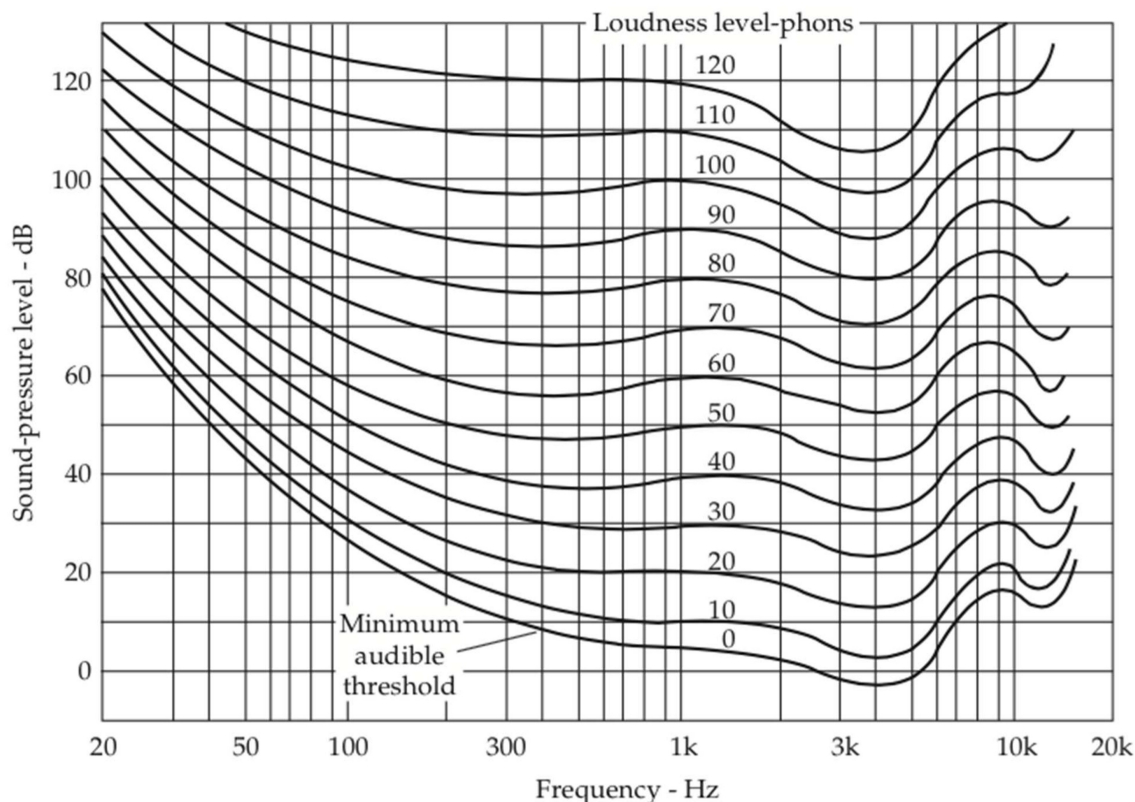


Figure 2.2: Il diagramma di Fletcher e Munson (1933).

all'opera di Zwicker e Fastl^[6]. Le metriche psicoacustiche, correttamente calcolate e combinate, sono solitamente utilizzate per prevedere le reazioni di fastidio prodotte dai suoni ambientali.

Alcune metriche di uso frequente sono elencate di seguito.

La *Loudness*^[10] è tra le sensazioni sonore percepite nell'ascolto di un suono, quella che meglio individua la relazione tra sensazione sonora ed intensità dello stimolo sonoro generante la sensazione. Essa è definita come livello di pressione sonora di un tono a 1 kHz per fronte d'onda piana e con incidenza frontale, tale che fornisca la medesima sensazione del suono da misurarsi. La sua unità di misura è il Son; 1 Son 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 una correlazione fra l'intensità percepita ma con differente livello di pressione sonora. Per definizione alla soglia minima di udibilità corrisponde un valore di 0 Son, quindi per una frequenza di 1 kHz, 0 Son, corrispondono a 3 dB SPL e di conseguenza a 3 Phon.

Secondo la norma ISO 131:1979^[11], la relazione tra sensazione sonora Son e livello di sensazione sonora Phon è espressa dalla relazione:

$$N = 2^{\left(\frac{L-40}{10}\right)} \quad (2.2)$$

Dove N rappresenta il livello di Loudness in Son mentre L rappresenta il livello di pressione sonora in dB. Anche se la norma ISO 131 non è più in vigore essa rappresenta tuttora oggi la base della definizione del Son. Questa relazione stabilisce che per ogni aumento di 10 dB del livello di intensità della sensazione si ha un raddoppio della sensazione sonora.

Il valore della Loudness (N) per suoni complessi si calcola invece come l'integrale della Loudness specifica sulla frequenza della banda critica. Zwicker descrive la Loudness specifica come una sensazione appartenente alla categoria della sensazione di intensità; la Loudness specifica cresce con l'intensità fisica secondo una legge di potenza. L'espressione matematica è la seguente:

$$N = \int_0^{24\text{bark}} N' dz, \quad (2.3)$$

La *Sharpness* è una metrica psicoacustica che fornisce una misura numerica della sensazione basata sulla quantità di componenti ad alta frequenza in un suono. La sua unità è l'Acum. 1 Acum corrispondente alla Sharpness di un rumore a banda larga centrato su 1 kHz, con un'ampiezza di 1 banda critica e un livello di pressione sonora pari a 60 dB.

$$S = 0.11 \left(\frac{\int_0^{24} N' g(z) z dz}{\int_0^{24} N' dz} \right) \quad (2.4)$$

L'equazione mostra la relazione tra *Fluctuation strength*, F e la profondità di mascheramento del pattern di mascheramento temporale, ΔL , così come la relazione tra F e la frequenza di modulazione f_{mod} .

L'unità di misura è il Vacil: un suono puro ad 1 kHz con una pressione sonora di 60 dB, modulato in ampiezza per il 100% con una frequenza di modulazione di 4kHz, produce la sensazione sonora di un Vacil. Ad un aumento di 40 dB in termini di livello di pressione sonora corrisponde un incremento di F di un fattore 2.6.

$$F = \left(\frac{\Delta L}{(f_{\text{mod}}/4Hz) + (4Hz/f_{\text{mod}})} \right) \quad (2.5)$$

La *Roughness* è correlata a quanto un suono percepibile o fastidioso è udito dall'orecchio umano. Più specificamente, la roughness è una sensazione uditiva correlata alle modulazioni della Loudness a frequenze troppo alte per essere discernite separatamente, come le frequenze di modulazione maggiori di 30 Hz. Questo parametro misura l'energia in 24 Bark, calcola e filtra l'inviluppo del segnale in ciascuna banda, misura la modulazione di ampiezza di ogni inviluppo, quindi pesa il livello in ciascuna banda utilizzando sia l'indice di modulazione di quella banda che una frequenza in funzione di una ponderazione dipendente. Come approssimazione della Roughness utilizziamo la seguente relazione:

$$R = f_{\text{mod}} * \Delta L \quad (2.6)$$

L'unità di misura è l'Asper: un Asper è definito dalla sensazione sonora prodotta da un suono puro a 1KHz con un livello di pressione sonora di 60 dB modulato per il 100% in ampiezza, con una frequenza di modulazione di 70 dB. Suoni con un'elevata larghezza di banda producono un'elevata Roughness, se SPL cresce da 40 a 90 dB il fattore di crescita della Roughness è pari a 1.8.

2.2 La localizzazione spaziale

La localizzazione è una sfida speciale per il sistema uditivo. Nel sistema visivo e somato-sensoriale, la posizione dello stimolo è mappata direttamente sulle superfici sensoriali, cioè rispettivamente, la retina e la pelle. Per quanto riguarda l'udito invece, è la frequenza, e non la posizione, che viene mappata sulla superficie sensoriale della coclea. Il nostro sistema percettivo deve confrontare le caratteristiche fisiche del suono che perviene alle due diverse orecchie e ricavare, da tale confronto, informazioni sulla posizione della sorgente che l'ha generato [12, 13].

1. *Interaural Time Difference (ITD)*: indica la differenza dei tempi di arrivo del suono tra un orecchio e l'altro. Il nostro sistema percettivo è, in condizioni ottimali, capace di cogliere ITD dell'ordine di 0.1 micro secondi e quindi è in grado di valutare i tempi di ritardo che si presentano nelle situazioni tipiche. Ruotando la testa si può fare in modo che l'ITD si annulli (o comunque scenda al di sotto del minimo valore rilevabile); in questo modo la retta che indica la direzione della sorgente giace in un piano perpendicolare al segmento che unisce le due orecchie e passante per il punto medio di questo.
2. *Interaural Level Difference (ILD)*: indica la differenza tra i livelli di intensità percepiti dalle due orecchie. Il più piccolo valore di ILD che il nostro sistema uditivo può apprezzare è dell'ordine di 1 dB. È interessante notare come l'utilizzo dell'ITD sia molto efficace nel caso di onde a bassa frequenza, con quindi elevata lunghezza d'onda, per le quali l'ostacolo rappresentato dalla testa è trascurabile, mentre nel caso di onde ad alta frequenza, per le quali la testa dell'ascoltatore diventa un ostacolo insormontabile, sia molto più efficace l'utilizzo della ILD.

La misura dell'ITD e dell'ILD, a meno che la sorgente sonora non sia molto vicina alla testa, non permette di localizzare direttamente la distanza della sorgente ma solo la direzione di provenienza del suono. In ambienti chiusi il cervello umano è in grado di valutare e dividere la quantità dell'energia che arriva direttamente dalla sorgente e quanta da fenomeni di riflessione con le pareti: dalla proporzione di questi due contributi il sistema uditivo è in grado di stimare la distanza della sorgente. In ambienti aperti, con una sorgente sonora lontana, la distanza della sorgente può essere stimata attraverso le modifiche del timbro del suono, valutata per esperienza dell'ascoltatore.

Una misura, dunque, effettuata con un singolo microfono non contiene le informazioni necessarie per permettere al nostro cervello di determinare una localizzazione spaziale realistica della sorgente sonora nonché di riprodurre fedelmente le sensazioni sonore che vengono stimolate in un ascoltatore normalmente provvisto di due orecchie.

Una misura effettuata con una coppia di microfoni stereo contiene le informazioni relative alle differenze ITD e ILD causate dalla separazione spaziale dei due microfoni,

ma comunque queste misure mancano di quelle distorsioni dell'onda sonora, causate naturalmente dalla testa dell'ascoltatore e necessarie per permettere la localizzazione spaziale corretta della sorgente sonora. Perciò una semplice misura stereo non permette di localizzare accuratamente la sorgente sonora, ma solo di stimarla approssimativamente. Una riproduzione spaziale completa del campo sonoro nel dominio della psicoacustica è possibile unicamente attraverso una misura con una testa binaurale[14-16].

La testa riproduce con particolare fedeltà la forma dei padiglioni auricolari e dei canali uditivi, all'interno dei quali vengono posti due microfoni stereofonici: tecnologia binaurale.

Blauert[17] ha definito la tecnologia binaurale come: *"Binaural technology is a body of methods that involves the acoustic input signals to both ears of the listener for achieving particular purposes, for example, by recording, analyzing, synthesizing, processing, presenting, and evaluating such signals"*.

Grazie al simulatore testa e torso è possibile misurare i livelli sonori per il calcolo dei parametri psicoacustici. Il simulatore testa e torso è dotato di microfoni all'ingresso dei canali uditivi per simulare la separazione che esiste tra l'orecchio destro e l'orecchio sinistro di una testa umana.

In fig.4.13 è riportata la testa binaurale Brüel & Kjær sfruttata durante le misurazioni della scrivente.

2.3 La teoria del Sound Quality: background

L'analisi della qualità del suono, utilizzata come strumento per la progettazione del prodotto, è stata definita e descritta in letteratura e sono state identificate le caratteristiche che descrivono il tipo di suono. Tuttavia spesso non si sa come le valutazioni soggettive e il fattore umano siano presi in considerazione nella procedura che disciplina gli studi di psicoacustica.

Il timbro dei prodotti industriali in generale, è caratterizzato da un significativo contenuto di basse frequenze dovuto alle armoniche tonali emesse dai sistemi elettrici e meccanici, per questo ed altri motivi, oggi rendere un prodotto il più silenzioso possibile è una delle sfide più accattivanti per il settore industriale, soprattutto se si tratta di un elettrodomestico.

La percezione da parte del consumatore della qualità sonora del prodotto rappresenta dunque, la variabile fondamentale per definire il carattere sonoro del prodotto in fase di analisi.

Quando si parla di carattere sonoro percepito, non esiste un confine distinto tra carattere sonoro e qualità del suono. Non è possibile misurare il carattere sonoro percepito nelle prove d'ascolto. I soggetti saranno sempre influenzati dal contesto e controllare il contesto risulta essere un compito fondamentale della progettazione sperimentale. Lavorare con la qualità del suono è un processo iterativo: si inizia con la caratterizzazione acustica del prototipo di un prodotto industriale, si fanno le registrazioni del suono dei prototipi e alla fine si ottiene la prima valutazione da un test di ascolto con una giuria rappresentativa degli utenti finali del prodotto[18]. Il processo di iterazione schematizzato è visibile in fig.4.22.

La classificazione della qualità del suono si basa sulla correlazione tra una mis-



Figure 2.3: Simulatore testa e torso di Brüel & Kjær - B&K type 4100 with preamplificator type 5953).

urazione oggettiva e il risultato del giudizio soggettivo. Nella fase di certificazione del prodotto si misura la potenza sonora ed il livello di pressione sonora, ma per conoscere la sensazione dei consumatori è necessario considerare altri tipi di metriche. Generalmente, le metriche acustiche sono suddivise in due macro-aree: tradizionale e psicoacustica. Le metriche tradizionali [19] sono utilizzate per caratterizzare i livelli pressione sonora che danno prettamente indicazioni quantitative del suono, le metriche psicoacustiche forniscono invece, informazioni sulla piacevolezza, gradevolezza e il tono del suono proposto [20, 21].

Tuttavia, alcuni problemi sorgono quando i suoni sono analizzati da diversi consumatori e si presume che la ragione di questo sia la capacità umana di non capire la differenza tra rumore e fastidio e di concentrarsi consapevolmente o inconsciamente sul suono emesso dall'apparecchio.

Il limite più vincolante di questo approccio è che il concetto di qualità sonora, la cui definizione è ancora strettamente soggettiva, è estremamente difficile da replicare da uno studio all'altro.

In Beidl et al. [22] le metriche di qualità del suono sono in grado di prevedere la percezione del suono del prodotto. Nello studio è evidente che la qualità sonora

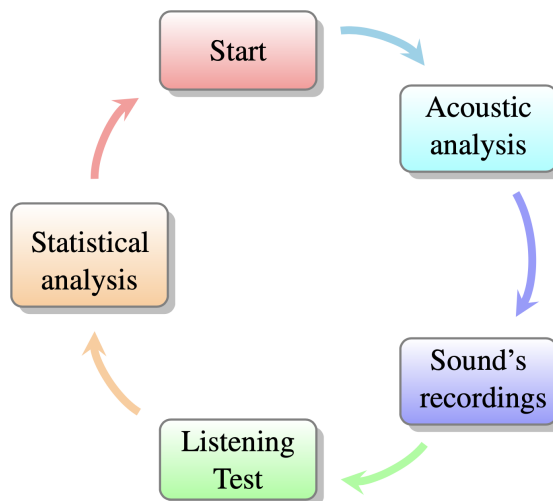


Figure 2.4: Processo iterativo per lo studio della qualità del suono.

di un prodotto doveva essere specificata per consentire lo sviluppo sistematico di quest'ultimo. Le specifiche erano basate su descrizioni verbali del suono e analisi psicoacustiche delle registrazioni binaurali. Gli strumenti di qualità del suono disponibili in commercio si limitavano ad analizzare il suono totale che raggiungeva le orecchie dell'ascoltatore. Nonostante la chiara consapevolezza dell'influenza del contesto [17], la capacità umana di separare il suono da fonti diverse [23] e l'influenza delle variazioni tempo-spazio [20] erano ben documentate, c'era una mancanza di strumenti per gestire questi aspetti del suono.

Keiper [24] ha scritto che *"Sound quality evaluation of a product begins at the design specification stage, preferably by obtaining the customers' opinion about character and quality of the planned product's operating noise"*, continua poi nella trattazione *"At the product specification stage, where prototypes of the new product do not exist, decisions on target sounds have to be based on existing older, comparable products, and possibly on sound simulations"*, ciò significa che la comparabilità dei rumori risultante dallo studio, si dimostra essere la tecnica più efficace per definire le specifiche di prodotto.

Bodden [25], nella sua opera suggerisce alcuni strumenti utili per definire la qualità sonora: presentazione del segnale audio-adequato, metriche psicoacustiche e metriche combinate (ad es. indice di fastidio e piacevolezza sensoriale). Con questi tipi di strumenti, dovrebbe essere possibile identificare proprietà sonore adeguate degli "esempi" sonori, intesi come timbri dinamici del prodotto sotto analisi.

In Guski et all. [26] si vede proposto un modello di valutazione delle informazioni acustiche in due fasi: prima l'analisi del contenuto delle descrizioni libere del suono e seconda, unidimensionale o psicofisica multidimensionale, chiaramente questo processo richiede che debbano essere analizzati una mole di diversi suoni. Nella prima fase, l'obiettivo è stato quello di stabilire un linguaggio adatto per descrivere le caratteristiche dei suoni scelti. Nella seconda fase, si è potuta determinare la relazione tra le descrizioni verbali e le metriche acustiche.

L'uso di registrazioni di testa artificiali, ancora, è stato considerato un metodo standard per ottenere segnali binaurali realistici per l'analisi psicoacustica[27]. Molti ricercatori hanno sviluppato modelli di previsione intelligenti per valutare con precisione la qualità del suono interno del veicolo[28].

Uno studio del rumore approfondito dell'abitacolo offre due buone indicazioni: il primo è se la porta è stata chiusa correttamente, il secondo indica che un buon tonfo contribuirà all'impressione generale della macchina, e questo è un fattore molto importante in quanto chiudere la porta è un'azione che un cliente può fare mentre osserva l'auto nel negozio venditore[29].

Molte pubblicazioni riportano studi di qualità del suono sul rumore emesso da una porta che sbatte, ma la metodologia di questo tipo di esperimenti di ascolto non è ancora chiaramente spiegata[30-32].

Xiaorong Huang[33] fornisce un nuovo approccio per valutare la qualità del suono interno del veicolo, innovativo rispetto a studi del passato sfruttando tecniche di machine learning come CNN(s) a stadi retroattivi.

Douli[34], indagato il disagio prodotto dal rumore di 3 modelli di veicoli commerciali, nel suo studio definisce la relazione tra le grandezze soggettive di disagio e i parametri acustici (cioè il Loudness, la sharpness, la roughness e articulation index).

Han Li[35], fornisce un modello di qualità del suono basato su rete neurale artificiale per il rumore della cappa da cucina. Lo studio evidenzia come la combinazione delle selezioni metriche preliminari (giudizi soggettivi) e le misure in campo possa essere fatta mediante lo scaling multidimensionale (MDS, dall'inglese MultiDimensional Scaling) ovvero una tecnica di analisi statistica usata per mostrare graficamente le differenze o somiglianze tra elementi di un insieme.

In un altro studio condotto da Marek Moravec et al.[36], è stato sviluppato un indice di qualità del suono per la valutazione oggettiva della qualità del suono delle lavatrici automatiche, ciò mediante la correlazione e la successiva elaborazione statistica della misurazione binaurale oggettiva e dei questionari soggettivi. Con lo stesso metodo Wang[37], in uno studio sul veicolo, ha analizzato le metriche psicoacustiche per analizzare la qualità di produzione dello stesso.

I casi di studio pertanto, in cui le tecniche sono state applicate a valutazioni di progettazione valide, hanno contribuito a evidenziare i problemi applicativi e a fornire informazioni utili sul grado di precisione richiesto nelle misurazioni e nei modelli.

2.4 Metodi per la progettazione della qualità del suono del prodotto: casi di studio

In questo contesto ci concentreremo sul rumore prodotto dalle cappe da cucina.

Le cappe da cucina sono una componente essenziale degli elettrodomestici, in quanto sono in grado di catturare fumi e vapori durante la cottura degli alimenti. Nel corso degli anni, i produttori hanno lavorato per definire le caratteristiche della cappa al fine di renderla il più possibile adattabile per il mercato sia dal punto di vista meccanico che anche dal punto di vista acustico.

Il caso studio¹ è relativo al rumore emesso da cappe da cucina di produzione Elica S.p.A.

Per lo studio della qualità del suono si è fatto uso di un simulatore a torso (head and torso simulator) type 4100 che include anche preamplificatore type 5935 (12 V) dotato di microfoni all'ingresso dei canali uditivi atti a simulare la separazione che esiste tra orecchio destro e orecchio sinistro di una testa umana. Le registrazioni mirano alla determinazione di parametri psicoacustici oggettivi Loudness e Sharpness. Le misure sperimentali sono state condotte in camera silente e riverberante su un campione di 4 cappe differenti per categoria, stessa tipologia di motore ed alimentazione. Per l'identificazione dell'indice di sound quality sono stati creati due tipi di test d'ascolto: i partecipanti al test hanno valutato in termini di pleasantness e powerfulness il rumore che produce la cappa.

I risultati di tali test si useranno per costruire delle formule di correlazione tra i parametri soggettivi e quelli oggettivi misurati, in modo da costruire formule analitiche che aiutino in fase di sviluppo dei prototipi ad ottimizzare il sound quality senza ricorrere ad ulteriori test soggettivi, onerosi in termini temporali.

2.4.1 Caratterizzazione acustica delle cappe da cucina

La cappa da cucina è un elettrodomestico che mira ad eliminare i fumi e gli odori emessi dal cibo e a garantire un ambiente libero da sostanze inquinanti. Le cappe da cucina si differenziano in base alla tipologia di installazione in Aspiranti e Filtranti. Questa classificazione viene effettuata esclusivamente sulla base del modo in cui le cappe gestiscono l'aria che viene aspirata conformi con lo standard IEC 61591 [38].

Le cappe da cucina in modalità aspirante [fig. 4.23,S] sono le più comuni, esse sono dotate di un condotto che viene utilizzato per elaborare ed espellere qualsiasi fumo che viene generato sulla parte superiore del piano cottura della cucina. Quelle in modalità filtrante [fig. 4.23,F] non hanno un condotto bensì sono dotate di una rete filtrante dell'aria la quale verrà messa in ricircolo all'interno della stanza.

Le misure di interesse per questa analisi sono quelle relative solo all'emissione sonora della cappa da cucina. Per il calcolo del rumore si è fatto riferimento alla normativa vigente in particolare IEC 61591 [38] e ISO 3741 [39], 3744 [40], 3745 [41], 3747 [42]. I campioni sono stati rinominati con la seguente dicitura C1, C2, C3, C4.

La misura del livello di potenza sonora espressa in dB(A) si effettua generalmente in camera riverberante secondo norma UNI EN ISO 3741 [39] certamente però per l'indagine soggettiva la condizione di riverbero avrebbe potuto distorcere il dato, dunque prima di procedere con l'acquisizione binaurale, si è scelto di effettuare una campagna di misura dei livelli oggettivi (SPL e L_w) in camera silente e calcolare il delta di scarto con i dati acquisiti in riverberante garantiti della classe energetica del prodotto. L'acquisizione dati è stata effettuata utilizzando la sonda intensimetrica SINUS SIS190, secondo ISO 9614-2 [43] e la cappa è stata collocata all'interno della camera secondo i vincoli imposti dallo standard.

Il calcolo dei parametri psicoacustici e l'acquisizione delle tracce audio sono state

¹Di Loreto et al. *Sound quality evaluation of kitchen hoods*. Published in *Applied Acoustics*, Volume 168, November 2020, pages 107415.

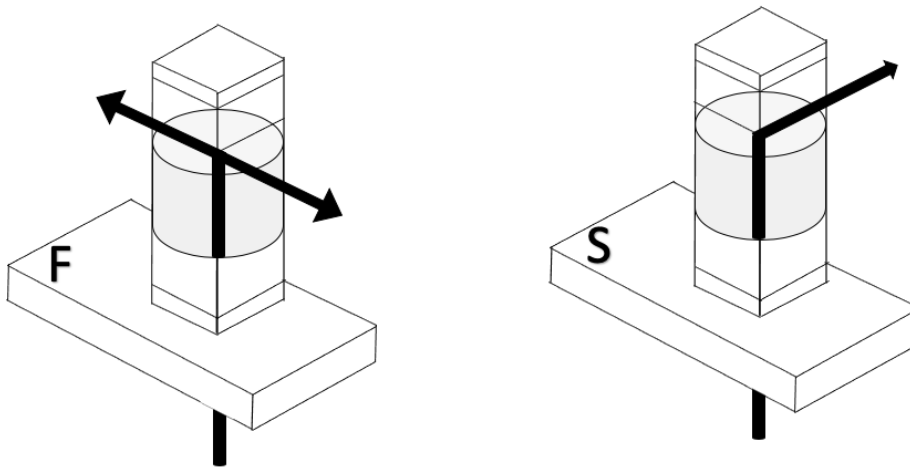


Figure 2.5: Cappa da cucina in modalità filtrante (filtering mode) **F** ed aspirante (suction mode), **S**.

realizzate, mediante un simulatore a torso (head and torso simulator) type 4100 con preamplificatore type 5935 all'interno di una cucina tipo allestita all'interno dei laboratori aziendali come si vede in fig. [4.24](#)



Figure 2.6: Misure binaurali in ambiente cucina.

Al fine dello sviluppo della metodologia, dopo un'analisi preliminare dei dati raccolti, si sono presi in considerazione Loudness, Sharpness e Livello di Pressione Sonora ponderato A. I risultati hanno mostrato uno scarto ridotto tra i valori dei parametri misurati tra orecchio destro e sinistro pertanto si è scelto di considerare il valore medio.

Coerentemente con i risultati di fig. [4.25](#), la tab. [2.1](#) mostra i valori numerici di Loudness, Leq e Sharpness per tutti i campioni alla prima velocità e alla terza non intensiva.

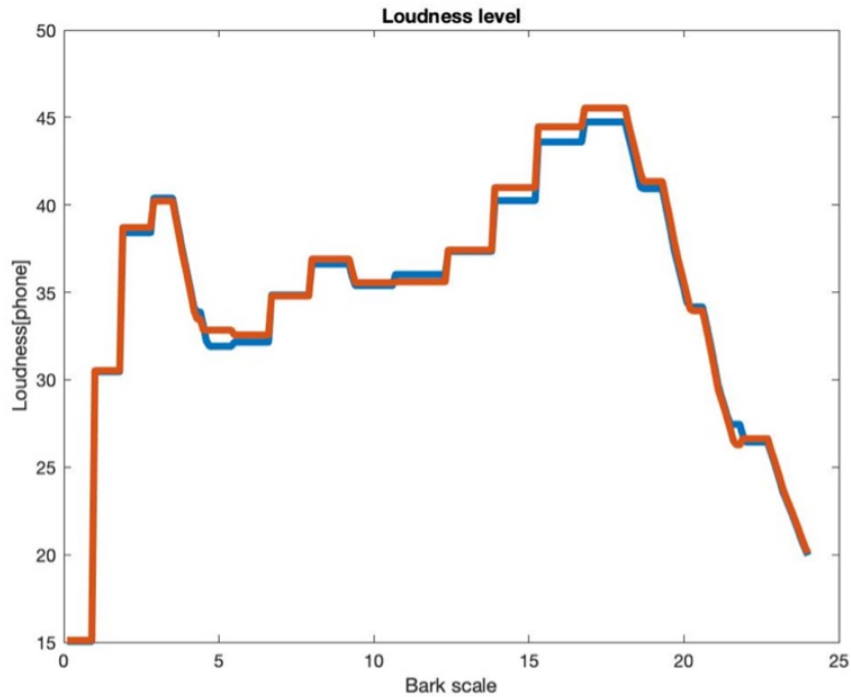


Figure 2.7: Scarto esistente tra Loudness misurata per orecchio destro [Arancione] e sinistro [Blu].

Da qui in poi per indicare il campione e la velocità di funzionamento si userà l'acronimo $CnVm$ con n che rappresenta il numero del campione e m indica la velocità di test.

Table 2.1: Valori medi di Leq, Loudness, Sharpness.

$CnVm$	Leq [dBA]	Loudness [Phone]	Sharpness [acum]
C1V1	64.3	82.15	3.13
C1V3	66.8	82.16	3.35
C2V1	52.2	70.60	2.37
C2V3	64.2	81.06	3.16
C3V1	57.3	75.34	2.44
C3V3	65.2	83.06	3.01
C4V1	39.1	33.31	1.38
C4V3	57.4	76.03	2.27

2.4.2 Test di ascolto e metodo di prova

I test soggettivi sono stati effettuati seguendo il parere fornito dalla raccomandazione ITU-R BS 1116-3 [44]. Per la giuria degli ascoltatori sono stati costruiti due tipi di test, il primo (T1) focalizzato sulla valutazione della piacevolezza dei suoni, l'altro (T2) in grado di definire una scala gerarchica di gradimento, per tutti i campioni e per le due velocità testate.

Gli ascoltatori sono stati scelti tra dipendenti, studenti e professori del Politecnico delle Marche. Il primo ascoltatore può essere considerato addestrato ad ascoltare il rumore delle cappe, gli altri sono ascoltatori meno influenzati.

L'età variava dai 20 ai 65 anni. Nessuno dei presenti aveva precedentemente partecipato a test di valutazione acustica finalizzati allo studio di un prodotto.

Per condurre valutazioni soggettive in questo caso, è necessario selezionare un metodo appropriato, quindi il test T1, è stato somministrato in ambiente cucina. L'installazione, all'interno dei laboratori dell'azienda, è stata realizzata al fine di stimolare un giudizio da parte degli ascoltatori nella condizione di installazione reale. Durante il test per evitare elementi di distrazione, la cappa è stata era coperta con teli neri. L'ascoltatore è stato posizionato alla distanza di 1 metro dalla cappa per un ascolto totale di 32 secondi. Dopo aver ascoltato ogni suono, è stato chiesto di valutarlo compilando un questionario di 7 domande.

Alla giuria è stato chiesto di rispondere alle domande indicando il grado di preferenza con su una scala normalizzata da 1 a 5. Gli esperimenti soggettivi sono caratterizzati principalmente dal controllo e la manipolazione delle condizioni sperimentali, e in secondo luogo dalle sensazioni provenienti dai soggetti coinvolti. Le domande sono state concepite specificamente per il caso di studio e si riportano in tab.2.2.

La cappa fornisce un'ottima qualità del suono?	1	2	3	4	5
La cappa risulta essere rumorosa in ambiente cucina?	1	2	3	4	5
In base alla rumorosità della cappa quanto attribuirebbe in termini di volume percepito?	1	2	3	4	5
Il suono della cappa influenzerà il suo acquisto?	1	2	3	4	5
La cappa fornisce un suono piacevole in termini di confort?	1	2	3	4	5
Il suono della cappa è in linea con sue aspettative?	1	2	3	4	5
Il suono della cappa le da l'idea di un prodotto consistente?	1	2	3	4	5


Table 2.2: Stralcio questionario T1.

L'obiettivo finale è stato quello di capire quanto l'ascoltatore apprezzasse, percepito in termini di qualità, piacevolezza e rumorosità il suono del prodotto. La qualità si riferisce esclusivamente al prodotto: si vuole indagare il grado di soddisfazione che il consumatore esprime in relazione all'uso di quest'ultimo. La piacevolezza si riferisce alla percezione che l'ascoltatore ha del suono sentito. La metrica ha un significato positivo, in quanto definisce il gradimento del soggetto al suono al contrario la rumorosità si riferisce solo al suono e certamente ha un significato negativo.

Il test T2 è stato costruito in modalità comparativa ed è stato sottoposto agli ascoltatori sfruttando un modulo Google online[45], uno strumento che raccoglie informazioni dagli utenti tramite sondaggio utilizzando tracce audio registrate nell'ambiente cucina. Ogni ascoltatore ha avuto la serie di suoni disponibili prima di iniziare il test è stato messo in condizione di ripetere l'ascolto a volontà prima di procedere con la valutazione. Per il test T2 è stato chiesto agli ascoltatori di classificare gli otto suoni in termini della sola piacevolezza, indicando per ciascuno il grado di gradimento su una scala normalizzata da 1 a 5.

Per completezza si riporta stralcio del test T2 in fig.2.8.

Test comparativo A: Confronto tra i quattro campioni a velocità minima



Dopo aver ascoltato 4 suoni si chiede all'ascoltatore di indicare il più piacevole tra i quattro indicando il grado di preferenza su una scala normalizzata da 1 (meno) a 5 (molto).

	1	2	3	4	5
C1V1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C2V1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C3V1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
C4V1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

[Invia](#) [Cancella modulo](#)

Figure 2.8: Stralcio del test T2.

2.4.3 Il Sound Quality Index

I giudizi raccolti nei test sono stati sottoposti ad un accurata analisi statistica al fine di identificare la correlazione più efficace tra i parametri psicoacustici e le risposte dei test soggettivi. Lo scopo dello studio di correlazione è quello, infatti, di evidenziare un legame di interdipendenza tra le variabili in gioco. La correlazione lineare è misurata da Bravais-Pearson [46]. Il coefficiente di correlazione tra due variabili casuali X e Y è definito come nell'eq. 2.7:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.7)$$

I modelli di regressione lineare rappresentano la relazione tra una variabile dipendente, o risposta, y ed una o più variabili indipendenti $x(1), \dots, x(n)$. La regressione lineare semplice considera solo una variabile indipendente usando la relazione in eq. 2.8:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (2.8)$$

dove β_0 è l'intercetta y, β_1 è la pendenza (o coefficiente di regressione), e ϵ_i è il termine di errore.

Si inizierà con un insieme di n valori osservati di x e y dati da:

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n) \quad (2.9)$$

Utilizzando la semplice relazione di regressione lineare, questi valori formano un sistema di equazioni lineari. È possibile rappresentare queste equazioni in forma di matrice come di seguito:

$$\left[\begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} \right]$$

$$\left[Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix}, X = \begin{pmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & x_n \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} \right]$$

Infine eq. 2.8 può essere espressa in modo conciso come:

$$Y = X * B \quad (2.10)$$

Per ogni risposta raccolta nel T1 è stata fatta un'operazione di normalizzazione, calcolando la risposta media del campione, e analizzando la dispersione dei risultati attraverso la valutazione della deviazione standard. In primo luogo, è stato verificato che le metriche soggettive non fossero slegate tra loro, quindi capire quanto la risposta a una domanda avrebbe potuto essere correlata alla risposta di un'altra domanda. Per identificare la correlazione più appropriata è stata utilizzata l'analisi di regressione polinomiale. Le curve approssimanti possono essere utilizzate per visualizzare i dati e riassumere la relazione tra due o più variabili.

Per questa analisi è stata scelta una curva polinomiale di terzo grado, a titolo di esempio si riporta la rappresentazione delle curve con valori relativi del coefficiente di correlazione tra le metriche soggettive in fig. 4.26 e tra le metriche oggettive in fig. 2.10.

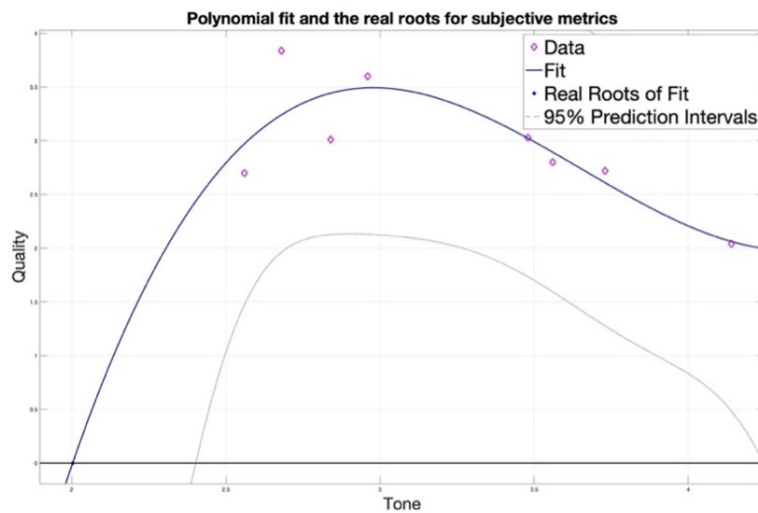


Figure 2.9: Regressione polinomiale tra la metrica soggettiva Qualità e la metrica soggettiva Volume. Risultati della Correlazione: Correlazione 0.99; Covarianza 0.40; Probabilità 0.001.

Di seguito si vogliono riportare i valori tabulati [tab. 2.3] delle correlazioni di Pearson per le metriche prese in esame. I risultati mettono in evidenza la forte correlazione tra la metrica soggettiva piacevolezza e le metriche psicoacustiche.

Metriche	SPL	Loudness	Sharpness
Qualità	-0.69	-0.7	-0.64
Rumorosità	0.74	0.75	0.71
Piacevolezza	-0.83	-0.85	-0.81
Volume percepito	0.77	0.76	0.86

Table 2.3: Analisi di regressione polinomiale tra le metriche soggettive e oggettive

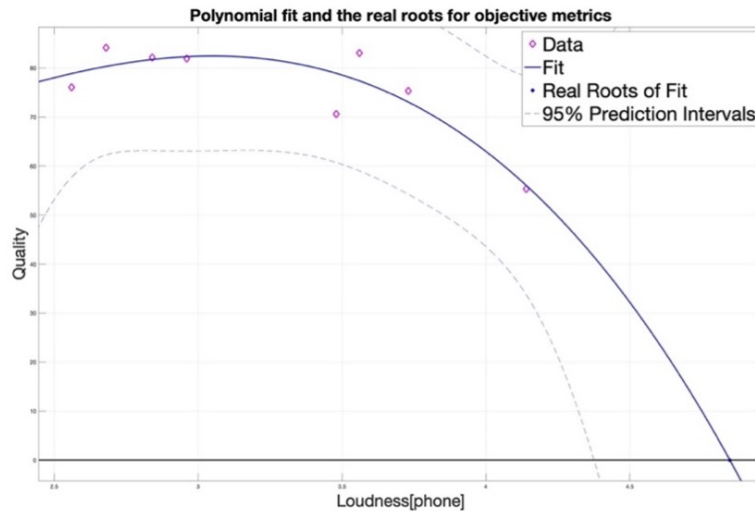


Figure 2.10: Regressione polinomiale tra la metrica oggettiva Loudness e la metrica soggettiva Qualità. Risultati della Correlazione: Correlazione 0.70; Covarianza 3.80; Probabilità 0.051.

Si riscontra una correlazione accettabile anche per la rumorosità e il volume, quest'ultimo solo per la sharpness. Le correlazioni lineari sono state un importante studio preliminare per capire l'andamento generale dei dati. Alla luce dei risultati ottenuti si può procedere alla costruzione di una metrica custom.

Per creare una metrica custom adatta al caso di studio è stato sfruttato un modello di regressione multivariato realizzato nell'ambiente Matlab (R2018b-64bit) [47]. Il modello di regressione è costituito da correlazioni tra due o più variabili (misure oggettive) e la variabile dipendente (misura soggettiva) lo si vede rappresentato nell'eq. 2.11.

$$Y_{fit} = b_0 + b_1 * Leq + b_2 * Loud + b_3 * Sharp \quad (2.11)$$

dove Y_{fit} è la variabile dipendente, b_n rappresentano coefficienti di regressione parziale:

- $b(0) = 9.5608$
- $b(1) = 0.2708$
- $b(2) = -0.2821$
- $b(3) = -0.4691$

La fig. 2.11 mostra il modello di regressione multivariata tra la metrica soggettiva e i parametri oggettivi (Loudness-SPL-Sharpness), la scelta dei parametri da sottoporre ad esame è stata fatta in base al grado di correlazione di Pearson ottenuto dalla regressione polinomiale tra le singole metriche. La stessa metodologia operativa è stata eseguita per tutte le metriche descritte in precedenza e per tutti i campioni disponibili.

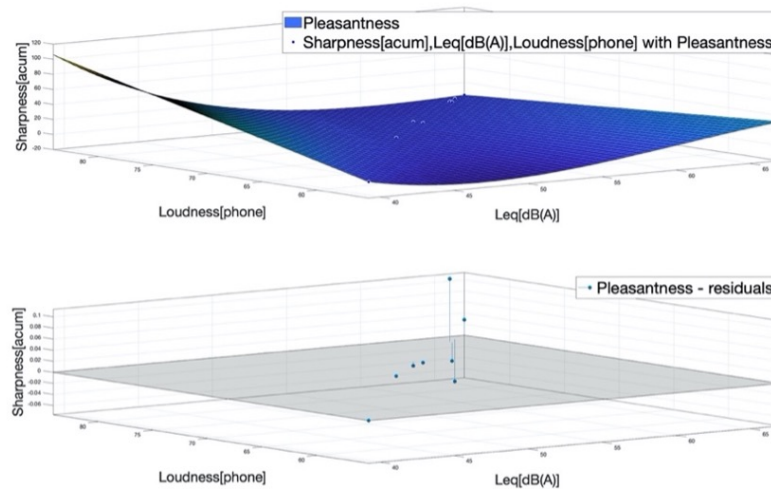


Figure 2.11: Regressione multivariata tra la piacevolezza e le metriche oggettive.

L'indice SQ è stato definito come la somma ponderata delle metriche soggettive studiate, i pesi sono stati attribuiti sulla base del valore ottenuto nelle correlazioni bivariate e come elemento discriminante è stato scelto il coefficiente di correlazione di Pearson. I risultati del test T2 sono stati utilizzati per convalidare il modello.

Considerando i dati statistici, possiamo affermare che il modello ha mostrato una corrispondenza positiva per tutti i campioni testati alla terza velocità non intensiva. In particolare, è stata ottenuta la stessa classificazione delle cappe di intervallo, sia con il metodo soggettivo che con il metodo basato sull'indice SQ, i risultati sono mostrati in tab. 2.4.

Table 2.4: Confronto SQI calcolato e test comparativi T2

Rate	Campioni [dB(A)]	SQI	T2 results
1	C4V3	0,073	3,94
2	C3V3	0,335	3,05
3	C2V3	0,426	2,91
4	C1V3	0,501	2,11

Questo lavoro fornisce una metodologia completa per determinare un indice di qualità del suono per le cappe da cucina. Naturalmente, il problema dell'ottimizzazione acustica di un prodotto non si conclude con l'analisi dei descrittori psicoacustici, ma deve essere combinato con analisi di altro tipo.

La metodologia proposta ha tuttavia evidenziato le caratteristiche sonore che influenzano il gusto e la decisione del consumatore finale, pertanto gli strumenti, sia matematici che di acquisizione ed elaborazione dei dati, potrebbero essere visti come un punto di riferimento per la progettazione di un buon prodotto durante la prototipazione.

2.4.4 Sound Quality Index Vs Psychoacoustic Annoyance

Ci sono spesso problemi nello stabilire collegamenti di correlazione statisticamente significativi tra metriche soggettive, derivate da test di ascolto, e metriche oggettive di Zwicker.

Le metriche oggettive custom vengono quindi sviluppate specificamente per lo studio del prodotto considerato. Non è possibile stabilire un unico modo in grado di verificare il valore del SQI trovato poiché quest'ultimo è un parametro a singolo indice ed ha una struttura dinamica.

Per questo motivo è dunque necessario calcolare i coefficienti di ponderazione (b_1 , b_2 , b_3 , etc.) delle metriche oggettive scelte sulla base delle finalità dell'indice definito.

Sarebbe inoltre necessario effettuare prove di affidabilità degli indici mediante modelli di prodotti industriali non appartenenti al campione di prodotti studiato.

Al fine di validare lo strumento definito in eq. 2.11 è stata effettuata un'ulteriore analisi², testando ulteriori cinque cappe da cucina di gamma in condizioni reali di installazione all'interno di cinque differenti abitazioni. Le cappe sono elencate in tab. 2.5:

Table 2.5: Cappe da cucina selezionate.

Type	Punto di Aspirazione	IEC point suction capacity [m ³ /h]	L _w max speed dB(A)
K1	Top	610	69
K2	Top	550	63
K3	Top	620	65
K4	Bottom	750	62
K5	Bottom	660	66

Le registrazioni binaurali delle cappe sono state effettuate in cinque ambienti cucina con un rumore di fondo compreso tra 38 e 42 dB(A).

La misurazione dei livelli sonori, per il calcolo dei parametri psicoacustici, è stata effettuata sia in un ambiente di cucina vuoto che durante l'ora di pranzo dei commensali. Questa scelta è stata dettata dalla necessità di capire quanto il rumore ambientale avesse influito sulla valutazione soggettiva del rumore della cappa. Le prove di ascolto, in questo caso, sono state effettuate nello stesso ambiente in cui l'apparecchio era stato montato. Così facendo, l'ascoltatore ha garantito un'opinione estremamente soggettiva influenzata anche da altri aspetti sensoriali. Per la valutazione soggettiva di qualità sonora è stata sfruttata una scala discretizzata da uno a cinque punti. Gli ascoltatori sono stati scelti nelle cinque case dove sono state effettuate le misurazioni.

Il livello di rumore prodotto dagli elettrodomestici ed il relativo rumore di fondo nell'area di installazione aumenta il disturbo acustico [48, 49], dunque oltre alle caratteristiche acustiche dei suoni è chiaro che effetti estetici e/o cromatici possono incidere nel giudizio dell'ascoltatore/consumatore in una misura elevata. Gli elementi psicoacustici dei suoni fastidiosi possono essere descritti da una combinazione di sensazioni uditive chiamate *Psychoacoustic Annoyance* (PA).

²Di Loreto et al. *Methods for product sound design: a correlation between annoyance and sound quality of noise emitted by household appliance*. Published in INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, 21st - 24th August 2022, Glasgow, Scotland

Per il calcolo dei parametri psicoacustici in riferimento alla nostra ricerca è importante fare riferimento al modello di disturbo di Zwicker [6].

Il modello di disturbo di Zwicker viene utilizzato per la categorizzazione del "suono" per determinare come un ambiente acustico suona, utilizzando campioni di rumore raccolti manualmente. La relazione è illustrata in eq. [3.2]:

$$PA = N_5(1 + \sqrt{(\omega_S)^2 + (\omega_{FR})^2}) \quad (2.12)$$

Il PA è una funzione semplice, composta di tre parametri:

1. N_5 rappresenta il percentile della Loudness, misurato in Son definito anche come il quinto percentile della Loudness;
2. ω_S è una funzione della nitidezza misurata in Asper; In particolare:

- se $S > 1.75$:

$$\omega_S = 0.25(S - 1.75)\log(N_5 + 10) \quad (2.13)$$

- se $S < 1.75$:

$$\omega_S = 0 \quad (2.14)$$

3. ω_{FR} è funzione del volume dato dalla combinazione di intensità di fluttuazione (a vuoto) e rugosità.

$$\omega_{FR} = \frac{2.18}{N_5 \exp 0.1} * (0.4F - 0.6R) \quad (2.15)$$

Per questo studio, è stata creata una routine in Matlab che è in grado di calcolare il PA una volta che i valori delle misure oggettive sono stati forniti come input. Con la stessa procedura, poi, utilizzata per determinare il SQI (eq. [3.1]), si propone un modello di correlazione per identificare il fastidio psicoacustico relativo all'elettrodomestico.

Il modello di regressione è spiegato nel seguente eq. [2.16]:

$$PA_{app} = \beta_1(PA_{app})^2 + \beta_2(PA_{zwicker}) + \beta_3 \quad (2.16)$$

dove PA_{app} è la variabile dipendente, β_n rappresentano coefficienti di regressione parziale, PA_i è ottenuto dalla statistica regressiva sulla base dei dati raccolti nei test d'ascolto e $PA_{zwicker}$ si calcola come descritto nell'eq. [3.2].

La tab. [2.6] mostra i risultati di analisi di regressione polinomiale sia del disturbo percettivo che dell'indice di qualità del suono, per ogni campione.

Questo risultato è stato ottenuto costruendo una serie di test di ascolto adatti al caso di studio e correlando l'indice di qualità del suono con il fastidio percettivo, per quantificare il grado di disturbo ottenuto negli esperimenti psicoacustici.

Table 2.6: Risultati di PA e SQI per ciascun campione in esame.

Type	PA_{app}	SQI
K1	4.1	2.2
K2	3.3	2.4
K3	4.9	1.3
K4	1.2	3.6
K5	3.6	2.8

Il SQI è quindi un indice di qualità sonora che quantifica il suono ideale attraverso la correlazione tra metriche oggettive e soggettive e fornisce anche informazioni sul fastidio reale sentito dall'ascoltatore.

Il caso di studio evidenzia il rapporto che esiste tra piacevolezza e fastidio.

Si noti che, anche se l'ascoltatore non è fisicamente presente davanti alla sorgente, ne coglie la sensazione di sgradevolezza/ piacevolezza in quanto i risultati ottenuti sono perfettamente in accordo tra loro.

La cappa da cucina che è stata giudicata più rumorosa dagli ascoltatori ha anche ricevuto il punteggio SQI inferiore.

L'obiettivo principale è stato quello di costruire una correlazione potente tra le metriche soggettive, risultanti da test d'ascolto appositamente pensati e progettati per l'intento, e le metriche oggettive derivanti da misure di acustica tradizionale e della psicoacustica.

La volontà di creare una metrica custom per predire la qualità sonora è nata soprattutto dal bisogno di garantire in essa proprietà di ripetibilità e riproducibilità da uno studio all'altro.

In conclusione si fa notare come la scelta delle metriche sia direttamente connessa alla finalità che si intende attribuire all'indice di sound quality.

In tale senso la struttura dell'indice SQI dovrà sicuramente sempre adeguarsi all'uso che di tale strumento s'intende fare pur rimanendo fedeli alla metodologia di indagine, la quale può essere riassunta nei seguenti punti:

1. Definizione dei parametri oggettivi (campagne di misure condotte in camera anecoica e/o in ambienti di lavoro controllati, luoghi reali, zone di campo libero);
2. Registrazioni binaurali e processamento delle tracce audio acquisite per la riproduzione in cuffia;
3. Definizione dei parametri soggettivi (creazione di test d'ascolto ad hoc per il caso studio);
4. Elaborazione dati mediante la statistica proposta durante la trattazione;
5. Implementazione di una routine di calcolo per la determinazione della metrica custom;
6. Calcolo dell'SQI;

7. Calcolo del PA;
8. Comparazione degli indici di qualità e fastidio garantiti della validazione statistica;
9. Validazione del metodo: Il processo di sound design termina quando l'apparecchio mostra un suono vicino al target definito dal SQI e quindi il suono più piacevole da ascoltare in relazione alle metriche oggettive considerate importanti.

Chapter 3

L'arte di fare paesaggio: compatibilità dell'opera vs livello di sensazione sonora

Dopo un'analisi a livello macroscopico sulle finalità della psicoacustica e i casi di studio ad essa annessi, in questo capitolo si cercherà di entrare nel vivo della trattazione. Ma per comprendere quali sono le relazioni tra l'acustica e sostenibilità ambientale e soprattutto su come influisce l'inquinamento acustico sulla qualità delle nostre vite, verrà esposto un piccolo excursus prima sulla legislazione italiana poi un focus sulla regione Marche, della quale verranno chiarite in particolar modo, le strategie sostenibili da essa intraprese.

Lo scopo è quello di mettere a punto, dunque, alcuni parametri di valutazione proprio sui requisiti acustici degli edifici e sul paesaggio sonoro dei quartieri e delle aree urbane del nostro territorio.

3.1 Riferimenti legislativi nazionali

In Italia, la considerazione del tema dell'inquinamento acustico e del rumore ambientale si sviluppa secondo una triplice direttiva: la prima interessa l'esposizione al rumore nei luoghi di lavoro, la seconda l'isolamento acustico degli edifici (il cosiddetto "comfort acustico"), la terza prende in esame l'acustica ambientale.

Di questo terzo ambito ci occuperemo nello specifico.

Il quadro normativo in materia di inquinamento acustico è costituito dall'art. 659 del codice penale^[1], dalla Legge 26 ottobre 1995 n.447^[2] e suoi decreti applicativi e dall'art. 844 del codice civile (immissioni di rumore nel rapporto fra privati)^[2].

¹art. n. 659 CP, Chiunque, mediante schiamazzi o rumori, ovvero abusando di strumenti sonori o di segnalazioni acustiche ovvero suscitando o non impedendo strepiti di animali, disturba le occupazioni o il riposo delle persone, ovvero gli spettacoli, i ritrovi o i trattenimenti pubblici, è punito con l'arresto fino a tre mesi o con l'ammenda fino a euro 309. Si applica l'ammenda da euro 103 a euro 516 a chi esercita una professione o un mestiere rumoroso contro le disposizioni della legge o le prescrizioni dell'Autorità.

²art. n.844 CC, Il proprietario di un fondo non può impedire le immissioni di fumo o di calore, le esalazioni, i rumori, gli scuotimenti e simili propagazioni derivanti dal fondo del vicino, se non superano

La prima legge in tema di inquinamento acustico è il DPCM del 1/3/1991 che si pone come obiettivo di fissare i *"Limiti massimi di esposizione al rumore negli ambienti abitativi e nell'ambiente esterno"*. Il primo compito consiste nella chiarificazione dei termini utilizzati, sulla base dei quali vengono definiti i criteri della "zonizzazione acustica" del territorio, e infine si stabiliscono i parametri attraverso cui ritenere un rumore sanzionabile o meno.

Il concetto di zonizzazione acustica si basa sull'idea di una divisione in zone del territorio, in base alla destinazione d'uso. Il compito è affidato agli enti comunali e deve essere svolto sulla base di sei possibili classi di appartenenza: aree particolarmente protette, aree destinate a uso prevalentemente residenziale, aree di tipo misto, aree di intensa attività umana, aree prevalentemente industriali, aree esclusivamente industriali.

Una volta compiuta questa individuazione, si tratta di stabilire le modalità attraverso cui poter considerare un suono come elemento "indesiderato, disturbante o dannoso".

L'evoluzione del decreto è rappresentata dalla "Legge quadro sull'inquinamento acustico" del 26 Ottobre 1995^{[2][3]}.

La Legge Quadro del 1995 è seguita da un'intensificazione delle operazioni finalizzate alla regolamentazione dell'inquinamento acustico, che portano nel 1997 all'emanazione di due decreti volti a stabilire la "Determinazione dei valore limite delle sorgenti sonore", e la "Determinazione dei requisiti acustici passivi degli edifici" (DPCM del 14/11/1997 e DPCM del 5/12/1997).

Il D.P.C.M. 14/11/97 fissa, per ciascuna classe, i limiti massimi di esposizione al rumore all'interno di ogni zona territoriale, utilizzando come indicatore il livello continuo equivalente di pressione ponderato A, espresso in dB(A) ed associando ad ogni zona quattro coppie di valori limite, uno per il periodo diurno (dalle ore 6 alle 22) e uno per il periodo notturno (dalle ore 22 alle 6).

La zonizzazione acustica, così come prevista dalla tabella A del D.P.C.M. 14/11/1997, consiste nella suddivisione del territorio comunale nelle sei classi riportate nella tabella, con riferimento sia al territorio urbanizzato sia a quello in cui le trasformazioni urbanistiche non sono ancora attuate.

Il D.P.C.M. 5/12/1997 è il documento di riferimento nella normativa italiana per l'acustica in edilizia. Tale decreto, definisce le prestazioni che devono possedere gli edifici in merito a: isolamento dai rumori aerei tra differenti unità immobiliari, isolamento dai rumori esterni, isolamento dai rumori da calpestio, isolamento dai rumori di impianti a funzionamento continuo e discontinuo e tempo di riverberazione (per aule e palestre delle scuole).

Per completare il quadro, vale la pena citare il DPR del 30 Marzo 2004, n.142, che stabilisce le "Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento

la normale tollerabilità, avuto anche riguardo alla condizione dei luoghi. Nell'applicare questa norma l'autorità giudiziaria deve contemperare le esigenze della produzione con le ragioni della proprietà. Può tener conto della priorità di un determinato uso.

³L'inquinamento acustico viene definito come *"l'introduzione di rumore nell'ambiente abitativo o nell'ambiente esterno tale da provocare fastidio o disturbo al riposo ed alle attività umane, pericolo per la salute umana, deterioramento degli ecosistemi, dei beni materiali, dei monumenti [...]"* (Art. 2, 1, a).

acustico derivante dal traffico veicolare". Tali disposizioni sono messe in relazione alla tipologia della strada, al particolare contesto che la circonda e alla fascia oraria interessata.

3.2 Strategie regionali e progettazione della sostenibilità urbana

Il concetto della sostenibilità portuale ha guadagnato crescente attenzione ed è diventato una delle aree di interesse più importanti per il miglioramento della competitività portuale. Negli ultimi decenni è stata registrata una crescita fenomenale nel commercio marittimo e nell'industria portuale. I porti marittimi, percepiti come facilitatori del commercio, svolgono un ruolo significativo nella catena di approvvigionamento globale e nel sistema economico ma nello stesso momento causano un grave deterioramento dell'ambiente tanto che l'impatto ambientale delle operazioni portuali e dello sviluppo è diventato un problema in continua crescita. In particolare, l'esistenza di porti marittimi può creare impatti ambientali negativi sull'oceano, sul suolo e sull'aria, con conseguente deterioramento degli ecosistemi marini e terrestri, pertanto, le questioni ambientali e gli impatti legati alla sostenibilità sono stati e vengono tuttora ampiamente studiati.

Gli obiettivi di sostenibilità a livello regionale sono raccolti nella "Strategia Regionale di Sviluppo Sostenibile (SRSvS)" che, più nello specifico, definisce il quadro di riferimento per la Valutazione Ambientale Strategica (VAS), a tal fine sono individuati gli indicatori di contributo che devono essere obbligatoriamente utilizzati nella VAS, relazionati agli indicatori di contesto della Strategia, con l'individuazione dei relativi traguardi (target).

La Regione Marche, in particolare nella sezione - P.F. Bonifiche, Fonti Energetiche, Rifiuti e Cave e Miniere partecipa in qualità di project partner al progetto "LC Districts" (Towards low carbon city districts through the improvement of regional policies) finanziato nell'ambito del Programma di Cooperazione Interregionale 2014 – 2020 INTERREG EUROPE, afferente al Priority Axis 3 "Low-carbon economy" (<https://www.regione.marche.it>).

La città a basse emissioni di carbonio è un approccio di urbanizzazione sostenibile che si concentra sulla riduzione dell'impronta di carbonio antropica attraverso la minimizzazione o l'abolizione dell'utilizzo di energia ricavata da combustibili fossili. Combina le caratteristiche della società a basse emissioni di carbonio e dell'economia a basse emissioni di carbonio, sostenendo al contempo partenariati tra governi, settori privati e società civili: una caratteristica delle aree low-carbon è quella di avere edifici secondo standard di efficienza energetica.

Per realizzare quindi Distretti Low Carbon, è necessaria una gestione intelligente dell'energia e l'uso delle energie rinnovabili nelle infrastrutture pubbliche, compresi gli edifici pubblici, e nel settore dell'edilizia abitativa. Per misurare la portata di queste strategie è necessario uno strumento di valutazione.

Sorge a questo punto l'esigenza di promuovere una valutazione ambientale dei distretti per completare quella energetica, approfondendo così l'impatto ambientale e la qualità del tessuto urbano, senza trascurare, attraverso l'analisi LCA, il considerevole dispendio energetico relativo alle filiere produttive dei materiali da costruzione e degli

impianti. Attualmente in Italia la valutazione delle aree urbane (città, distretti, isolati) viene svolta applicando differenti protocolli, tra cui si inseriscono quello ITACA e il sistema LEED Italia, derivato da quello sviluppato da USGBC73 negli Stati Uniti, che si differenziano per essere uno pubblico e gratuito (ITACA) nato da un tavolo delle Regione italiane, stakeholder e ricercatori, l'altro (LEED) privato e a pagamento.

Il Protocollo ITACA nasce come dispositivo per valutare il livello di sostenibilità energetica e ambientale degli edifici. Verifica le prestazioni degli edifici non solo in termini di consumo e di efficienza energetica, ma anche di impatto sull'ambiente e sulla salute umana, promuovendo la costruzione di edifici innovativi con un consumo idrico ridotto e materiali a basso consumo energetico, garantendo un elevato livello di comfort.

Il Protocollo rappresenta uno strumento di certificazione e accreditamento, su base volontaria - recepito da molte Regioni italiane - per formulare un giudizio sintetico sul livello di sostenibilità ambientale degli EDIFICI, utile per il progettista, per le attività di controllo e indirizzo della pubblica amministrazione, per le scelte del consumatore. La Regione Marche ha assunto la presidenza di ITACA (Istituto per l'Innovazione e la Trasparenza degli Appalti e Compatibilità Ambientale), ha in capo il coordinamento del gruppo di lavoro sull'edilizia sostenibile e partecipa al Comitato promotore del Protocollo.

Nell'ambito di tale gruppo di lavoro, la scrivente ha preso parte attiva redigendo la serie di protocolli Itaca secondo la prassi UNI/PdR 13:2019 [50] degli edifici messi a disposizione dai comuni della regione Marche.

Vista poi la grande attenzione per la ricostruzione della scuola primaria e materna E. De Amicis, dopo il terremoto del 2016 del centro Italia, nella città di Muccia (MC) [51], si è scelto di considerare Muccia come caso "pilota" del progetto LC Discript⁴.

L'intera sperimentazione ha fornito le giuste indicazioni per la programmazione di sviluppo territoriale riguardo le carenze e necessità di quest'ultimo.

La coesistenza delle due certificazioni (Itaca a scala edificio e Urbana) risulta essere ad oggi il valore aggiunto dell'azione sostenibile implementata nella regione, in quanto garantisce una visione strategica del territorio e il focus su edifici di nuova costruzione e ristrutturazione.

I risultati che si otterranno dovranno dimostrare un significativo miglioramento della prestazione rispetto ai regolamenti vigenti e alla pratica comune, fino al raggiungimento di un punteggio che possa essere rappresentativo della migliore pratica corrente.

3.2.1 Il Protocollo Itaca su scala urbana per la valutazione sostenibile del Waterfront

Quando si parla di zolla urbana si fa spesso riferimento a zone residenziali, centri di periferia in via di sviluppo ma raramente si pone l'attenzione sulle porzioni di territorio dedicato alle infrastrutture. La città di Ancona, come si vedrà nel corso della trat-

⁴Di Loreto et al. *The influence of the acoustic performance in the certification of a school buildings according to the ITACA protocol*. Published in *Building Acoustics*, Volume 29, December 2022, pages 445-457.

tazione, è caratterizzata da un territorio molto variegato sul quale sorgono numerosi contesti, tra cui il porto.

La trasformazione del “Waterfront” è un tema di attualità importante che riguarda non solo i grandi centri urbani, ma anche le piccole e medie città che si affacciano sull’acqua. Oggi tutti hanno cercato di cogliere le opportunità che gli spazi di contatto tra il tessuto urbano ed i corpi idrici possono offrire. Nel corso degli ultimi decenni, le città portuali appaiono come attori nei processi di riconversione delle loro aree portuali urbane.

Gli interventi sono complessi e implicano contraddizioni e approcci, in particolare l’interazione di scale, strategie territoriali, strumenti, finanziamenti e altri aspetti legati alla trasformazione delle città portuali e dei Waterfront urbani in Italia.

Scenario di riferimento e aree di intervento

Il porto di Ancona (sigla internazionale IT AOI) è un porto situato nella parte più interna del Golfo di Ancona ed è perciò nel suo nucleo più antico un porto naturale; è il primo porto italiano per traffico internazionale di veicoli e passeggeri.

Tra i primi porti dell’Adriatico per le merci, per ciò che riguarda la pesca, i mercati ittici di Ancona sono nel loro insieme al secondo posto nell’Adriatico e al sesto posto in ambito nazionale, mentre per tonnellate di stazza lorda, il porto peschereccio è al terzo posto in Italia e al primo in Adriatico con 4.566 TSL.

Nel corso dei secoli è stato poi più volte ampliato con opere di protezione ed è attualmente sede dell’Autorità di sistema portuale del medio Adriatico, che comprende anche i seguenti porti di rilevanza regionale: Pesaro, Fano, Civitanova Marche, San Benedetto del Tronto, Porto San Giorgio. Importante centro della cantieristica italiana, con il cantiere navale della Fincantieri e quattro cantieri specializzati, i lavoratori sono tra i cinquemila e i seimila. L’area portuale è di oltre 1,4 milioni di m², suddivisa in terminal passeggeri e traghetti, terminal container e impianti per rinfuse solide.

Il porto ha una funzione strategica nella Macro-regione Adriatico-Ionica. In particolare, la rotta Ancona-Igoumenitsa-Patrasso è diventata negli anni la principale rotta tra la Grecia e l’Europa centrale. Ancona è infatti leader nel traffico Ro/Pax tra la Grecia e l’Europa centro-occidentale. Per quanto riguarda il traffico container, sono in corso importanti investimenti per portare la profondità del bacino portuale a -14 metri e per estendere la banchina esistente di 333 metri a 600 metri.

In fig. 3.1 si riporta la vista aerea dell’area portuale di interesse.

Nel porto di Ancona, lungo le calate, i moli, le darsene, gli scali e il Mandracchio, ci sono 27 banchine, adibite a varie funzioni come segue in tab. 3.1, le aree di destinazione d’uso sono indicate invece in fig. 3.2 redatta dall’autorità portuale di Ancona:

Il piano di sviluppo del porto costituisce l’occasione di riproporre l’integrazione città-porto con lo scopo di dare spazio alle esigenze di entrambi.

Contestualizzato il porto e definita la sua maestosità, ci si pone ora l’obiettivo di selezionare le zone/aree delle quali si intende individuare le configurazioni infrastrutturali e organizzative più idonee delle aree del Waterfront e quelle circostanti. Per caratterizzare le aree del porto dal punto di vista pianificatorio, urbanistico e ambientale si deve tenere conto di molti aspetti, essendo la materia trattata condizionata già apriori ed a sua volta di aspetti legati a trasporti e logistica, economia di settore



Figure 3.1: Vista aerea del porto di Ancona.



Figure 3.2: Porto internazionale di Ancona: le funzioni.

(pesca, cantieristica, turismo ...).

Sarà dunque fondamentale l'inquadramento territoriale delle aree di riferimento e l'identificazione precisa degli ambiti portuali oggetto di studio.

La fig. 3.3 estrapolata dal piano per lo sviluppo di Ancona del 2010 è utile per individuare le zone e la loro destinazione d'uso.

Con lo scopo anche di migliorare la vivibilità locale e la mobilità delle persone è chiaramente indispensabile comprendere come sia attualmente configurato l'accesso da terra al porto. Ad oggi esiste un sistema di accesso molto restrittivo e una viabilità motoria molto ridotta in quanto la maggior parte delle aree destinate al pubblico risultano essere di difficile percorrenza senza l'ausilio di un mezzo di trasporto proprio. Nell'ottica di un porto sostenibile sarà necessario tradurre questa condizione in

Table 3.1: Elenco dei cluster con indicato il numero della banchina, la funzione e la profondità del fondale.

Cluster	Banchina	Funzione	Fondale
Molo della Lanterna	Banchina - -	Servizi	-10 m
Molo Luigi Rizzo	Banchina 2	Merci	-10 m
Molo Luigi Rizzo	Banchina 3	Servizi	-10 m
Molo Luigi Rizzo	Banchina 4	Merci	-10 m
Darsena San Primario	Banchina 5	Servizi	-10 m
Darsena San Primario	Banchina 6	Servizi	-10 m
Calata Guasco	Banchina 7	Traghetti	-10 m
Molo Karol Wojtyla	Banchina 8	Traghetti	-10 m
Molo Karol Wojtyla	Banchina 9	Traghetti	-10 m
Calata Nazario Sauro	Banchina 10	Servizi	-10 m
Molo Santa Maria	Banchina 11	Traghetti	-10 m
Molo Santa Maria	Banchina 12	Traghetti	-10 m
Molo Santa Maria	Banchina 13	Traghetti	-10 m
Calata della Repubblica	Banchina 14	Traghetti	-10.5 m
Molo XXIX Settembre	Banchina 15	Merci	-7 m
Molo XXIX Settembre	Banchina 16	Traghetti	-10.5 m
Molo XXIX Settembre	Banchina 17	Servizi	-12.5 m
Calata Giovanni Di Chio	Banchina 17	Riservato	-12.5 m
Mandracchio	Banchina - -	Pesca	- - m
Molo Sud	Banchina 18	Pesca	-12.5 m
Molo Sud	Banchina 19	Merci	-12.5 m
Nuova Darsena	Banchina 20	Merci	-11 m
Nuova Darsena	Banchina 21	Merci	-11 m
Nuova Darsena	Banchina 22	Carbone	-11 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 23	Merci varie	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 24	Merci varie	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 25	Container	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 26	Container	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 27	Granaglie e Rinfuse	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 28	Granaglie e Rinfuse	-14 m
Nuova Banchina commerciale	Banchina 29	Granaglie e Rinfuse	-14 m

un piano strategico volto alla costruzione di zone pedonali e ciclabili. In fig. 3.4 è rappresentata la viabilità veicolare del porto di Ancona. In particolare, sono messe in evidenza i trattati percorribili in funzione del mezzo di trasporto adottabile.

Per i motivi fin ora elencanti le aree selezionate per questa indagine sono state le banchine, nella cui funzione indicata in tab. 3.1, sarebbe anche prevista e concessa la libera circolazione dei cittadini.

Escludendo, dunque, le banchine adibite a cantiere o magazzino, i moli adibiti al solo transito imbarco/sbarco, le aree prese in considerazione sono otto e sono state denominate con la seguente nomenclatura:

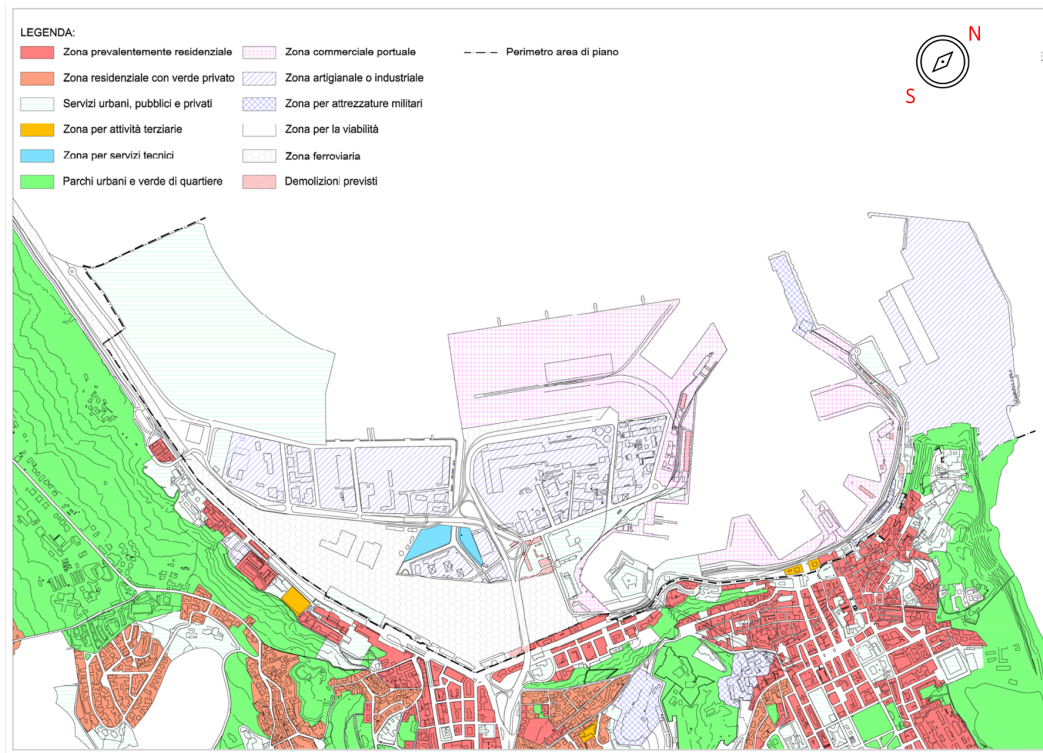


Figure 3.3: Sintesi della zonizzazione del Porto di Ancona.

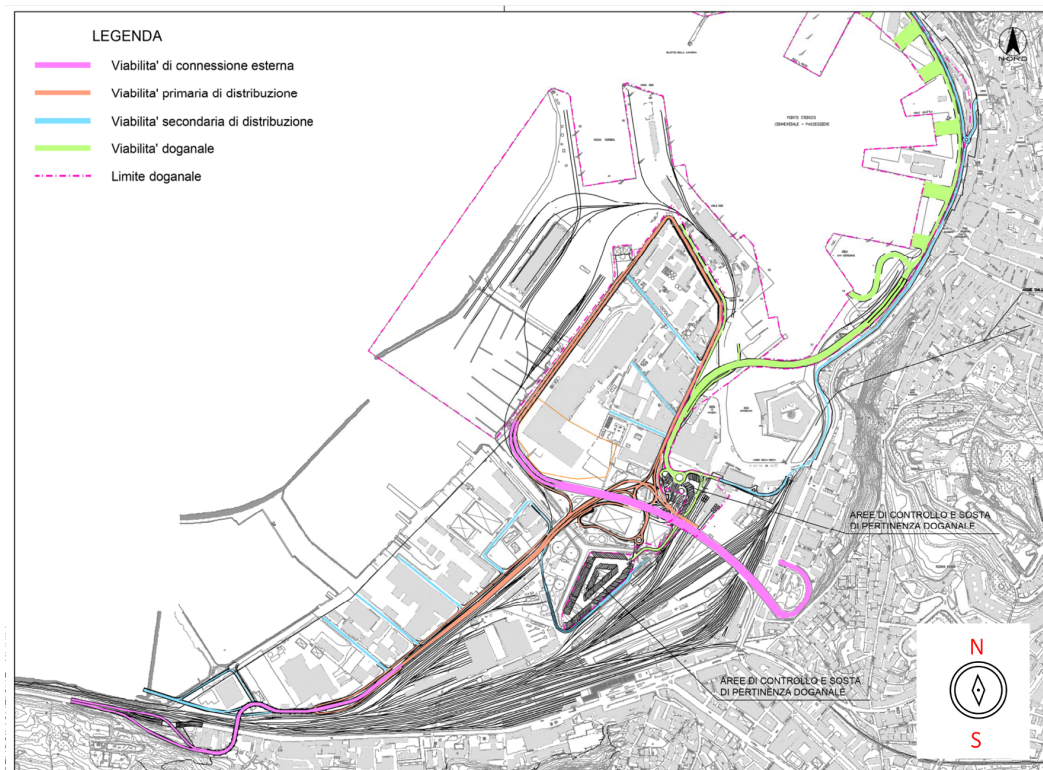


Figure 3.4: Viabilità di connessione e distribuzione del Porto di Ancona.

1. C1 [Area del Molo Nord (Lanterna Rossa)];
2. C2 [Area del Molo Clementino (Arco di Traiano)];
3. C3 [Area del Molo Rizzo];
4. C4 [Area del molo Santa Maria];
5. C5 [Area del molo XXIX settembre];
6. C6 [Area delle funzioni urbane];
7. C7 [Area della Vela (Marina Dorica)];
8. C8 [Area della Lega Navale].

I cluster selezionati sono mostrati in fig. 3.5.



Figure 3.5: Individuazione dei Cluster di interesse.

Finalità ed applicazione del protocollo sintetico

Il Protocollo ITACA su scala URBANA [52] è un sistema di analisi multicriteria che comprende i parametri legati al concetto di sostenibilità che vanno dal miglioramento energetico ed ambientale dell'organismo urbano, al contrasto del consumo di suolo, alla qualità degli spazi pubblici, alle connessioni ecologiche, alla sicurezza, al sistema di mobilità pubblica, alla complessità funzionale, alla capacità di rispondere alla domanda di integrazione sociale.

Il Protocollo è uno strumento rivolto sia ai progettisti/pianificatori degli enti pubblici sia agli operatori coinvolti nello sviluppo o nella trasformazione di aree urbane e potrà essere impiegato:

- in fase di progetto per definire le prestazioni di riferimento e come strumento di supporto alla decisione;
- per verificare in fase di realizzazione delle opere il raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità;
- per monitorare in fase di esercizio, il livello di sostenibilità complessivo.

Il Protocollo a Scala Urbana utilizza la medesima metrica impiegata per gli altri sistemi di valutazione della sostenibilità degli edifici elaborati da ITACA, basata sull'SBTool, strumento internazionale sviluppato attraverso il processo di ricerca Green Building Challenge.

Il protocollo, recentemente aggiornato alla versione sintetica, rappresenta uno strumento innovativo ed in fase di sviluppo costante. In contemporanea allo studio sostenibile si inserisce anche una ricerca di parametri energetici utili per verificare le prestazioni di un edificio in riferimento, non solo ai consumi e all'efficienza energetica, ma prendendo anche in considerazione il suo impatto sull'ambiente e sulla salute dell'uomo. Visto il numero ridotto di criteri, il protocollo sintetico non è strutturato secondo un livello gerarchico. Il processo di valutazione consente di formulare un giudizio sintetico sulla performance globale di un'area urbana, consentendo di riassumere le performance dell'area in esame in relazione a ciascun criterio che viene calcolato a partire dal valore degli indicatori.

Il presente studio propone una nuova metodologia per valutare tutti gli aspetti legati alla sostenibilità di un distretto. Il nuovo Protocollo sintetico rappresenta l'evoluzione della versione originaria del Protocollo a scala urbana (2016). Al giorno d'oggi non esistono varianti del Protocollo ITACA che si occupino di districts, ugualmente legati al contesto territoriale. Il protocollo proposto consente la valutazione di qualsiasi tipo di quartiere, senza limitazione di estensione e con qualsiasi numero di edifici. Il passaggio dall'edificio al quartiere aumenta le difficoltà legate ad una valutazione ottimale della sostenibilità.

Il contrasto al consumo di nuovo suolo, l'esigenza di riqualificare un patrimonio edilizio, per lo più di scarsa qualità, proprio delle periferie urbane, la maggiore consapevolezza del ruolo che le città possono svolgere quali attrattori di flussi economici, ma anche quali strumenti per il riequilibrio ambientale e la mitigazione degli effetti dei cambiamenti climatici, sono temi principe della trattazione che richiedono un profondo ripensamento delle azioni regionali al fine di rispondere alla crescente domanda di qualificazione dello spazio urbano e di contribuire a creare le migliori condizioni per la fattibilità degli interventi di rigenerazione urbana.

Il protocollo distrettuale porta quindi, attraverso il raggiungimento di un elevato livello di sostenibilità per i distretti, anche al raggiungimento di prestazioni elevate per gli edifici connessi ad esso.

Questo studio descrive, in dettaglio, tutti i criteri del nuovo Protocollo e mostra un'applicazione del Protocollo alla zona portuale di Ancona, capoluogo della regione Marche.

Il quartiere, mostrato in fig. 3.5, si compone di una moltitudine di edifici, una scuola, zona cantieristica e servizi multifunzione (compresi luoghi di aggregazione e attività di ristorazione), in tab. 3.2 sono mostrate le aree del distretto.

Table 3.2: Aree del distretto.

Cluster	Perimetro [m]	Area [m ²]
C1	36.3	76.24
C2	281.73	3604.96
C3	181.42	1385.89
C4	413.33	8673.66
C5	106.82	497.47
C6	141.14	787.6
C7	459.21	9331.32
C8	486.01	10984.86

Ogni criterio è associato ad una o più grandezze fisiche che permettono di quantificare il rendimento del distretto in relazione al criterio considerato attraverso l'attribuzione di un valore numerico.

Tali quantità prendono il nome di indicatori. A quest'ultimo corrisponde un punteggio che varia da -1 a +5.

Ogni criterio, inoltre, è quantificabile e qualitativamente definibile, rispondendo oggettivamente a scenari prestazionali predefiniti ed è dotato di prerogative di interesse pubblico, nell'ambito della sostenibilità del distretto di interesse.

Criterion 2.03 - Conservazione del suolo

Il criterio valuta il riuso del suolo che ha subito interventi antropici, ovvero di un suolo che è stato precedentemente utilizzato, occupato e/o contaminato.

L'obiettivo del criterio è quello di limitare il consumo di nuovo suolo. Quest'ultimo di fatti è da considerare unanimemente come risorsa non rinnovabile, caratterizzata da forme di degrado potenzialmente molto rapide e allo stesso tempo da processi di rigenerazione estremamente lenti.

La tab. [3.3](#) mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.3: Criterio 2.03 - Conservazione del suolo.

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Favorire l'uso di aree contaminate, dismesse o precedentemente antropizzate	
Indicatore	Livello di utilizzo pregresso dell'area di intervento	
Scala di prestazione		
	-	<i>score</i>
Negativo	< 0	-1
Sufficiente	da 0 a 1	0
Buono	> 1 fino a 3	3
Ottimo	>3	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab.3.4

Table 3.4: Punteggio e metodo di verifica criterio 2.03

Categoria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Area [m ²]
B.1	0	0	0	0	0	0	718	0	718
B.2	0	0	0	0	0	0	0	0	718
B.3	11.75	178.02	74.75	438.06	175.86	67.53	3467	588	5000.79
B.4	0	0	0	0	0	0	1000	0	1000
Superficie totale [m²] 6718.79									
Indicatore 2.87									
Punteggio 3 - BUONO									

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio tre, equivalente a "Buono".

Criterio 4.01 - Rilevanza dello spazio pubblico aperto

L'obiettivo è valutare la rilevanza dello spazio pubblico aperto⁵ nelle aree urbane in considerazione della dotazione e caratterizzazione funzionale dello stesso.

La tab.3.5 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.5: Criterio 4.01 - Rilevanza dello spazio pubblico aperto.

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Migliorare la caratterizzazione funzionale degli spazi pubblici aperti nelle aree	
Indicatore	Disponibilità e varietà d'uso degli di spazi pubblici aperti nelle aree urbane	
Scala di prestazione		
	-	<i>score</i>
Negativo	< 0	-1
Sufficiente	da 0 a 1	0
Buono	> 1 fino a 3	3
Ottimo	>3	4

⁵Lo spazio pubblico è ogni luogo di proprietà pubblica o di uso pubblico accessibile e fruibile a tutti gratuitamente o senza scopo di lucro. Tali spazi rientrano tra gli elementi chiave del benessere individuale e sociale, i luoghi della vita collettiva delle comunità, espressione della diversità del loro comune patrimonio culturale e naturale e fondamento della loro identità La comunità si riconosce nei propri luoghi pubblici e persegue il miglioramento della loro qualità spaziale (rif. Convenzione Europea del Paesaggio – Firenze 20/10/2000).

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. [3.6](#).

Table 3.6: Punteggio e metodo di verifica criterio 4.01

Categoria	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	Area [m ²]
B.1	0	0	0	0	0	0	120	96	216
B.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B.3	20	150	123	2000	497.47	700	9000	10000	112490.47
B.4	20	100	100	100	100	100	100	100	720
Superficie totale [m²]									113426.47
Indicatore 3.05									
Punteggio 3 - BUONO									

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio 3, equivalente a "Buono".

Criterio 5.01 - Permeabilità del suolo

L'obiettivo è minimizzare l'interruzione e la contaminazione dei flussi naturali d'acqua, innalzare il livello di resilienza della città ai cambiamenti climatici e, contemporaneamente, migliorare la qualità e la vivibilità dei suoi spazi aperti, il comfort, la sicurezza e la salute delle persone che vi abitano e contribuire al "non consumo di suolo".

La tab. [3.7](#) mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.7: Criterio 5.01 - Permeabilità del suolo.

Scala	Isolato - Comparto	
Fase	Progetto	
Esigenza	Innalzare il livello di resilienza della città ai cambiamenti climatici	
Indicatore	Indice di permeabilità e scenario	
Scala di prestazione		
	<i>% + scenario</i>	<i>score</i>
Negativo	IPT prog non verificato	-1
Sufficiente	IPT prog è verificato	0
Buono	IPT prog è verificato ed è > 10% i IPT lim	3
Ottimo	IPT prog è verificato ed è > 30% i IPT lim	5

Per il caso di studio il criterio viene spento, poiché relativo solo alla fase di progettazione e non prevede la fase di monitoraggio o dell'esistente come richiede il distretto sotto esame.

Criterio 5.02 - Intensità del trattamento delle acque

Il criterio calcola con il metodo delle sole piogge, la percentuale dei volumi di acqua complessivamente entrante nelle superfici impermeabili dell'area al netto dei lotti o degli edifici e loro pertinenze, di piano/progetto (strade, piazze, piazzali, parcheggi), raccolte e trattate per essere riutilizzate nell'area sia per l'irrigazione, sia per il lavaggio delle aree scoperte o per altri usi.

Questo consente di avere una gestione più sostenibile delle risorse idriche, di favorire l'invarianza idraulica, ed avere una diminuzione dei reflui.

L'obiettivo è favorire l'invarianza idraulica e riutilizzare queste acque di pioggia che diventano reflue in sostituzione dell'acqua potabile, quando possibile, dopo un apposito trattamento, che consiste sostanzialmente nella depurazione di queste dai contaminanti organici e inorganici, anche attraverso la fitodepurazione. Si valuta positivamente la presenza di tecniche di drenaggio urbano sostenibile finalizzate al trattamento delle acque reflue attraverso fitodepurazione, filtri anidri a granulometria decrescente e rain-garden.

La tab. 3.8 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.8: Criterio 5.02 - Intensità del trattamento delle acque.

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Migliorare sistemi di raccolta dei picchi di pioggia e il riutilizzo di acque reflue	
Indicatore	Quota di acque reflue da superfici impermeabili	
Scala di prestazione		
	-	<i>score</i>
Negativo	acque raccolte e trattate < 50%	-1
Sufficiente	acque raccolte e trattate 50%	0
Buono	acque raccolte e trattate 80%	3
Ottimo	acque raccolte e trattate 100%	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. 3.9.

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio -5, equivalente a "negativo".

Table 3.9: Punteggio e metodo di verifica criterio 5.02

Categoria	Descrizione	Valore
S1	Rivestimenti bituminosi	0
S2	Pavimentazioni asfaltate	4420
S3	Pavimentazioni asfaltate porose	5600
S4	Massicciata in strade ordinarie	0
S5	Pavimentazioni di pietra o mattonelle	5000
S6	Lastricature miste, clinker, piastrelle	0
S7	Lastricature medio-grandi con fughe aperte	0
S8	Strade e marciapiedi	12000
S9	Superfici semi-permeabili	6749
S10	Strade in terra	0
S11	Rivestimenti drenanti	0
S12	Viali e superfici inghiaiate	0
S13	Zone con ghiaia non compressa	0

Superficie totale [m²] 33769

Categoria	Coefficiente di riferimento
S1	1
S2	0.9
S3	0.5
S4	0.8
S5	0.9
S6	0.8
S7	0.7
S8	0.9
S9	0.7
S10	0.6
S11	0.5
S12	0.6
S13	0.3

Coefficiente medio di afflusso ψ 0.79

Numero di ore	h [mm]	$\log\psi_1$	$\log\psi_2$	$\log\psi_3$	$\log\psi_4$
1	44	0.000	3.784	0.000	0.000
3	60	1.099	4.094	4.498	1.207
6	72	1.792	4.277	7.663	3.210
12	87	2.485	4.466	11.097	6.175
24	104	3.178	4.644	14.760	10.100

Volume di pioggia We 3210.68

Indicatore 10%

Punteggio -1 - NEGATIVO

Criterio 5.12 - Comunità energetiche nelle aree urbane

L'obiettivo è incentivare l'autoconsumo collettivo di energia rinnovabile mediante la costituzione di comunità energetiche⁶ nelle aree urbane in considerazione della dotazione e caratterizzazione funzionale dello stesso.

La tab. 3.10 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.10: Criterio 5.12 - Comunità energetiche nelle aree urbane.

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto	
Esigenza	Istituzione di comunità energetiche	
Indicatore	a scenario	
Scala di prestazione		
	-	<i>score</i>
Negativo	Scenario A	-1
Sufficiente	Scenario B	0
Buono	Scenario C	3
Ottimo	Scenario D	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto. Lo scenario di riferimento si individua secondo la seguente casistica:

- **Scenario A** - assenza di iniziative finalizzate alla promozione per la costituzione delle comunità energetiche nel territorio di riferimento.
- **Scenario B** - esistenza di Comunità Energetiche già costituite ed operanti collocate in prossimità dell'area di valutazione, con la possibilità di aderirvi (previa verifica della fattibilità tecnica/amministrativa);

⁶L'Unione Europea ha varato nel 2019 il pacchetto "Energia pulita per tutti gli europei" (CEP – Clean Energy Package), costituito da otto Direttive che regolano temi energetici, tra cui: prestazioni energetiche negli edifici, efficienza energetica, energie rinnovabili, mercato elettrico. In materia di autoconsumo collettivo e comunità energetiche interessano in particolare: la Direttiva sulle energie rinnovabili (Direttiva UE 2018/2001), in cui sono riportate le definizioni di autoconsumo collettivo e di Comunità di Energia Rinnovabile (CER) da recepire entro il 20 giugno 2021 e la Direttiva sul mercato interno dell'energia elettrica (Direttiva UE 2019/944) che definisce la Comunità Energetica dei Cittadini (CEC) da recepire entro il 31.12.2020. Le Direttive, introducono la definizione di comunità energetica quale soggetto giuridico in cui la partecipazione dei privati non costituisca l'attività commerciale o professionale principale.

La disposizione relativa alle comunità energetiche prevede che i soggetti che partecipano devono produrre energia destinata al proprio consumo con impianti alimentati da fonti rinnovabili di potenza complessiva non superiore a 200 kW. Per condividere l'energia prodotta, gli utenti possono utilizzare le reti di distribuzione già esistenti e utilizzare forme di autoconsumo virtuale.

La comunità energetica rinnovabile deve essere formata dai consumatori ubicati nella rete elettrica di bassa tensione, sotto la medesima cabina di trasformazione di media/bassa tensione. I partecipanti mantengono i loro diritti come clienti finali, compreso quello di scegliere il proprio fornitore ed uscire dalla comunità quando lo desiderano. La partecipazione è aperta a tutti gli utenti sotto la stessa cabina elettrica, compresi quelli appartenenti a famiglie a basso reddito o vulnerabili.

- **Scenario C** - (Esistente) Presenza della Comunità energetica come ente giuridico (La comunità potrà avere la forma di associazione, ente del terzo settore, cooperativa, consorzio, partenariato, organizzazione senza scopo di lucro); (Progetto) Protocollo d'intesa per la Costituzione della Comunità energetica come ente giuridico;
- **Scenario D** - (Esistente) Presenza nella Comunità energetica giuridicamente costituita di clienti finali a basso reddito, in particolare i clienti domestici; (Progetto) Presenza nel Protocollo d'intesa sottoscritto per la Costituzione della Comunità di clienti finali a basso reddito, in particolare i clienti domestici.

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con gli scenari di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio -1 equivalente a "negativo".

Criterion 5.13 - Emissioni di anidride carbonica

Il criterio valuta le emissioni di anidride carbonica equivalente degli edifici dell'area interessata dall'intervento. Per la valutazione si calcolano le emissioni di anidride carbonica equivalente degli edifici in esercizio prima e dopo l'intervento previsto e dei nuovi edifici. Il calcolo delle emissioni di CO₂ equivalente va fatto per tutti gli edifici dove siano presenti almeno uno dei servizi di riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.

La tab. 3.11 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.11: Criterio 5.13 - Emissioni di anidride carbonica.

Scala	Isolato - Comparto	
Fase	Progetto	
Esigenza	Ridurre le emissioni di anidride carbonica	
Indicatore	a scenario	
Scala di prestazione		
	<i>% + scenario</i>	<i>score</i>
Negativo	Valutazione D	-1
Sufficiente	Valutazione C	0
Buono	Valutazione B	3
Ottimo	Valutazione A	5

Per il caso di studio il criterio viene spento, poiché relativo solo alla fase di progettazione e non prevede la fase di monitoraggio o dell'esistente come richiede il distretto sotto esame.

Criterion 5.14 - Sequestro di CO₂

L'obiettivo è compensare le emissioni di anidride carbonica nelle aree urbane in considerazione della dotazione e caratterizzazione funzionale dello stesso.

La tab. 3.12 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.12: Criterio 5.14 - Sequestro di CO2.

Scala	Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Compensare le emissioni nelle aree urbane	
Indicatore	Potenziale sequestro di CO2	
Scala di prestazione		
	<i>tepCO2/ettaro</i>	<i>score</i>
Negativo	< 100	-1
Sufficiente	100	0
Buono	175	3
Ottimo	225	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. 3.13.

Table 3.13: Punteggio e metodo di verifica criterio 5.14

Categoria	Descrizione	Superficie [ettari]
A.1	orto urbano	0
A.2	terreno erboso	0
A.3	terreno con alberi	0
Superficie totale [ettari] 0		
Categoria	Descrizione	Coefficiente di sequestro di CO2
α (1)	orto urbano	188
α (2)	terreno erboso	298
α (3)	terreno con alberi	285
Indicatore 0		
Punteggio -1 - NEGATIVO		

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio -1, equivalente a "Negativo".

Criterio 6.01 - Servizi eco-sistemici (presenza di aree in grado di fornire maggiori servizi eco-sistemici)

Per rispondere alla perdita di biodiversità in diversi paesi nel mondo è emersa l'esigenza di promuovere azioni finalizzate al recupero e alla salvaguardia dei sistemi ecologici e dei servizi da essi forniti. Il criterio è finalizzato a promuovere la progettazione di aree verdi naturali in grado di massimizzare i benefici dei servizi eco-sistemici. L'estensione

delle aree naturali è un fattore significativo rispetto alla riduzione dei gas serra, alla regolazione del microclima con l'evapotraspirazione.

La proposta nasce dalla consapevolezza della scarsa disponibilità di aree naturali in città. L'obiettivo fondamentale è ristabilire le connettività dei diversi ecosistemi urbani ed extra urbani ed incrementare le infrastrutture verdi.

Le strategie progettuali⁷ devono garantire l'Integrazione tra verde e costruito (edifici e sistemazioni a terra), connettività, multifunzionalità, inclusione sociale (fruibilità ed accessibilità).

La tab. 3.14 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.14: Criterio 6.01 - Servizi eco-sistemici.

Scala	Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto	
Esigenza	incremento delle superfici a verde	
Indicatore	rapporto tra aree verdi e aree verdi naturali	
Scala di prestazione		
	%	<i>score</i>
Negativo	0	-1
Sufficiente	> 0	0
Buono	> 21	3
Ottimo	> 35	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. 3.15.

Table 3.15: Punteggio e metodo di verifica criterio 6.01

Categoria	Descrizione	Superficie [m ²]
Av	area a verde	0
An	area naturale di carattere selvatico	0
Superficie totale [m²] 0		
Indicatore 0		
Punteggio -1 - NEGATIVO		

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio -1, equivalente a "Negativo".

⁷La Commissione Europea, (*COM(2013) 249 final*) ha fornito la seguente definizione sintetica di infrastrutture verdi: una rete di aree naturali e semi-naturali pianificata a livello strategico con altri elementi ambientali, progettata e gestita in maniera da fornire un ampio spettro di servizi eco-sistemici. Il Ministero dell'Ambiente ha pubblicato nel 2017 le "Linee guida per la gestione del verde urbano e prime indicazioni per una pianificazione sostenibile".

Criterio 6.02 - Servizi eco-sistemici (progettazione delle aree verdi e scelta delle specie vegetali)

Il criterio valuta l'incremento di naturalità in ambito urbano attraverso la realizzazione di spazi verdi che riproducono quanto fa la natura e che sono in grado di diventare autosufficienti e gradevoli.

L'obiettivo fondamentale è ricreare un sistema che si comporti come una vera foresta con i suoi livelli, a ridotto fabbisogno di acqua, con diverse specie di vegetali e diverse famiglie botaniche che in sinergia completano l'ecosistema rendendolo molto diversificato e in perfetto equilibrio naturale ricco di biodiversità.

La tab. 3.16 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.16: Criterio 6.02 - Servizi eco-sistemici.

Scala	Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto	
Esigenza	Incremento ecosistemi naturali	
Indicatore	Rapporto tra essenze presenti e tipologie	
Scala di prestazione		
	%	score
Negativo	0	-1
Sufficiente	75	0
Buono	> 90	3
Ottimo	> 100	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. 3.17

Table 3.17: Punteggio e metodo di verifica criterio 6.02

Categoria	Descrizione	Superficie [m ²]
A	Calcolare superficie di aree scoperte disponibili	493.34
Superficie totale A [m²] 493.34		
Superficie totale B [m²] Superficie verdi complessive Av [rif. tab. 3.15] 0		
Categoria	Descrizione	Superficie [m ²]
Bj	specie arboree	0
Bjj	specie arbustive	0
Bjjj	specie cespugliose	0
Bjiv	specie erbacee	0
Bjv	specie tappezzanti	0
Indicatore 0		
Punteggio -1 - NEGATIVO		

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio 0, equivalente a "sufficiente".

Criterio 7.02.03 - Effetto isola di calore (*comfort termico in aree esterne*)

Il criterio valuta il comfort termico degli spazi aperti in un'area oggetto di analisi. L'obiettivo è ridurre l'effetto isola di calore, nelle aree urbane rispetto alle circostanti zone periferiche e rurali, minimizzando l'impatto sul microclima e sull'habitat umano.

Tra le principali cause dell'effetto isola di calore troviamo l'elevata radiazione incidente, l'alto coefficiente di assorbimento dei materiali utilizzati all'esterno, l'accumulo di calore conseguenza della diffusa cementificazione e la morfologia urbana stessa che può impedire al vento di rimuovere il calore in eccesso limitando il ricircolo dell'aria al suolo.

La tab. [3.18](#) mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.18: Criterio 7.02.03 - Effetto isola di calore.

Scala	Isolato - Comparto	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Ridurre gli effetti dell'isola di calore	
Indicatore	SRI + scenari	
Scala di prestazione		
	<i>% + strategia</i>	<i>score</i>
Negativo	strategia (b) non soddisfatta	-1
Sufficiente	strategia (b) è soddisfatta	0
Buono	strategia (a,b,c,d) sono soddisfatte	3
Ottimo	strategia (a,b,c,d,e,f) sono soddisfatte	5

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto. Di seguito si riporta la sintesi delle strategie applicate per lo spazio-porto.

- **a) Morfologia dello spazio aperto:** La dimensione dello spazio aperto in rapporto all'altezza degli edifici che si affacciano sullo spazio aperto viene valutata al fine di capire se lo spazio di porzione di cielo vista è adeguato e consente una perdita di calore in atmosfera a beneficio della temperatura.
 - a.1) Rapporto H/D: *H è l'altezza degli edifici che si affacciano sullo spazio aperto e D è la dimensione dello spazio aperto. Sono da privilegiare valori bassi del rapporto che indicano minori altezze degli edifici e maggiore porzione di cielo aperto con maggiori perdite di calore in atmosfera a beneficio della riduzione della temperatura.*
 - a.2) Sky View factor (SVF): *Indica la porzione di cielo visibile da un punto di osservazione. Per verificare lo SVF si può usare un modello di simulazione come ad esempio skyhelios. Per valori di SVF > 0 significa cielo*

completamente ostruito e quindi non visibile; SVF 1, 0 significa cielo completamente visibile a 360° per questo motivo più alto è lo SVF calcolato e maggiore è la perdita di calore in atmosfera.

– Soddisfatto: **si**

- **b) Materiali:** Negli spazi aperti, sulle facciate degli edifici prospicienti tali spazi e sulle loro coperture, sono da privilegiare materiali riflettenti o cosiddetti freddi che presentano un'elevata riflettanza alla radiazione solare e un alto coefficiente di emissività. Nel caso di materiali a basso assorbimento della radiazione solare e alta emissione infrarossa si minimizza la temperatura superficiale dei materiali diminuendo quindi la quantità di calore rilasciato in atmosfera (es. rivestimenti artificiali di colore bianco o comunque chiaro; rivestimenti "intelligenti" miscelati con diverse sostanze termochimiche e materiali di cambiamento di fase (PCM) che migliorano le proprietà termiche e ottiche del rivestimento.

– b.1): *Superfici esterne pavimentate o a uso pedonale o ciclabile (es. percorsi pedonali, marciapiedi, piazze cortili, piste ciclabili,..) è da prevedere l'uso di materiali permeabili (es. materiali drenanti, superfici verdi, pavimentazione con maglie aperte) con un indice SRI di almeno 29.*

– b.2): *Coperture è da privilegiare l'impiego di tetti verdi oppure l'uso di materiali che garantiscono un SRI di almeno 29 se la pendenza è maggiore a 8,5° e 76 nel caso di coperture con pendenza minore o uguale a 8,5°.*

– Soddisfatto: **si**

- **c) Permeabilità del suolo:** Suoli più permeabili consentono di accumulare meno calore. Lo scenario è soddisfatto se è stato preso in considerazione e soddisfatto il criterio 5.01 3.7.

– Soddisfatto: **no**

- **d) Dissipatori di calore naturale:** La presenza di serbatoi naturali a basse temperature come laghetti, pozze d'acqua, fontane, ecc. contribuisce ad abbassare la temperatura tramite evapo-traspirazione. Lo scenario è soddisfatto evidenziando in fase anti operam quali sono i dissipatori di calore naturale presenti e/o previsti. la loro presenza potrà essere verificata in fase post operam.

– Soddisfatto: **no**

- **e) Calore di scarto delle attività antropiche urbane:** Ridurre la presenza nello spazio aperto da valutare del calore di scarto generato da attività antropiche (trasporti, condizionatori, etc.). Lo scenario è soddisfatto evidenziando in fase ante operam quali sono le attività che generano calore di scarto e le strategie adottate per ridurre l'effetto che verranno poi verificate in fase post operam.

– Soddisfatto: **no**

- **f) Superfici a verde:** La presenza di superfici a verde fornisce protezione solare, raffreddamento dell'aria ambiente attraverso l'evapotraspirazione ed inoltre migliora la qualità dell'aria. La presenza di tetti verdi e i giardini verticali possono altresì contribuire in modo significativo all'abbassamento delle temperature urbane. Lo scenario è soddisfatto se sono stati presi in considerazione e soddisfatti criteri dell'Area di Valutazione 6.

– Soddisfatto: **no**

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con le strategie di riferimento ottenendo un punteggio pari a 2, equivalente a "sufficiente".

Criterion 8.04 - Accessibilità al trasporto pubblico

L'obiettivo del criterio è favorire la scelta di siti da cui sono facilmente accessibili le reti di trasporto pubblico per ridurre l'uso dei veicoli privati.

La tab. 3.19 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.19: Criterio 8.04 - Accessibilità al trasporto pubblico

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Limitare l'uso di veicoli privati	
Indicatore	Indicatore di accessibilità	
Scala di prestazione		
	-	<i>score</i>
Negativo	< 0	-1
Sufficiente	da 0 a 1	0
Buono	> 1 fino a 3	3
Ottimo	> 3	5

Per il calcolo dell'indicatore di prestazione è stata individuata la rete dei trasporti pubblici della zona di intervento e in particolare i nodi della rete situati entro una distanza radiale dall'ingresso principale degli edifici.

Si mostra in fig. 3.6.

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella tab. 3.20.

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio 1, equivalente a "sufficiente".

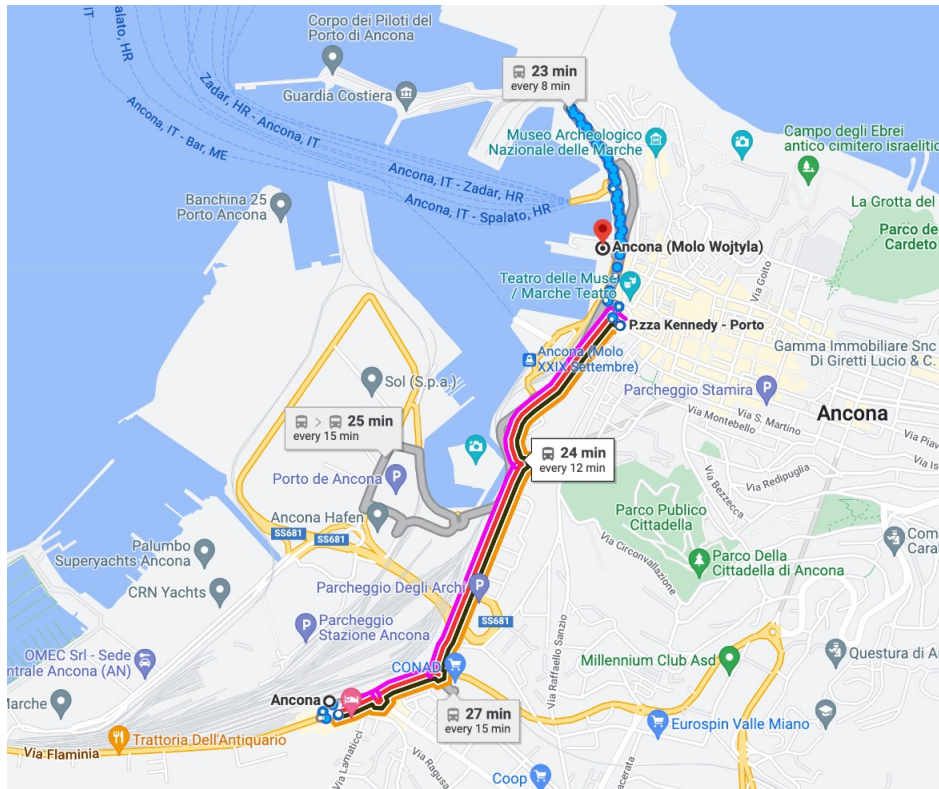


Figure 3.6: Identificazione della rete di trasporto pubblico per l'area di interesse

Table 3.20: Punteggio e metodo di verifica criterio 8.04

		LINEA 1/4	LINEA 20	LINEA 12
dn	Lunghezza del tragitto nodo-edificio [m]	1,3	1,3	1,3
v	Velocità teorica di camminata [m/min]		80	
Tempo di percorrenza a piedi del tragitto: W_t	$W_t = \frac{d_n}{v} = \frac{d_n}{80}$	0,01625	0,01625	0,01625
n	Numero di passaggi dei mezzi delle singole linee nelle fasce orarie di riferimento	6	6	6
Rf (bus e tram)	Fattore di affidabilità bus/tram		2	
Tempo di attesa del servizio: S_{wt}	$S_{wt} = 0,5 \left(\frac{60}{n} \right) = R_f$	22,00	22	22
Tempo totale di accesso al servizio: A_t	$A_t = W_t + S_{wt}$	22,02	22,01625	22,01625
Frequenza equivalente di accessi al servizio dall'edificio: F_I	$F_I = \frac{30}{A_t}$	1,36	1,36229876	1,363
$F_{I,max}$	Il maggiore tra i valori F_I relativi alla tipologia di trasporto i-esima,		1,36	
$\sum F_{Ii}$	Somma dei valori F_I relativi alla stessa tipologia di trasporto i-esima,		4,09	
Indice di accessibilità della tipologia di trasporto i-esima: IA_i	$IA_i = F_{I,max} + 0,5 \left(\sum F_{Ii} \right) - F_{I,max}$		2,73	

Indicatore 0.908

Punteggio 1 - SUFFICIENTE

Criterio 8.07 - Accessibilità ai percorsi pedonali

L'obiettivo del criterio è garantire la massima accessibilità ai percorsi pedonali.

Il metodo di valutazione per questo criterio è basato sulla scomposizione degli elementi che compongono gli spazi urbani in oggetto di verifica, valutandoli sia rispetto alle prescrizioni normative sia rispetto alle indicazioni migliorative.

La scomposizione degli elementi urbani è definita sulla base delle indicazioni delle norme vigenti.

La tab.3.21 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.21: Criterio 8.07 - Accessibilità ai percorsi pedonali

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Garantire massima accessibilità ai pedoni	
Indicatore	Percentuale di accessibilità	
Scala di prestazione		
	%	<i>score</i>
Negativo	< 10	-1
Sufficiente	$10 < x < 30$	0
Buono	$30 < x < 60$	3
Ottimo	> 60	5

Per il calcolo dell'indicatore di prestazione è stata individuata la nodalità dell'ambito urbano di intervento, la tipologia dei percorsi (strade primarie, locali e di quartiere) ed infine la rete dei percorsi prettamente pedonali.

In fig.3.7 è rappresentata l'individuazione delle maggiori polarità della zona porto per ogni cluster, in particolare viene mostrata la classificazione e verifica dei percorsi individuati.

In giallo sono state identificate le strade di scorrimento principali; in verde e rosso le strade di quartiere.



Figure 3.7: Identificazione della rete di viabilità per l'area di interesse

La fig. 3.8 mostra invece il tracciamento dei percorsi pedonali.

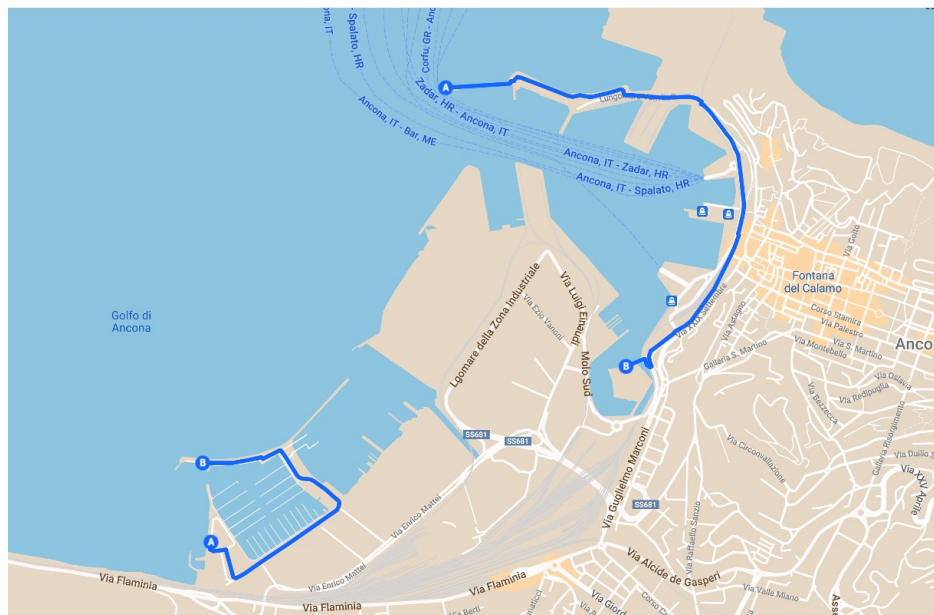


Figure 3.8: Identificazione della rete di accessibilità pedonale per l'area di interesse

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto, come mostrato nella fig. 3.9.

CLUSTER 1				CLUSTER 5			
Tipologia di strada	Categoria	Punteggio	Tipologia di strada	Categoria	Punteggio		
	B2	A2		B2/B3	A2	22,5	
CLUSTER 2				CLUSTER 6			
Tipologia di strada	Categoria	Punteggio	Tipologia di strada	Categoria	Punteggio		
	B2	A2		B2	A2	20	
CLUSTER 3				CLUSTER 7			
Tipologia di strada	Categoria	Punteggio	Tipologia di strada	Categoria	Punteggio		
	B2	A2		B1/B3	A1	62,5	
CLUSTER 4				CLUSTER 8			
Tipologia di strada	Categoria	Punteggio	Tipologia di strada	Categoria	Punteggio		
	B2	A2		B1/B3	A1	62,5	

Figure 3.9: Fase di valutazione

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio 3, equivalente a "buono".

Criterio 9.01 - Prossimità ai servizi principali

L'obiettivo è individuare le strutture di commercio, di servizio, sportive e culturali presenti nelle vicinanze dell'area urbana di intervento.

Per la selezione delle strutture idonee alla verifica è necessario fare riferimento alle sole tipologie di strutture indicate nella tabella fornita dal protocollo, suddivise nelle categorie: "commercio", "servizi" e "sport/cultura".

La tab. 3.22 mostra finalità, punteggio e scala di prestazione del criterio.

Table 3.22: Criterio 9.01 - Prossimità ai servizi principali.

Scala	Isolato - Comparto - Quartiere	
Fase	Esistente - Progetto - Monitoraggio	
Esigenza	Valutare la presenza di un adeguato mix funzionale nelle aree urbane	
Indicatore	Distanza media degli edifici da servizi	
Scala di prestazione		
	<i>Capoluogo di Regione [-]</i>	<i>score</i>
Negativo	< 2.5	-1
Sufficiente	2.5	0
Buono	13	3
Ottimo	20	4

Il punteggio è stato calcolato, dunque, identificando le diverse aree del distretto.

In particolare per il calcolo di questo criterio si è scelto di assimilare i cluster per "denominazione" di quartiere in: porto antico (C1-C5) [tab. 3.23], poli servizi urbani (C6) [tab. 3.24], porto turistico (C7-C8) [tab. 3.25].

Il distretto è considerato nel suo insieme, quindi il valore calcolato è stato confrontato con i parametri di riferimento della scala delle prestazioni ottenendo un punteggio 0, equivalente a "sufficiente".

Table 3.23: Punteggio e metodo di verifica criterio 9.01 - *porto antico*

Porto antico (C1-C5)		
Struttura	Tipologia	Distanza [m]
Negozio di beni alimentari	Commercio	-
Supermercato	Commercio	-
Ristoranti	Commercio	2000
Bar	Commercio	2100
Edicola	Commercio	-
Tabaccheria	Commercio	-
Negozio di prodotti quotidiani	Commercio	-
Ufficio postale	Servizio	-
Banca/sportello ATM	Servizio	-
Sanitarie	Servizio	-
Nido d'infanzia	Servizio	-
Scuola d'infanzia	Servizio	-
Scuola primaria	Servizio	-
Scuola secondaria	Servizio	1300
Farmacia	Servizio	-
Parco pubblico	Servizio	-
Luoghi di aggregazione(..)	Servizio	800
Teatro	Sport/Cultura	-
Cinema	Sport/Cultura	-
Museo/spazio espositivo	Sport/Cultura	1700
Biblioteca	Sport/Cultura	-
Struttura sportiva	Sport/Cultura	-
Distanza media [m] 1580		

Table 3.24: Punteggio e metodo di verifica criterio 9.01 - *polo servizi urbani*

Polo servizi urbani (C6)		
Struttura	Tipologia	Distanza [m]
Negozio di beni alimentari	Commercio	-
Supermercato	Commercio	-
Ristoranti	Commercio	350
Bar	Commercio	450
Edicola	Commercio	-
Tabaccheria	Commercio	-
Negozio di prodotti quotidiani	Commercio	-
Ufficio postale	Servizio	-
Banca/sportello ATM	Servizio	500
Sanitarie	Servizio	-
Nido d'infanzia	Servizio	-
Scuola d'infanzia	Servizio	-
Scuola primaria	Servizio	-
Scuola secondaria	Servizio	-
Farmacia	Servizio	-
Parco pubblico	Servizio	-
Luoghi di aggregazione(..)	Servizio	600
Teatro	Sport/Cultura	-
Cinema	Sport/Cultura	-
Museo/spazio espositivo	Sport/Cultura	-
Biblioteca	Sport/Cultura	-
Struttura sportiva	Sport/Cultura	550
Distanza media [m] 490		

Table 3.25: Punteggio e metodo di verifica criterio 9.01 - *porto turistico*

Porto turistico (C7-C8)		
Struttura	Tipologia	Distanza [m]
Negozio di beni alimentari	Commercio	200
Supermercato	Commercio	-
Ristoranti	Commercio	200
Bar	Commercio	200
Edicola	Commercio	-
Tabaccheria	Commercio	-
Negozio di prodotti quotidiani	Commercio	-
Ufficio postale	Servizio	-
Banca/sportello ATM	Servizio	200
Sanitarie	Servizio	-
Nido d'infanzia	Servizio	-
Scuola d'infanzia	Servizio	-
Scuola primaria	Servizio	-
Scuola secondaria	Servizio	-
Farmacia	Servizio	-
Parco pubblico	Servizio	-
Luoghi di aggregazione(..)	Servizio	-
Teatro	Sport/Cultura	-
Cinema	Sport/Cultura	-
Museo/spazio espositivo	Sport/Cultura	-
Biblioteca	Sport/Cultura	-
Struttura sportiva	Sport/Cultura	-
Distanza media [m] 200		

3.2.2 Punteggio di sostenibilità del porto di Ancona: verifiche e riflessioni

Il peso dei criteri nel protocollo sintetico a scala urbana è definito sulla base di tre valori, come definito nella prassi UNI/PdR 13.0:2019[50]:

- Durata (D_k): misura la durata nel tempo dell'effetto relativo al criterio. D_k ha un valore di 1 se la durata è inferiore a 10 anni, 2 è maggiore di 10 anni, 3 se è superiore a 50 anni;
- Estensione (E_k): misura l'estensione geografica dell'effetto correlato al criterio. E_k ha un valore di 1 se l'estensione è a livello del sito o dell'edificio, 2 se è a livello del distretto o della città, 3 se è a livello regionale o globale;
- Intensità (I_k): misura l'entità dell'effetto correlato al criterio. I_k ha un valore di 1 se l'intensità è bassa, 2 se è moderata o indiretta, 3 se è alta o diretta.

In base alla durata (D_k), all'estensione (E_k) e all'intensità (I_k) dell'effetto relativo a un criterio, è possibile determinare il suo livello di impatto P_k come nell'equazione (3.1):

$$P_k = D_k * E_k * I_k \quad (3.1)$$

Il peso di un criterio nella sua categoria deve essere calcolato secondo la seguente formula riportata nell'equazione (3.2):

$$W_k = \frac{P_k}{\sum_{k=1}^n P_k} \quad (3.2)$$

Una volta stabiliti i punteggi ottenuti nelle singole schede di valutazione, si può ottenere un voto pesato del requisito andando a moltiplicare il voto del requisito per il peso. La somma dei voti pesati di tutti i requisiti di quell'area di valutazione restituisce il voto dell'area di valutazione che non deve essere inferiore a 1. Moltiplicando questo voto per il peso dell'area di valutazione si ottiene il voto pesato dell'area di valutazione. Nella tab.3.27 si riportano per ciascun criterio codice, peso e relativi fattori di estensione, durata ed intensità.

In tabella tab.2.4 si riportano invece i relativi pesi calcolati per il caso di studio e i pesi pesati secondo i fattori di ponderazione precedentemente elencati.

Visto il numero ridotto di criteri, il protocollo sintetico non è strutturato secondo un livello gerarchico. Il processo di valutazione consente di formulare un giudizio sintetico sulla performance globale di un'area urbana, consentendo di riassumere le performance dell'area in esame in relazione a ciascun criterio che viene calcolato a partire dal valore degli indicatori.

In relazione al caso di studio, sulla base del progetto urbano selezionato, delle dimensioni geometriche e spaziali e dei metodi di calcolo utilizzati, il quartiere del porto raggiunge un punteggio di sostenibilità pari a 0.43 che nella scala di prestazione rappresenta *la prestazione minima accettabile definita da leggi o regolamenti vigenti, o, in caso non vi siano regolamenti di riferimento, rappresenta la pratica corrente.*

Table 3.26: Criteri e relativi pesi.

COD.	Criterio	Peso	D_k	E_k	I_k	P_k
2.03	Conservazione del suolo	9	2	3	3	18
4.01	Rilevanza dello spazio pubblico aperto	9	2	3	3	18
5.01	Permeabilità del suolo	9	3	2	3	18
5.02	Intensità del trattamento delle acque	9	2	3	3	18
5.12	Comunità energetiche nelle aree urbane	3	2	3	1	6
5.13	Emissioni di anidride carbonica	6	3	2	2	12
5.14	Sequestro di CO2	9	3	3	2	18
6.01	Verde naturalistico-incremento delle superfici naturali	6	2	3	2	12
6.02	Varietà di verde e strategie salva acqua	6	2	3	2	12
7.02.3	Effetto isola di calore	9	3	2	3	18
8.04	Accesso al trasporto pubblico	6	2	3	2	12
8.07	Accessibilità dei percorsi stradali	6	2	3	2	12
8.10	Mobilità attiva	6	2	3	2	12
8.11.1/2	Sicurezza stradale - ante/post operam	3	2	3	1	6
9.01	Prossimità ai servizi principali	6	2	3	2	12

Table 3.27: Criteri e relativo punteggio calcolato e pesato.

COD.	Criterio	Calcolato	Pesato
2.03	Conservazione del suolo	3	0.18
4.01	Rilevanza dello spazio pubblico aperto	3	0.19
5.01	Permeabilità del suolo		
5.02	Intensità del trattamento delle acque	-1	-0.06
5.12	Comunità energetiche nelle aree urbane	-1	-0.17
5.13	Emissioni di anidride carbonica		
5.14	Sequestro di CO2	-1	-0.06
6.01	Verde naturalistico-incremento delle superfici naturali	-1	-0.08
6.02	Varietà di verde e strategie salva acqua	-1	-0.08
7.02.3	Effetto isola di calore	3	0.17
8.04	Accesso al trasporto pubblico	1	0.08
8.07	Accessibilità dei percorsi stradali	3	0.25
8.10	Mobilità attiva		
8.11.1/2	Sicurezza stradale - ante/post operam		
9.01	Prossimità ai servizi principali	0	0.00

L'obiettivo della valutazione è stato quello di verificare l'efficacia dei programmi di rigenerazione urbana tramite un monitoraggio ex post.

La valutazione ha evidenziato i limiti morfologici della zona porto ma altresì testimoniato come gli spazi urbani dei cluster, in particolare C2-C3-C4, non siano adeguatamente sfruttati per favorire l'interazione spazio-uomo.

Dall'analisi del punteggio raggiunto, si è dimostrato che optando interventi mirati per singoli cluster si riuscirebbe ad ottenere una prestazione complessiva che è la miglior

pratica corrente. Punteggi superiori sono sicuramente raggiungibili, ma a costo di significativi incrementi di costi, utilizzando tecnologie o materiali ancora poco conosciuti e diffusi.

L'approccio adottato dalla scrivente fornisce un valido contributo per orientare la ri-progettazione del waterfront verso una maggiore qualità, in linea soprattutto con le linee guida e i criteri ambientali da utilizzare per bandi e avvisi pubblici.

Chapter 4

Qualità acustica: approccio soundscape nella progettazione

4.1 Il Paesaggio sonoro del porto: Il contributo dell'UNI EN ISO 12913 nella rigenerazione degli interventi

L'obiettivo di questo capitolo consiste nel comprendere il rapporto tra architettura e paesaggio sonoro, non più nell'ambito di un orizzonte soltanto teorico, ma puntando al riconoscimento di esempi concreti che possano considerarsi esiti virtuosi e quindi riferimenti per il progetto. Si tratta di capire come la considerazione dell'elemento sonoro abbia saputo imporsi come una ragione determinante del progetto e di come potrebbe portare alla definizione di scenari architettonici di qualità.

Il caso di studio¹ è relativo all'area portuale della città di Ancona, già contestualizzata nel cap. 3.2.1.

4.1.1 Overview

Nella letteratura, ci sono alcuni casi di studio che dimostrano come il paesaggio sonoro diventa importante per la valutazione dell'impatto acustico. Lo scopo di uno studio ISPRA^[53], attraverso la stesura di linee guida, è proprio quello di proporre una nuova metodologia per integrare l'approccio soundscape alle procedure nazionali di valutazione dell'impatto ambientale per le grandi infrastrutture.

Nella nuova metodologia, i descrittori del paesaggio sonoro sono valutati sulla base di come le persone percepiscono l'ambiente acustico partendo dal concetto principe che si basa sulla distinzione tra il paesaggio sonoro ed ambiente acustico.

Il primo si riferisce a un costrutto percettivo, dove domina la percezione umana dell'ambiente acustico, il secondo si riferisce a un fenomeno fisico^[54-56].

Una procedura per caratterizzare i paesaggi sonori urbani, che può essere utilizzata nella progettazione del paesaggio sonoro è descritta in^[57]. Lo studio fornisce un allegato informativo con tre metodi alternativi: due sono basati su soundwalk e questionari, mentre il terzo si riferisce alle interviste narrative. Lo studio è stato condotto

¹Di Loreto et al. *Soundscape Approach in the Seaport of Ancona: A Case Study*. Published in Acoustics, Volume 4, June 2022, pages 492-516.

in conformità con le specifiche tecniche ISO/TS 12913-2 [58]. Un soundwalk sistematico ha molti vantaggi quantitativi, grazie alla realizzazione di una misurazione in tempo reale ed ha anche importanti vantaggi dal punto di vista qualitativo poiché durante la passeggiata l'individuo vive intensamente paesaggi sonori come esperienze multisensoriali. Questo permette una reale correlazione tra le misurazioni del rumore e le sensazioni soggettive dei partecipanti [59, 60]. Il soundwalk originale era principalmente focalizzato sull'educazione dell'essere umano per condurli a riscoprire il senso dell'udito e apprezzare i suoni dell'ambiente circostante. Tuttavia, il dettaglio delle procedure soundwalk varia a seconda del target dello studio.

In [61], l'obiettivo dello studio è stato quello di comprendere l'ambiente sonoro di un parco urbano attraverso gli elementi del paesaggio, sulla base dei tre diversi set di dati primari raccolti. Nello studio, i metodi adottati per la raccolta dei dati includevano la misurazione del rumore di fondo, l'osservazione attraverso soundwalk utilizzando il questionario ISO/TS 12913:2018 [58] (Method-B) e un'indagine di percezione degli utenti.

I fattori paesaggistici, non trascurabili, sono stati anche questi considerati in molte ricerche in relazione, soprattutto, alla percezione del suono e del paesaggio sonoro [62]. Il paesaggio sonoro è solitamente interpretato attraverso l'identificazione e la descrizione di diverse fonti sonore in un luogo.

Kang et al. [63] ha dimostrato che la valutazione umana della Loudness e del comfort acustico dipende da una serie di fattori intrinseci dell'ambiente, ad esempio, un'indagine soggettiva su larga scala è stata intrapresa sulle strade commerciali sotterranee di Harbin, in Cina, per determinare come le singole sorgenti sonore hanno influenzato la Loudness e la valutazione del comfort acustico [34].

Per studiare l'influenza dell'interazione tra paesaggio geografico e stimoli acustici sulla percezione dell'ambiente, diversi autori hanno tentato di identificare le qualità informative, estetiche o affettive del suono, le quali contribuiscono in modo sostanziale a conferire qualità a un dato paesaggio [64-66]. In un ambiente urbano, ci sono diverse zone, e in ogni zona esiste e permane un suono dominante. Sulla base di una serie di casi studio in Europa e Cina e di un'intensa rassegna letteraria, Zhang [67] ha valutato gli elementi di base per il paesaggio sonoro: suono, spazio, persone e ambiente.

La valutazione del rapporto tra l'ambiente acustico/uditore e le risposte delle persone che lo abitano, risulta essere una correlazione molto importante per caratterizzare la percezione umana del rumore ambientale quotidiano. È un punto di partenza importante per sviluppare modi per migliorare il suono dell'ambiente costruito e, quindi, riconoscere l'essenza dei paesaggi sonori.

Lo scopo di questo lavoro [68] è quello, dunque, di proporre una solida procedura per la valutazione dello spazio urbano. Come brevemente descritto, la maggior parte degli studi in letteratura hanno adottato metodologie group-soundwalk; in questo caso di studio, è stato considerato un ambiente acustico reale ed è stata sviluppata una procedura soundwalk registrata.

Dopo un'indagine approfondita dell'area, sono state selezionate le posizioni di valutazione in cui eventuali caratteristiche (soundmarks, keywords,...) del paesaggio urbano sarebbero potute essere percepite come positive o negative dall'ascoltatore. Il caso di studio si riferisce all'area portuale della città di Ancona. La raccolta dati Soundscape è stata effettuata in situ da un operatore, tramite registrazione binaurale e registrazione

video. I dati raccolti sono stati utilizzati per progettare un test di ascolto, il quale è stato creato su piattaforma online e condiviso con persone che vivono frequentemente in questa zona.

I risultati delle prove soggettive sono stati poi correlati con le misurazioni acustiche mediante analisi statistiche.

Lo studio ha cercato di allontanarsi dal concetto di rumore negativo e ha identificato un mezzo attraverso il quale il concetto di paesaggi sonori potrebbe essere efficacemente incorporato nella pianificazione urbana.

4.1.2 Monitoraggio acustico

La rumorosità delle infrastrutture di trasporto è disciplinata dagli specifici regolamenti di esecuzione ai sensi dell'art.11 della L.447/95[2], tali infrastrutture non sono soggette, all'interno delle rispettive fasce di pertinenza, a limiti di emissione, di immissione ed ai valori di attenzione previsti dal D.P.C.M. 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore"[69]. Inoltre l'art. 4, di tale decreto, sancisce, che anche i valori limite differenziali di immissione non si applicano alla rumorosità prodotta: dalle infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime.

Per i porti il decreto attuativo che prevede opportune fasce di pertinenza è l'unico che non è ancora stato emanato, pertanto esiste gran confusione, in quanto i limiti risultano spesso superati, sia per l'esistenza di classificazioni acustiche severe nell'attribuzione della classe di destinazione d'uso, sia per il più che probabile superamento del criterio differenziale nelle abitazioni prospicienti gli approdi.

Questa insufficienza di metodi convenzionali crea la necessità di sperimentare approcci alternativi alla gestione ambientale, come quelli focalizzati sul paesaggio sonoro.

Sono state raccolte informazioni per la caratterizzazione geografica e acustica della zona in esame sfruttando anche la relazione tecnica sul piano di classificazione acustica della zona di Ancona approvata dalla Regione Marche. Sono state, pertanto, raccolte ed esaminate informazioni quali l'influenza della zona portuale, la classificazione acustica e i punti di misurazione della rete di monitoraggio del rumore.

Come mostrato nella fig.4.1, il porto marittimo attualmente opera nei limiti prescritti dal decreto DPCM 14/11/97[69]. In[69] viene spiegata la classificazione acustica ambientale delle aree e l'area portuale della città di Ancona comprende terreni pubblici di tre classi: classe IV, interessati dal traffico veicolare, con elevata densità di popolazione, e presenza di attività commerciali. Le classi V e VI riguardano la zona industriale. La fig.4.1 mostra la classificazione acustica di Ancona; l'attenzione è rivolta alla zona portuale.

L'acquisizione dei parametri oggettivi della psicoacustica è stata effettuata in ogni cluster. Le misurazioni sperimentali hanno permesso la determinazione di parametri acustici quali i livelli di pressione sonora (SPL)[19] e i principali parametri oggettivi della psicoacustica: Loudness e percentili relativi, Sharpness, roughness e fluctuation strenght[4, 10, 21].

I livelli sonori per il calcolo dei parametri psicoacustici sono stati misurati grazie a un simulatore di testa e torso[16, 70], tipo 4100, e cuffie binaurali, CS 10-EM Roland (registrazione 24-bit/96 kHz, audio ad alta risoluzione).

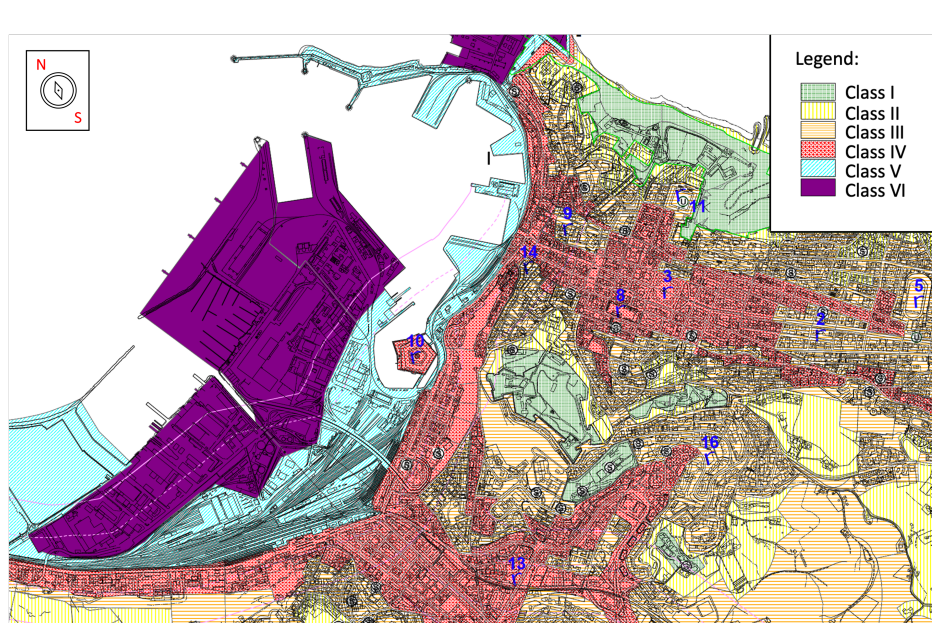


Figure 4.1: Classificazione acustica: inquadratura dell'area portuale.

Il simulatore di testa e torso, dotato di microfoni all'ingresso dei canali uditivi consente di mantenere la forma, le dimensioni e l'impedenza acustica della testa e del tronco dell'ascoltatore; è anche in grado di mantenere inalterata la direzionalità del suono.

Il CS-10EM offre, invece, il monitoraggio in-ear combinato e la registrazione binaurale, migliorando la comodità della registrazione sul campo. Questa scelta è stata fatta per simulare la sensazione reale che un essere umano prova quando osserva l'ambiente circostante.

Per la riproduzione in cuffia si è scelto di utilizzare la traccia acquisita con la testina binaurale. L'analisi è stata eseguita utilizzando il software Soundbook MK2 (Spectra) e il software Sound Quality (PULSE, B&K).

Tutti i dati provenienti dagli otto siti sono stati raccolti nelle stesse condizioni: giorno (11:00 a.m. a 16:00 p.m.) nel mese di ottobre 2021 (prima settimana del mese), tempo sereno e temperatura che oscillava tra il 18 ° C e 21 ° C.

Per quanto concerne invece i dati visivi, questi sono stati registrati in risoluzione 8k come raccomandato in ITU-R BT.2020 [71].

L'indagine si è svolta prevalentemente nell'area del Porto Antico, l'unica zona del porto di Ancona raggiungibile senza l'ausilio di mezzi di trasporto e anche zona più datata e di notevole interesse storico per via delle opere architettoniche presenti. Il "Porto Storico" è localizzato nella parte nord-orientale dell'intero ambito portuale (C1-C5).

L'altro cluster di interesse è stato invece identificato nella zona del porto denominata "Lazzaretto". Il Lazzaretto di Ancona, detto anche Mole Vanvitelliana, è un edificio progettato dall'architetto Luigi Vanvitelli, esso sorge su di un'isola artificiale pentagonale situata all'interno del porto (C6).

Infine, gli ultimi due cluster sono stati scelti all'interno del porto turistico di Ancona.

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 (C7-C8).

Per una maggiore comprensione, la fig. 4.2 mostra il piano del sito, la funzione principale, le principali sorgenti sonore e il punto di misurazione per ogni sito. Si può vedere che gli otto siti hanno mostrato una grande variazione. In termini di funzione, i cluster comprendono aree ad alto traffico, aree colpite dal rumore delle industrie navali e aree particolarmente tranquille.

Per una maggiore comprensione si riportano gli andamenti di livello di pressione sonora, loudness, sharpness e fluctuation strenght misurati per il cluster di interesse (fig. 4.3-4.4-4.5-4.6-4.7-4.8-4.9-4.10).

In tab. 4.1 e tab. 4.2 sono riassunti i risultati della caratterizzazione acustica e psicoacustica in situ.

Table 4.1: Parametri acustici e psicoacustici calcolati dalla registrazione binaurale.

Cluster		SPL (dBA)	Loudness (phone)	Sharpness (acum)	Fluctation Strength (vacil)	Roughness (asper)
C1	L	34.9	52.33	1.11	0.33	1.17
	R	37.7	54.98	1.10	0.41	1.58
C2	L	31.8	49.04	1.04	0.18	2.46
	R	33.1	47.99	0.66	0.18	2.54
C3	L	53.8	67.50	1.38	1.10	1.80
	R	51.2	62.68	1.01	0.62	1.42
C4	L	33.1	48.83	0.68	0.31	0.44
	R	34.8	50.94	0.67	0.43	0.34
C5	L	26.0	49.46	1.11	0.31	2.96
	R	26.2	47.81	1.00	0.25	2.71
C6	L	31.3	53.52	1.19	0.17	1.07
	R	32.6	54.69	1.14	0.40	1.16
C7	L	39.8	59.09	1.25	0.67	1.94
	R	40.0	59.50	1.13	0.67	1.76
C8	L	36.8	53.01	1.43	0.43	0.98
	R	38.8	54.63	1.05	0.67	1.36

4.1.3 Questionari

Ricerche precedenti hanno dimostrato che gli ambienti visivi sono strettamente correlati agli ambienti sonori, e la qualità dell'ambiente visivo gioca un ruolo importante nella valutazione delle qualità del paesaggio sonoro [44, 72-75].

L'analisi qualitativa è stata fatta attraverso le risposte soggettive date dagli ascoltatori nella prova d'ascolto; si riferisce, per ogni cluster, ad una impressione generale di comfort acustico, fastidio, piacevolezza e sgradevolezza dei suoni che vengono utilizzati per comporre la prova.

Le prove non hanno preso in considerazione fattori non uditivi, come la luce del giorno e la fragranza (odore), poiché considerati non decisivi per questo tipo di studio,

Table 4.2: Loudness percentiles, ovvero N5, N50, N90. Questi valori forniscono informazioni sulle piccole fluttuazioni del paesaggio sonoro.

Cluster		Loudness [Free 5%] (sone)	Loudness [Free 50%] (sone)	Loudness [Free 90%] (sone)
C1	L	2.670	2.026	1.723
	R	3.284	2.617	2.257
C2	L	1.768	1.443	1.288
	R	1.979	1.655	1.428
C3	L	2.062	1.692	1.503
	R	2.374	1.882	1.673
C4	L	6.899	4.502	3.720
	R	5.286	4.345	3.907
C5	L	2.467	0.907	0.684
	R	2.209	0.845	0.688
C6	L	1.892	1.506	1.333
	R	2.273	1.649	1.450
C7	L	4.071	3.059	2.664
	R	4.007	3.130	2.677
C8	L	3.589	1.310	0.802
	R	5.162	1.369	0.984

anche se si riconoscono essere aspetti importanti dei paesaggi sonori.

Il questionario è stato creato su una piattaforma online e condiviso attraverso moduli web. Ai partecipanti è stato chiesto di descrivere l'ambiente sonoro del porto durante un sound-walking virtuale costruito utilizzando un modulo Google. La modalità di trasmissione di prova online ci ha consentito di standardizzare la riproduzione della traccia audio. Ogni partecipante al test di ascolto ha ascoltato la stessa traccia contenente lo stesso tipo di rumore. Questo è stato molto importante al fine di elaborare una statistica precisa. Per questo caso di studio, il questionario era composto da dieci sezioni di seguito riassunte:

1. Nella sezione introduttiva sono stati spiegati gli argomenti, la finalità e il metodo di compilazione del questionario. In particolare la massima attenzione riguarda la modalità di riproduzione della registrazione del rumore del porto. Ai partecipanti è stato chiesto di riprodurre la traccia solo in cuffia ed in condizioni di ascolto protette.
2. Nella prima sezione, i soggetti sono stati invitati a scrivere informazioni di tipo cognitivo, per esempio: “quanto frequenti il luogo”, “quanto sei dipendente da esso in termini di tempo”, “quanto ti piacerebbe viverci, se non fosse per le condizioni circostanti (lavoro, ossessione del luogo, forse, vita in generale)?...” ;
3. Per la seconda sezione di nove, i soggetti sono stati invitati a valutare la loro

impressione complessiva di ciascuno degli otto cluster in esame. Un mashup di video del paesaggio e registrazione binaurale è stato presentato agli ascoltatori. Tutte le preferenze sono state fatte su una scala numerica graduata di 5 punti (1 pessimo e 5 ottimo).

La struttura schematica delle domande è riportata in fig. 4.11 mentre il modello completo del questionario in lingua inglese è reso disponibile nell'appendice A di questo documento.

Le grandezze psicoacustiche sono state calcolate direttamente utilizzando le registrazioni binaurali prese in ogni cluster. Le stesse registrazioni binaurali sono state utilizzate nei questionari per ottenere la risposta soggettiva dei partecipanti. A supporto della comprensione si riporta l'andamento generale del test in fig. 4.13.

Le tabelle a torta evidenziano l'atteggiamento dell'ascoltatore fornendo indicazioni sulla frequenza dell'esperienza del luogo, sulla durata del soggiorno e soprattutto sulla motivazione del soggetto partecipante. Per ogni cluster è stata valutata la percezione di rumore, in termini di piacevolezza/sgradevolezza. Per lo stesso cluster, è stato anche studiato quanto ogni tipo di rumore è stato considerato concorde con il paesaggio circostante. I risultati di questa analisi sono mostrati in fig. 4.22, dove sono rappresentati gli andamenti delle tipologie di rumore per tutti i cluster di interesse.

Il questionario è stato compilato da 228 persone. Considerando il contesto dei partecipanti, la maggior parte degli intervistati proveniva da settori tecnici legati all'ingegneria e alla pianificazione urbana (71%). Gli altri intervistati provenivano da un contesto umanistico e di scienze sociali (11%) o da un altro (18%). Tutti i partecipanti hanno compilato il questionario relativo ai siti C1-C8; la maggior parte (53%) ha riferito di aver visitato il porto ogni giorno, la minoranza (9%), ha segnalato visite irregolari. Nell'esaminare le località C1-C8, gli intervistati hanno dichiarato che una buona percentuale del rumore percepito era principalmente riconducibile al rumore del traffico e al rumore naturale (onde del mare, contesto zoologico e voci da essi umani). La qualità percepita del paesaggio sonoro complessivamente è stata elevata. Da questi dati, è stato possibile confermare che la qualità di un ambiente sonoro circostante può essere buona, anche se è generalmente piena di suoni caotici e spesso assimilati a rumori che provocano fastidio. La tab. 4.3 mostra i valori numerici della normalizzazione del set di dati soggettivo.

Congiuntamente all'analisi dei questionari è stata analizzata la traccia audio registrata durante la sosta nei cluster di interesse col fine di identificare più puntualmente le sorgenti di rumore.

Per confermare la validità del test di ascolto e capire quanto gli ascoltatori avessero percepito i suoni del cluster è stato utilizzato un classificatore di immagini.

La classificazione delle immagini è un problema di apprendimento supervisionato: è necessario definire un insieme di classi target (oggetti da identificare nelle immagini), e il modello deve essere addestrato a riconoscerle usando un esempio video etichettato.

L'analisi del cluster comporta l'applicazione di algoritmi di clustering con l'obiettivo di trovare modelli nascosti o raggruppamenti in un set di dati [76, 77].

Le reti neurali convoluzionali (CNN) si sono dimostrate molto efficaci nella classificazione delle immagini e si sono dimostrate promettenti per la classificazione audio. A tale scopo è stato costruito mediante Matlab-code, un classificatore audio per il

caso di studio, proprio per identificare il tipo di rumore nella zona. Il codice concede di aggregare le classificazioni locali alle decisioni di intere colonne sonore imitando la classificazione video visuale di Ng et al. [78].

Dopo aver studiato diversi modelli più complessi per combinare le informazioni nel tempo, è stata trovata una media semplice di output di classificazione CNN a singolo frame dove le *Time stamps* corrispondono a ciascuna regione analizzata:

1. Suoni - Suoni rilevati in ogni regione;
2. AverageScores - punteggi di rete medi corrispondenti a ciascuna classe di suoni rilevata nella regione;
3. MaxScores - punteggi massimi di rete corrispondenti a ciascuna classe di suoni rilevata nella regione;

I suoni del porto sono stati classificati come segue:

- **TRAFFIC NOISE** = boats, cars, sirens;
- **OTHER NOISE** = construction noise, industry, machinery, inappropriate music;
- **SOUNDS FROM HUMAN BEINGS** = conversation, laughter, children at play, footsteps;
- **NATURAL SOUNDS** = singing birds, wind in vegetation, flowing water, sea waves;
- **DESIGNED SOUNDS** = sound intentionally added to the environment;
- **ACOUSTIC EFFECTS** = echo, reverberation.

Per ciascun cluster si riporta la mappa sonora temporale (4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21) ed i punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevata nella timeslot (4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11).

Inoltre, concorde con la teoria di Shafer, sono stati distinti ed individuati keynotes, soundmarks e soundsignal secondo la seguente classificazione per gli otto cluster raggruppati (tab. 4.12):

Grazie a questa indagine è stato possibile identificare nella traccia il contenuto reale delle note chiave e dei segnali sonori; questa operazione è stata fondamentale per la costruzione della metrica di qualità.

4.1.4 Analisi statistica

Per esaminare le diverse caratteristiche tra gli stimoli sonori, è stata condotta un'analisi cluster; in particolare, come chiarito nella sezione precedente, è stata effettuata un'importante azione di normalizzazione sul set di dati soggettivi per scoprire modelli e tendenze riproducibili. La valutazione della percezione dei partecipanti del layout portuale è partita

dall'individuazione delle correlazioni tra i parametri acustici tradizionali e quelli psicoacustici. In primo luogo, è stato verificato che le metriche oggettive non fossero scorrelate tra loro, come mostrato nella fig. 4.22; in seguito, l'analisi di regressione polinomiale è stata utilizzata per identificare la correlazione più appropriata tra le misure oggettive e soggettive, come mostrato nella fig. 4.23;

La tab. 4.13 riassume i risultati del coefficiente di regressione per quanto riguarda il rango delle otto scale soggettive e metriche oggettive.

4.1.5 Risultati

Sebbene siano stati proposti vari indici di qualità del suono, non esistono metriche che possano essere ampiamente applicate a tutti i casi di studio. Per questo motivo, questo tipo di modello statistico può essere utilizzato per cercare di capire la relazione tra l'uomo e il paesaggio; si possono valutare relazioni indipendenti con l'analisi di regressione multivariata.

L'analisi multivariata è tradizionalmente concettualizzata come lo studio statistico di esperimenti in cui vengono effettuate misurazioni multiple su ogni test sperimentale e per i quali è possibile scoprire la relazione tra misurazioni effettuate in campo. In questo caso di studio, e nello studio della qualità del suono in generale, le relazioni tra le varie caratteristiche della sensazione soggettiva sono critiche. Le risposte soggettive ad un questionario devono essere correlate a varie misure psicoacustiche. Pertanto, il modello di regressione consiste nel correlare due o più variabili (metriche oggettive) alla variabile dipendente (metriche soggettive). Tutte le analisi statistiche sono state eseguite utilizzando la piattaforma Matlab.

Il valore p -value di 0.01 è stato considerato statisticamente significativo. Così, per esaminare la relazione tra le impressioni piacevoli e le proprietà dell'area fisica dei suoni emessi dalla porta, la scrivente ha progettato una metrica personalizzata [47]. La scelta dei predittori è stata basata sulla prima regressione, e il peso è stato assegnato in conformità con il grado del coefficiente di regressione ottenuto (figura 4.24).

Per ottenere informazioni diagnostiche rilevanti sulla misura psicoacustica del porto marittimo, la regressione è stata calcolata considerando i valori medi tra orecchio destro e sinistro. Questa scelta è stata fatta a causa della poca differenza nei risultati ottenuti tra l'orecchio destro e sinistro delle misurazioni psicoacustiche effettuate. Il punteggio di valutazione delle sensazioni è stato stimato utilizzando le seguenti equazioni ottenute con l'analisi di regressione multipla:

$$Pleasant = 0.12 * Leq + 0.4 * Phone + 0.6 * Sharp - 13.9 \quad (4.1)$$

$$Eventful = -0.20 * Rough + 0.69 * Sharp + 1.14 \quad (4.2)$$

$$Vibrant = 0.27 * Leq + 1.20 * Rough - 0.35 \quad (4.3)$$

$$Calm = 0.11 * Leq + 0.16 * Phone + 0.6 * Rough - 8.78 \quad (4.4)$$

$$Annoying = 0.17 * Leq - 0.04 * Phone + 0.9 * Rough - 0.73 \quad (4.5)$$

Tabella 4.14 mostra i risultati dell'analisi di regressione multipla.

La valutazione del paesaggio sonoro è una parte della ricerca estetica sensoriale che si occupa della piacevolezza della sensazione che si riceve dall'ambiente. Dal momento

che le persone valutano lo stesso ambiente in modo diverso e reagiscono in modo diverso, diversi standard sono stati scritti per valutare il disturbo soggettivo [4, 5]. Negli esperimenti psicoacustici, le emissioni di rumore sono spesso valutate, infatti, le emissioni di rumore con rumori provenienti da fonti diverse allo stesso $Leq[dB(A)]$ sono state giudicate in base alla loudness complessiva [79]. Per quanto riguarda la valutazione della qualità del suono, oltre alle caratteristiche psicoacustiche del suono, in particolare, gli effetti cognitivi possono svolgere un ruolo. Dal momento che la loudness è di gran lunga considerata la componente più importante del fastidio, e il fattore fastidio è la variabile più importante quando si parla di rumore ambientale, quantificare il fastidio nei progetti di soundscape design si reputa essere una necessità.

Se la qualità percepita del paesaggio sonoro è considerata un'esperienza soggettiva individuale che probabilmente si riferisce alla preferenza personale e al momento storico, con questo approccio usiamo metodi oggettivi e soggettivi per avere una migliore comprensione delle condizioni sane in luoghi dove i soggetti di solito conducono le loro attività quotidiane.

In primo luogo, per il calcolo dei parametri psicoacustici in riferimento alla nostra ricerca, è importante fare riferimento a un modello di Zwicker [6].

Per questo studio, è stato creato un Matlab-Code, che è in grado di calcolare il disturbo psicoacustico una volta che i valori delle misure oggettive sono stati forniti come input (riferimento in tab. 4.1 e tab. 4.2 in particolare il N5, N50, N90. Questi valori forniscono informazioni sulle fluttuazioni nel paesaggio sonoro.

La routine Matlab calcola il percentile della loudness, N5, la fluctuation strength media ed ignora la roughness, perché inferiore a 1.75, quindi non è un fattore che contribuisce. Poi, è stato calcolato il WFR , come mostrato in eq. 3.2 del capitolo 2.

Per analizzare la relazione tra la valutazione del comfort fisico complessivo di uno spazio aperto urbano e la valutazione soggettiva di vari indici fisici, così come il livello sonoro, è stata utilizzata l'analisi di regressione.

Il modello di regressione consiste nel correlare due o più variabili (metriche oggettive) alla variabile dipendente (metriche soggettive). In questo caso, le metriche soggettive sono state rappresentate dai risultati del test di ascolto soggettivo. Il modello utilizzato per lo studio del caso è descritto nell'eq. 2.16 del capitolo 2.

Sulla base di questo modello è stata poi sviluppata una metrica personalizzata appositamente per questo caso di studio di un indice di qualità del suono (SQI) calcolato per ogni cluster. Si è determinato un modello di correlazione per identificare il fastidio psicoacustico correlato al disturbo del rumore del porto.

$$PA_{port} = \beta_1(PA_i)^2 + \beta_2(PA_{zwicker}) + \beta_3 \quad (4.6)$$

dove PA_{port} è la variabile dipendente, β_n rappresentano coefficienti di regressione parziale, PA_i è ottenuto dalla statistica regressiva sulla base dei dati raccolti nei test d'ascolto e $PA_{zwicker}$ si calcola come descritto nell'eq. 3.2.

Il modello PA funge da supporto al modello sq-index per le indagini successive. Si tratta quindi di un indice di qualità sonora che quantifica il suono ideale attraverso la correlazione tra metriche oggettive e soggettive e fornirà anche informazioni sul fastidio reale sentito dall'ascoltatore. La tab. 4.15 mostra i risultati dell'analisi di regressione polinomiale: disturbo percettivo ed indice di qualità del suono.

Questa analisi ha rivelato che un'ampia gamma di valori di impressione soggettivi con un elevato carico di fattori era significativamente e positivamente associata a SPL, sharpness, loudness e roughness. Inoltre, i risultati hanno suggerito che una riduzione sia del' SPL che delle componenti ad alta frequenza legate alla sharpness potrebbero migliorare la qualità sonora dei suoni di paesaggio. Per capire la reazione finale degli ascoltatori, abbiamo calcolato un indice di qualità del suono soggettivo per ogni cluster, utilizzando le equazioni personalizzate sopra descritte. Un numero significativo di ascoltatori ha espresso un parere più negativo sul disturbo del rumore rispetto a quello della piacevolezza del suono. Nonostante la percezione che l'acustica generale fosse positiva, l'opinione sulla piacevolezza del suono del luogo è risultata moderata, se non negativa.

Prima di tutto, la qualità del paesaggio sonoro è strettamente correlata alla piacevolezza percepita e alla bontà dell'ambiente sonoro, e questi sono due descrittori che sottolineano l'importanza di questo studio per aumentare la qualità degli spazi urbani esterni, in particolare, per le zone ricreative e tranquille, simili ad alcuni spazi del nostro porto.

Attraverso l'approccio soundscape, è possibile manipolare la percezione umana dell'ambiente sonoro, senza ridurre le emissioni di rumore[80, 81].

In questo caso, il progettista deve concentrarsi sulle sorgenti sonore e sul contesto architettonico. L'analisi dei dati raccolti evidenzia che la qualità del paesaggio sonoro percepito è diverso dalle emissioni sonore reali del paesaggio portuale. Ci sono molte condizioni al contorno che hanno influenzato i cluster, per esempio, il rumore da passaggio barca, il rumore da un sito industriale, e il rumore da traffico e costruzione. Tutto questo rumore non continuo aumenta il livello di disagio e diminuisce il livello di piacevolezza. I risultati dello studio attuale suggeriscono che le differenze di preferenza sonora sono a quattro livelli. Il primo può essere definito come una semplice preferenza. Le persone condividevano un'opinione comune nel preferire i suoni della natura ai suoni artificiali. Il secondo livello di preferenza sonora può essere definito come una macropreferenza, perché i soggetti focalizzano l'attenzione su una fonte e la descrivono, ignorando gli altri suoni. Al terzo livello, il soggetto inizia a fare riferimento alle loro emozioni e giudizi in base al background culturale e all'esperienza ambientale a lungo termine. Al quarto livello è la differenza tra l'età dei soggetti e altri fattori più significativi.

Per maggiore chiarezza a supporto della tesi iniziale, la fig 4.26 mostra la clusterizzazione della porta indicando la posizione di ciascun cluster. Per ogni cluster, indichiamo il $Leq[A]$, il grado di soddisfazione con il sito (indicato come indice di qualità del suono) e il grado di fastidio psicoacustico percepito dagli ascoltatori.

Come visto in questa fig 4.26, il rumore misurato, in alcuni casi, non era quello che gli ascoltatori percepivano, in particolare, in C3 e C7, dove c'è un grande divario tra il fastidio e la piacevolezza. Come dimostrano i risultati di questo studio, C3 è un luogo dove le persone possono trascorrere del tempo senza disagio nel comunicare tra loro e soprattutto godersi il suono del paesaggio. La stessa condizione potrebbe valere per C7.

Questo studio si è concentrato sugli effetti dei fattori del paesaggio sulla percezione del paesaggio sonoro. L'equazione personalizzata risultante dalla regressione multivariata rappresenta lo strumento matematico per il calcolo dell'indice di qualità del suono.

L'indice di qualità era poi legato all'indice di fastidio psicoacustico. Questo indice è stato creato ad hoc per il porto di Ancona grazie ai questionari soggettivi. Questo ci ha permesso di comprendere le reali percezioni dei cittadini che frequentano il porto.

Dai risultati ottenuti seguendo questa procedura, è stato notato che alcuni cluster non sono stati valutati, dove la gente preferisce non fermarsi. Il rumore di un luogo rappresenta una delle variabili più significative nel decidere dove posizionare un nuovo insediamento. Lo scopo di questo studio, infatti, è proprio quello di dimostrare che i parametri della psicoacustica hanno un peso importante dal punto di vista del rumore ambientale.

A questo proposito, si dovrebbe cominciare a valutare l'idea di integrare questi parametri quando si esegue la valutazione dell'inquinamento acustico.

4.1 Il Paesaggio sonoro del porto: Il contributo dell'UNI EN ISO 12913 nella rigenerazione degli interventi

SITE	AERIAL VIEW	SITES OF MEASUREMENTS	MAIN FUNCTION	TYPICAL SOUNDSIGNAL OF ANCONA'S SEAPORT	SOUNDSIGNAL IN WEEK 1-6 OCTOBER 2021
C1			Tourism, relaxation, recreation.	Footsteps, surrounding speech, Water (sea and boat).	Water (sea and boat).
C2			Cultural (historical building), relaxation.	Traffic, construction, demolition, water (boat).	Traffic, construction, demolition, water (boat).
C3			Public transport, commercial, dancing place (music hall in summertime)	Water (sea and boat), surrounding speech, traffic.	Water (sea and boat), traffic.
C4			Railway boat, commercial.	Water (sea and boat), surrounding speech, traffic.	Water (sea and boat), traffic.
C5			Relaxation, recreation, commercial.	Footsteps, surrounding speech, traffic, music, water (sea and boat).	Surrounding speech, water (sea and boat).
C6			Tourism, cultural (historical buildings), recreation.	Water (sea and boat), Music.	Water (sea and boat).
C7			Tourism, commercial, recreation.	Footsteps, surrounding speech, Traffic, Water (sea and boat), music.	Surrounding speech, Traffic, Water (sea and boat).
C8			Tourism, commercial, recreation.	Water (sea and boat), Traffic.	Water (sea and boat), speech.

Figure 4.2: Informazioni base sul caso di studio.

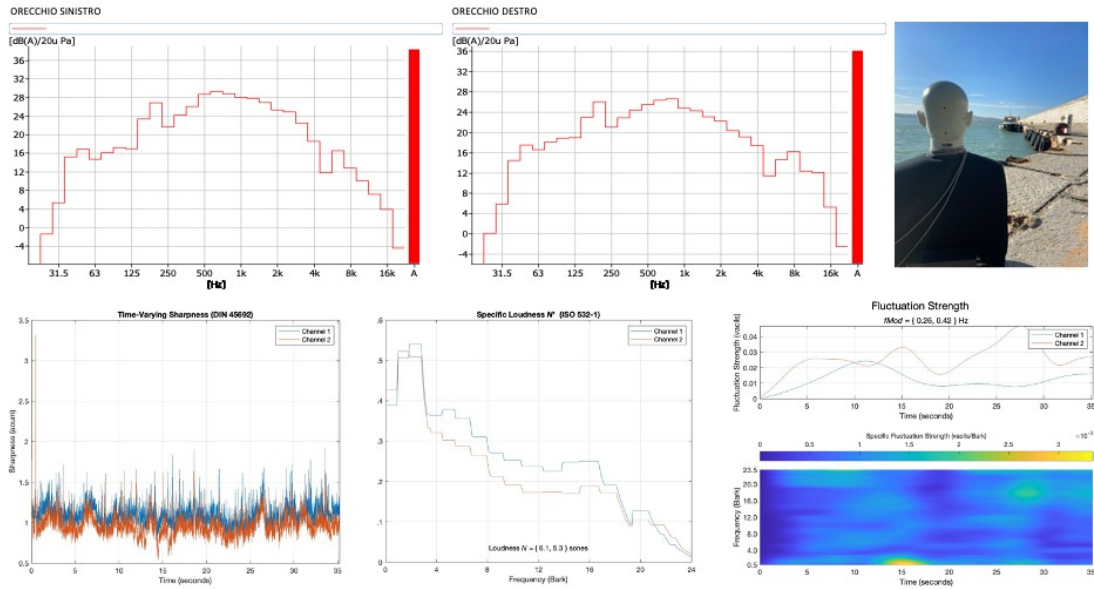


Figure 4.3: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C1.

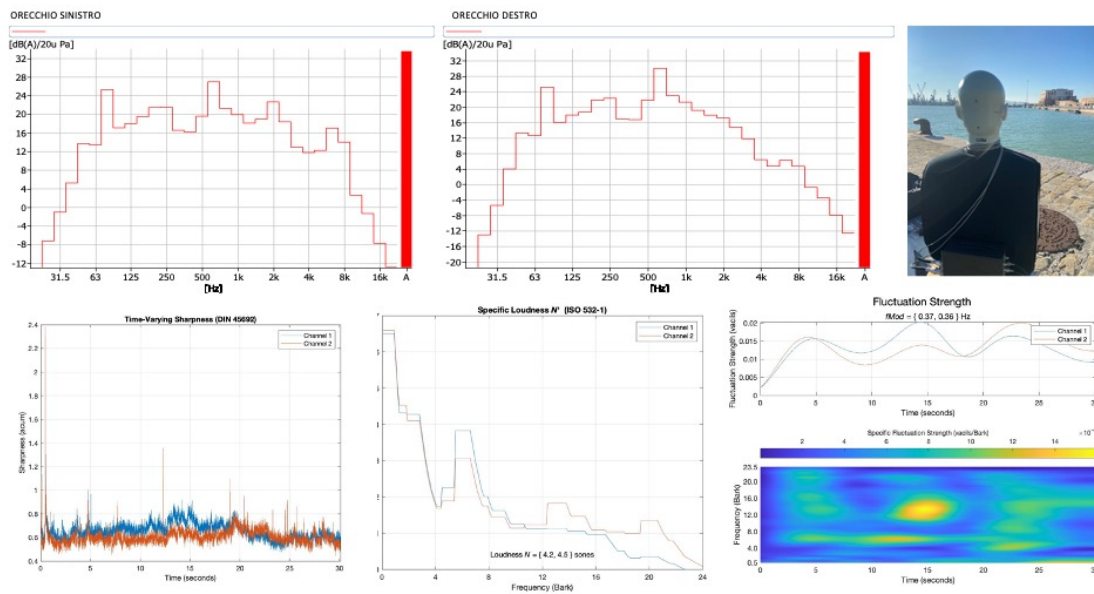


Figure 4.4: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C2.

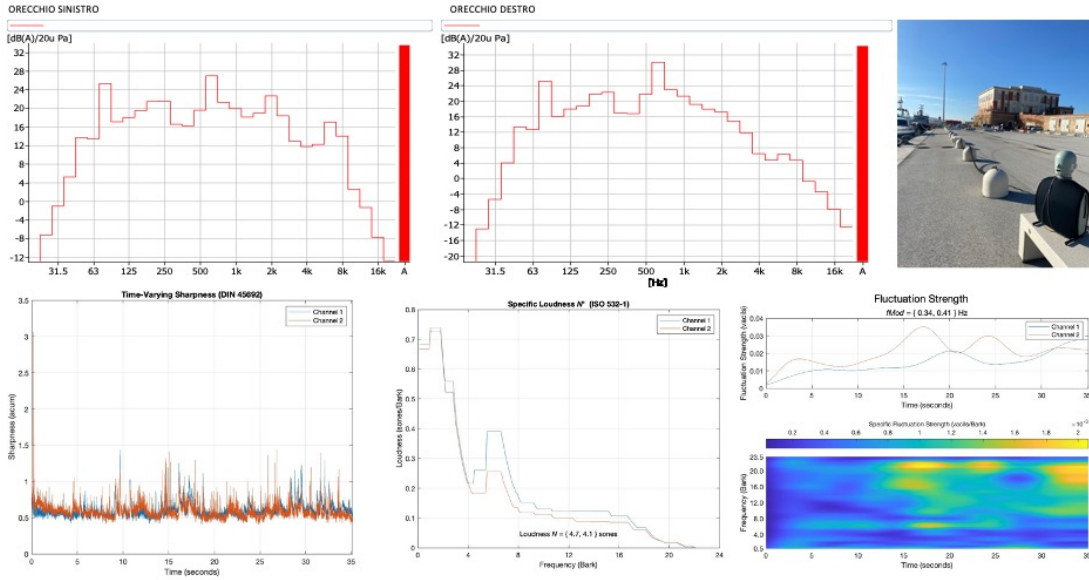


Figure 4.5: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C3.

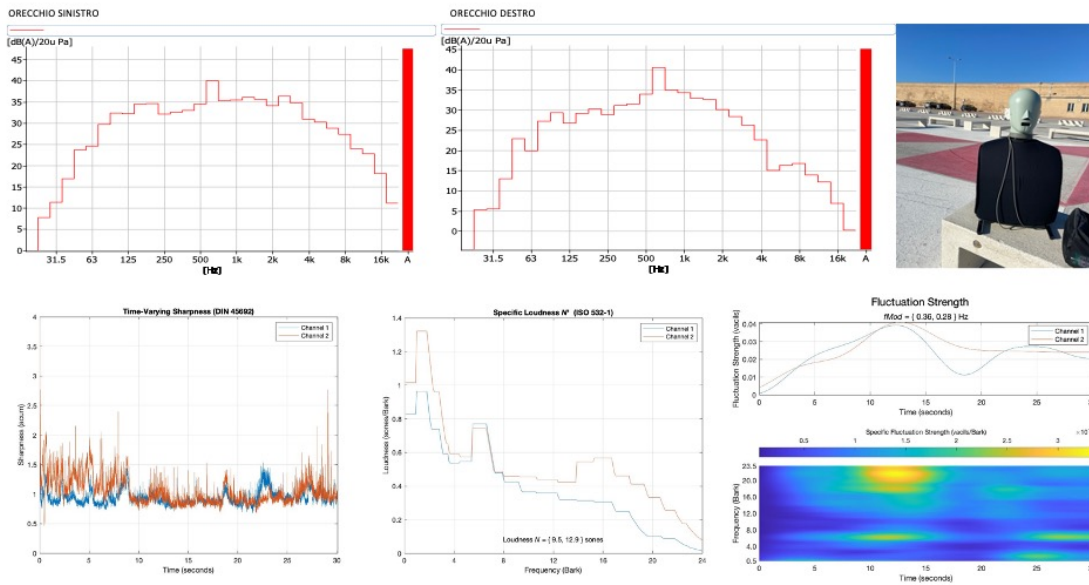


Figure 4.6: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C4.

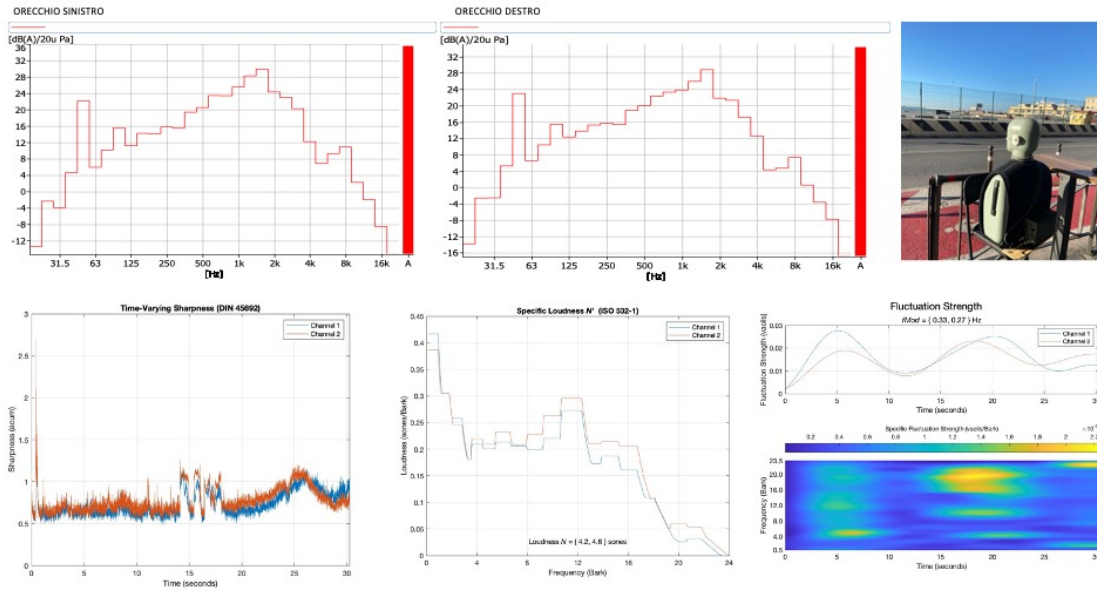


Figure 4.7: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C5.

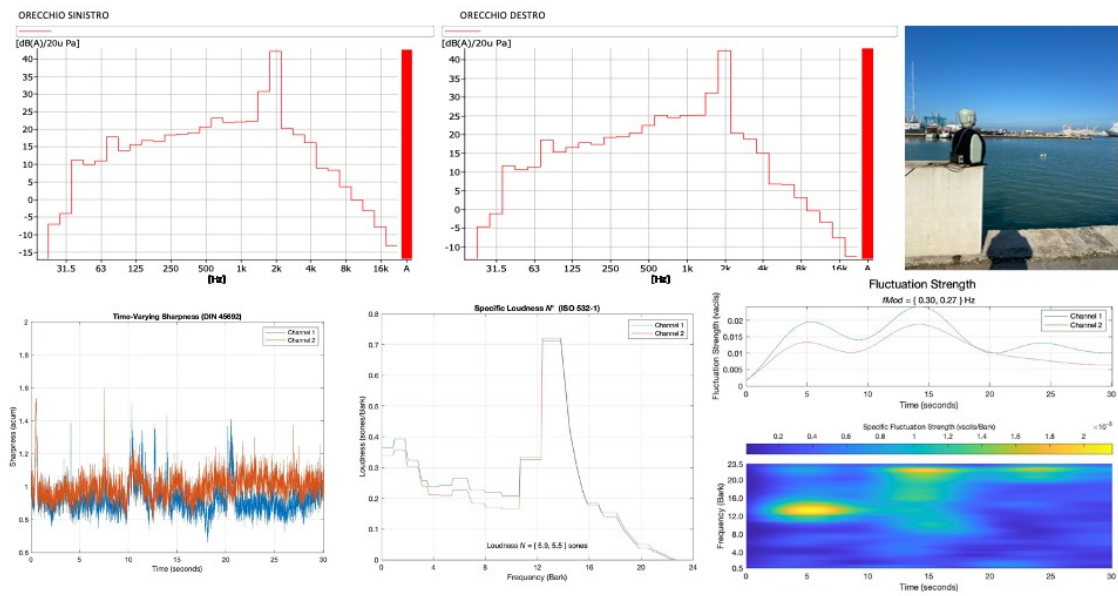


Figure 4.8: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C6.

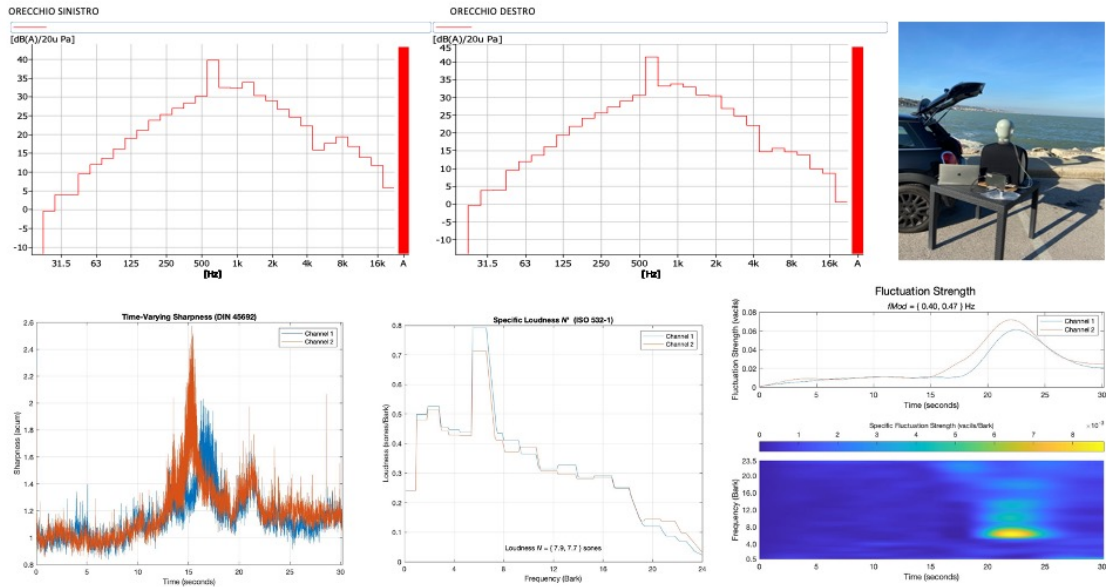


Figure 4.9: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C7.

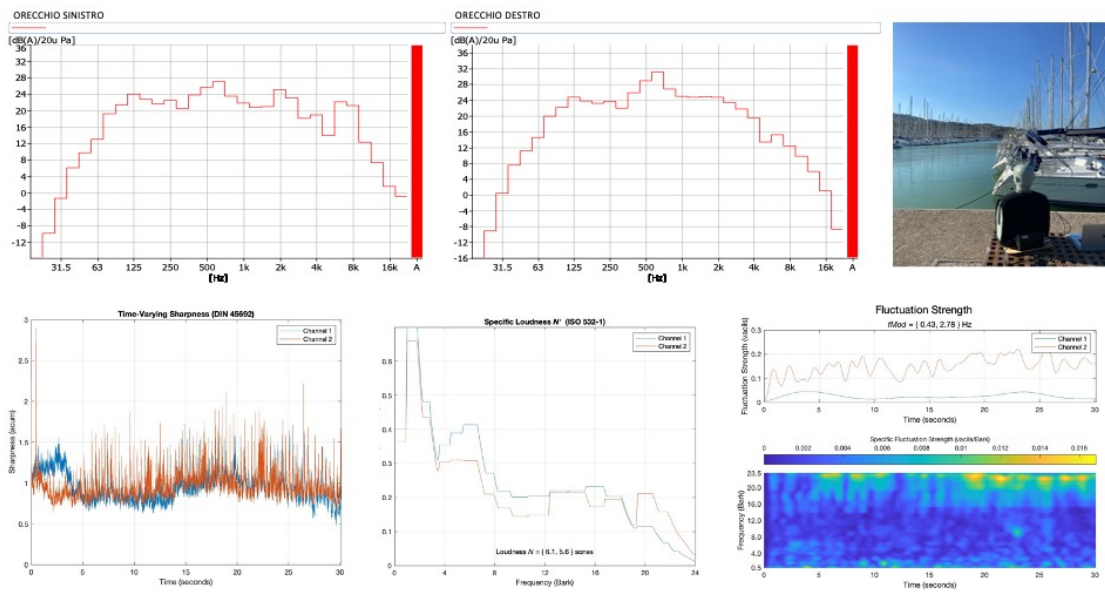


Figure 4.10: Andamento grafico delle grandezze di interesse per il cluster C8.

Section	Question
INTRODUCTION SECTION	The objective of this questionnaire is to collect data on the perception of the sound environment in the seaport of Ancona. In addition to some initial questions of a general nature, we ask you to answer the questions relating to the sound perception of the seaport. We invite you to playback the recorded track ONLY by headphone. We invite you to answer all the questions in the order in which they are listed, following the indications provided. This survey collects your data anonymously. We inform you that the processing will in any case be confidential and the subsequent publication of the results will be carried out in such a way as to make it impossible to trace the answers given by the interviewed person.
PERSONAL DATA	<ol style="list-style-type: none"> 1) Age 2) Gender 3) Place of living 4) Education 5) Employment
CONTEXT ANALYSIS	<ol style="list-style-type: none"> 1) How long are you staying in this area at most? 2) Why do you visit this place more? 3) Do you often visit this place? 4) In which daily time slot do you visit this area most?
PERCEPTION OF THE ENVIRONMENT (from C1 to C8)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Can you distinguish the following type of sound of the proposed landscape? 2) How would you describe the sound environment in this area? 3) Overall, to what extent is the present surrounding sound environment appropriate to the present place? 4) Overall, how would you describe the present surrounding sound environment?

Figure 4.11: Mappa concettuale del questionario soggettivo.

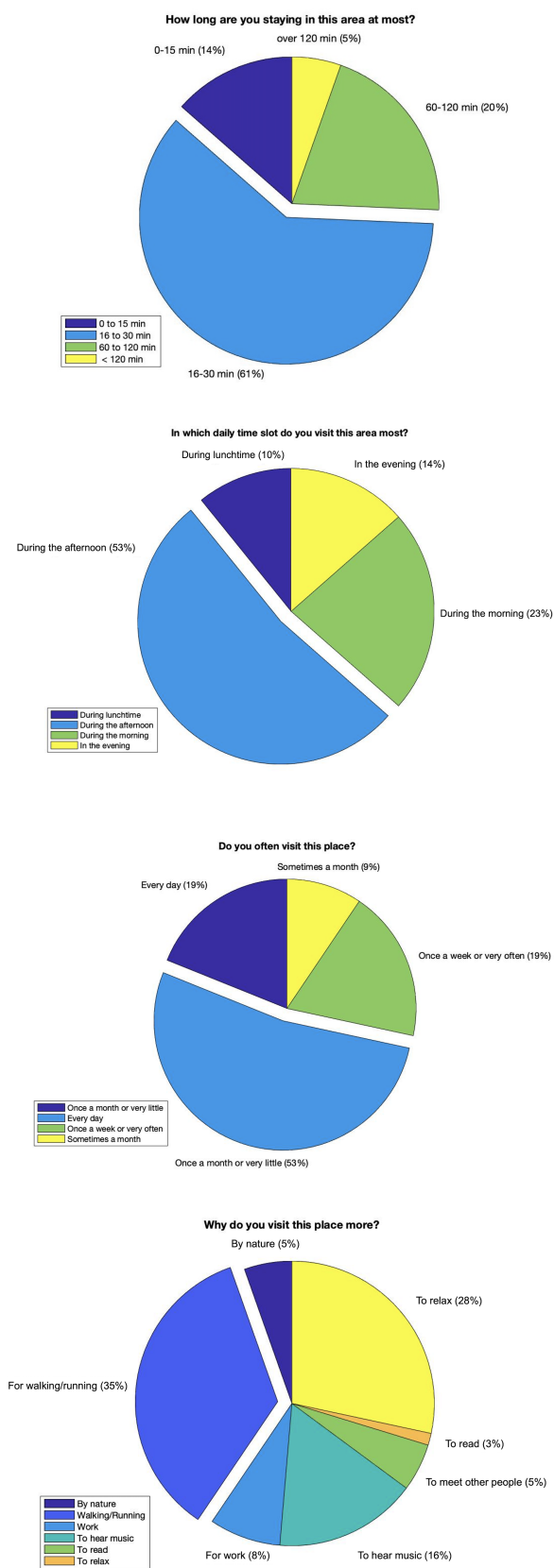


Figure 4.12: Grafico a torta delle tendenze generali

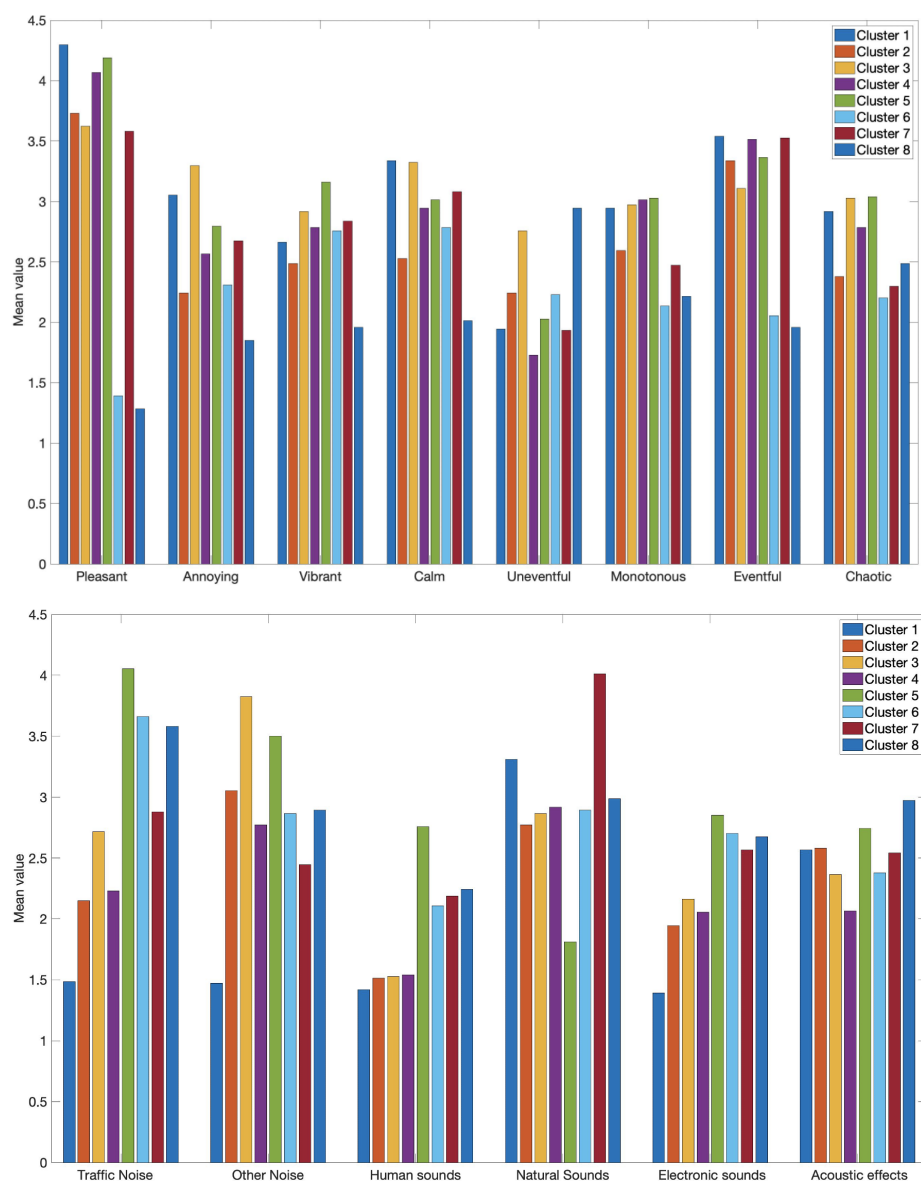


Figure 4.13: Punteggio medio della qualità percepita negli otto cluster.

4.1 Il Paesaggio sonoro del porto: Il contributo dell'UNI EN ISO 12913 nella rigenerazione degli interventi

Table 4.3: Valore medio (media) e deviazione standard (std) degli attributi soggettivi relativi alla qualità del paesaggio sonoro circostante. Significatività statistica con un intervallo di confidenza del 95 % di tale stima

Cluster - Adjectives	Sample mean	Sample Standard deviation	Confidence Level $1 - \alpha = 0.95$	Confidence Interval (normal)
C1-Pleasant	4,3	1,07	0,05	0,24
C1-Annoying	3,73	1,15	0,05	0,26
C1-Vibrant	3,62	1,42	0,05	0,32
C1-Calm	4,07	1,08	0,05	0,25
C1-Uneventful	4,19	1,08	0,05	0,25
C1-Monotonous	1,39	0,81	0,05	0,18
C1-Eventful	3,58	1,46	0,05	0,33
C1-Chaotic	1,28	0,69	0,05	0,16
C2-Pleasant	3,05	1,26	0,05	0,29
C2-Annoying	2,24	1,2	0,05	0,27
C2-Vibrant	3,3	1,3	0,05	0,3
C2-Calm	2,57	1,26	0,05	0,29
C2-Uneventful	2,8	1,17	0,05	0,27
C2-Monotonous	2,31	1,2	0,05	0,27
C2-Eventful	2,68	1,55	0,05	0,35
C2-Chaotic	1,85	1,03	0,05	0,23
C3-Pleasant	2,66	1,01	0,05	0,23
C3-Annoying	2,49	1	0,05	0,23
C3-Vibrant	2,92	1	0,05	0,23
C3-Calm	2,78	1,14	0,05	0,26
C3-Uneventful	3,16	1,26	0,05	0,29
C3-Monotonous	2,76	1,32	0,05	0,30
C3-Eventful	2,84	1,28	0,05	0,29
C3-Chaotic	1,96	1,05	0,05	0,24
C4-Pleasant	3,34	1,21	0,05	0,28
C4-Annoying	2,53	1,16	0,05	0,26
C4-Vibrant	3,32	1,24	0,05	0,28
C4-Calm	2,95	1,3	0,05	0,3
C4-Uneventful	3,01	1,31	0,05	0,30
C4-Monotonous	2,78	1,38	0,05	0,31
C4-Eventful	3,08	1,28	0,05	0,29
C4-Chaotic	2,01	1,08	0,05	0,25
C5-Pleasant	1,95	0,93	0,05	0,21
C5-Annoying	2,24	0,93	0,05	0,21
C5-Vibrant	2,76	1,31	0,05	0,30
C5-Calm	1,73	1,01	0,05	0,23
C5-Uneventful	2,03	1,05	0,05	0,24
C5-Monotonous	2,23	1,37	0,05	0,31
C5-Eventful	1,93	1,21	0,05	0,28
C5-Chaotic	2,95	1,38	0,05	0,32

Table 4.3: *Cont.*

Cluster - Adjectives	Sample mean	Sample Standard deviation	Confidence Level $1 - \alpha = 0.95$	Confidence Interval (normal)
C6-Pleasant	2,95	1,32	0,05	0,30
C6-Annoying	2,59	1,39	0,05	0,32
C6-Vibrant	2,97	1,35	0,05	0,31
C6-Calm	3,01	1,21	0,05	0,28
C6-Uneventful	3,03	1,23	0,05	0,28
C6-Monotonous	2,14	1,13	0,05	0,26
C6-Eventful	2,47	1,16	0,05	0,26
C6-Chaotic	2,22	1,14	0,05	0,26
C7-Pleasant	3,54	1,27	0,05	0,29
C7-Annoying	3,34	1,25	0,05	0,29
C7-Vibrant	3,11	1,3	0,05	0,30
C7-Calm	3,51	1,24	0,05	0,28
C7-Uneventful	3,36	1,28	0,05	0,29
C7-Monotonous	2,05	1,07	0,05	0,24
C7-Eventful	3,53	1,17	0,05	0,27
C7-Chaotic	1,96	0,93	0,05	0,21
C8-Pleasant	2,92	1,41	0,05	0,32
C8-Annoying	2,38	1,32	0,05	0,30
C8-Vibrant	3,03	1,54	0,05	0,35
C8-Calm	2,78	1,46	0,05	0,33
C8-Uneventful	3,04	1,45	0,05	0,33
C8-Monotonous	2,2	1,02	0,05	0,23
C8-Eventful	2,3	1,12	0,05	0,26
C8-Chaotic	2,49	1,36	0,05	0,31

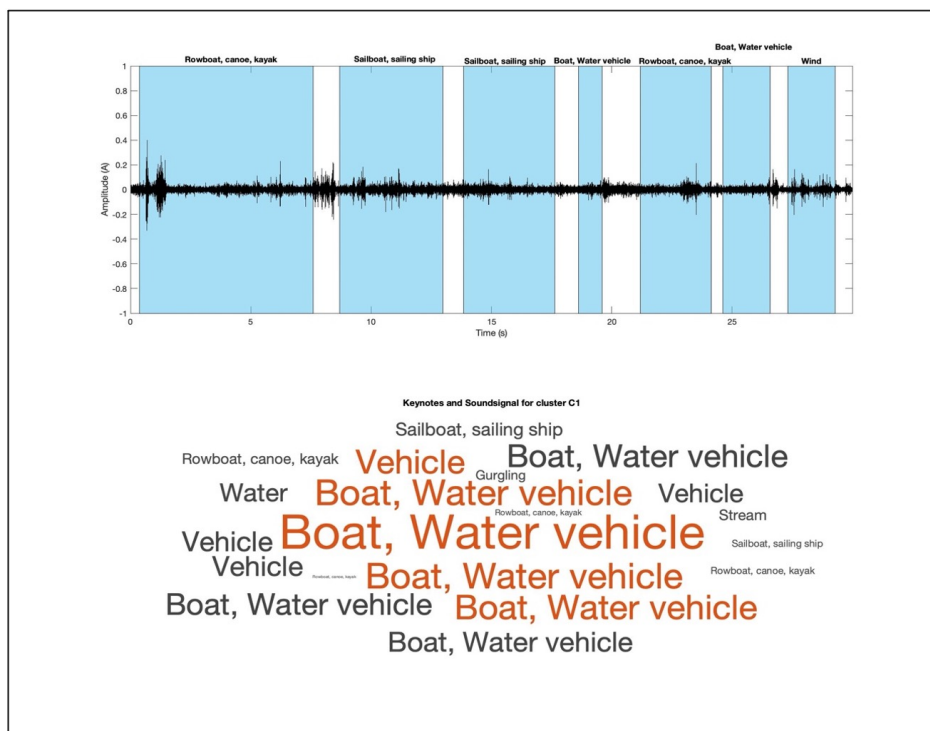


Figure 4.14: Cloud del cluster C1. AverageScores pari a 0.42 e Maxscores pari a 0.53.

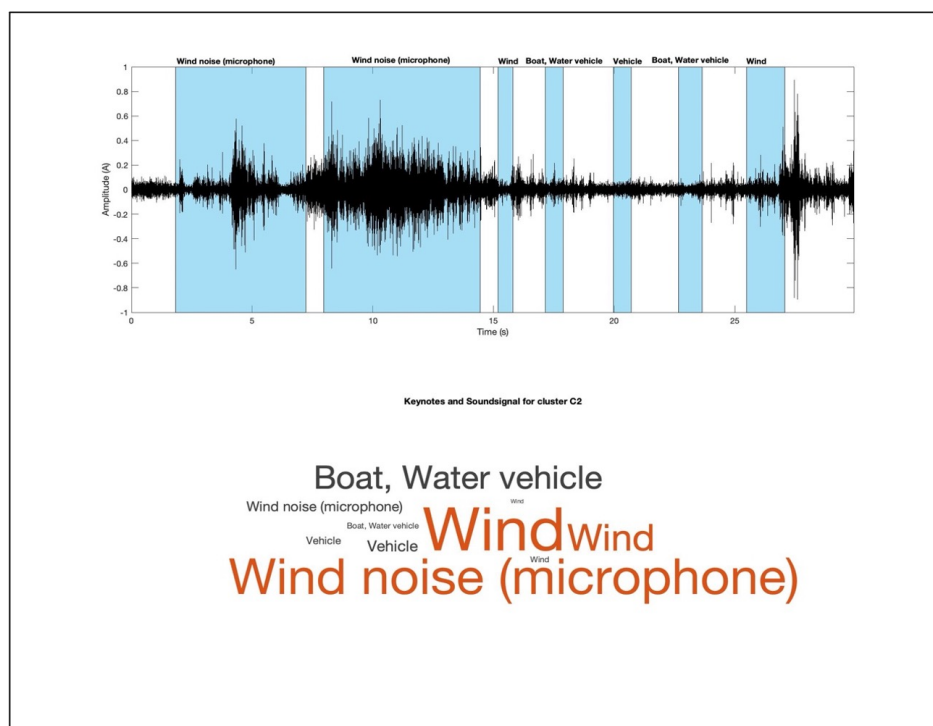


Figure 4.15: Cloud del cluster C2. AverageScores pari a 0.48 e Maxscores pari a 0.58.

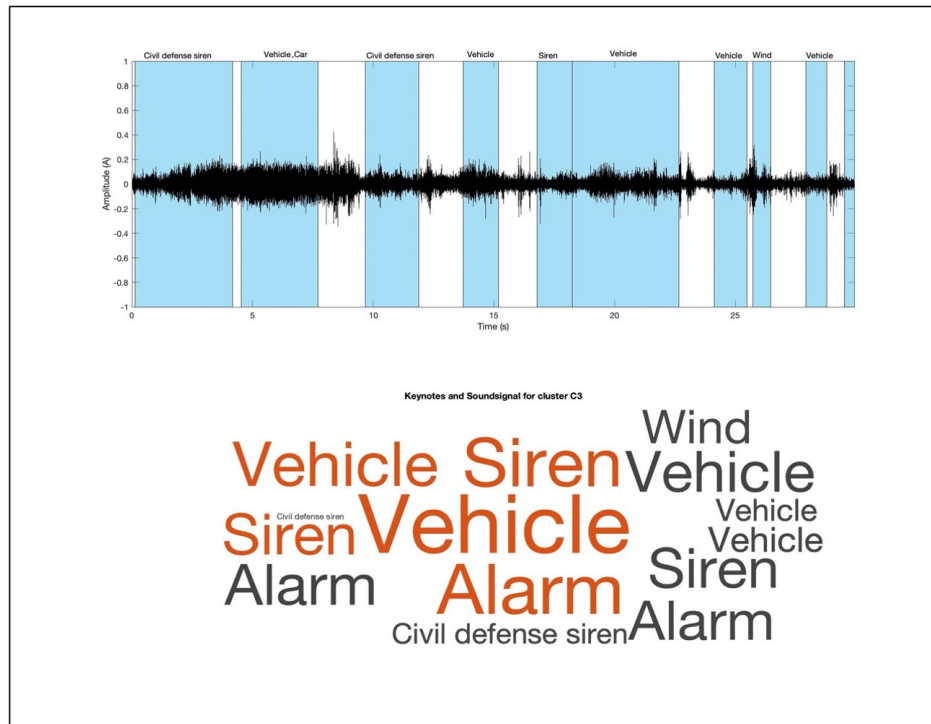


Figure 4.16: Cloud del cluster C3. AverageScores pari a 0.50 e Maxscores pari a 0.62.

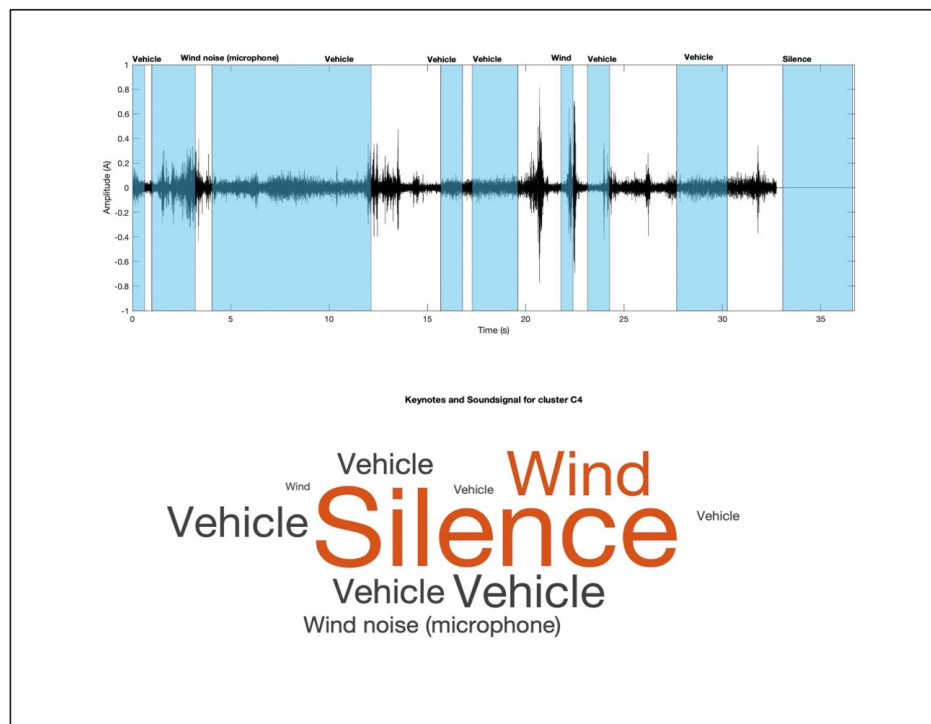
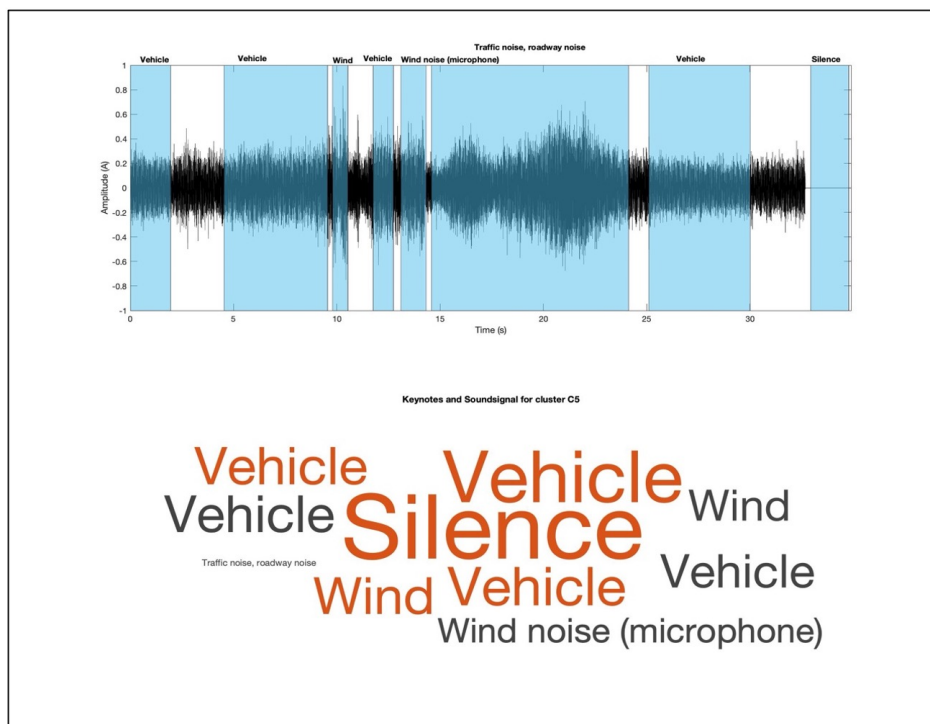


Figure 4.17: Cloud del cluster C4. AverageScores pari a 0.54 e Maxscores pari a 0.63.



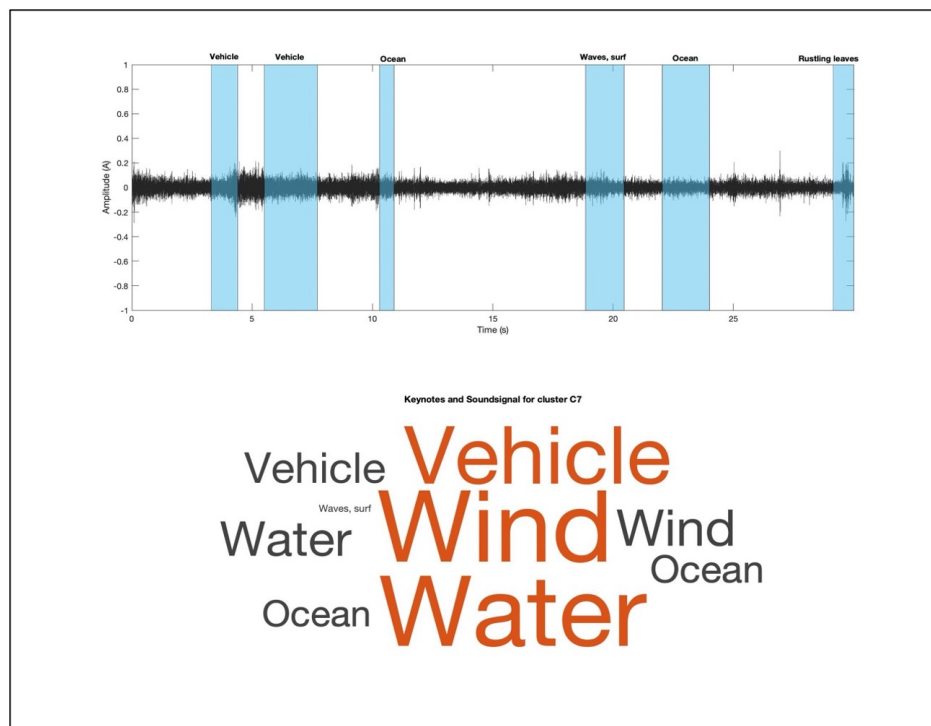


Figure 4.20: Cloud del cluster C7. AverageScores pari a 0.45 e Maxscores pari a 0.53.

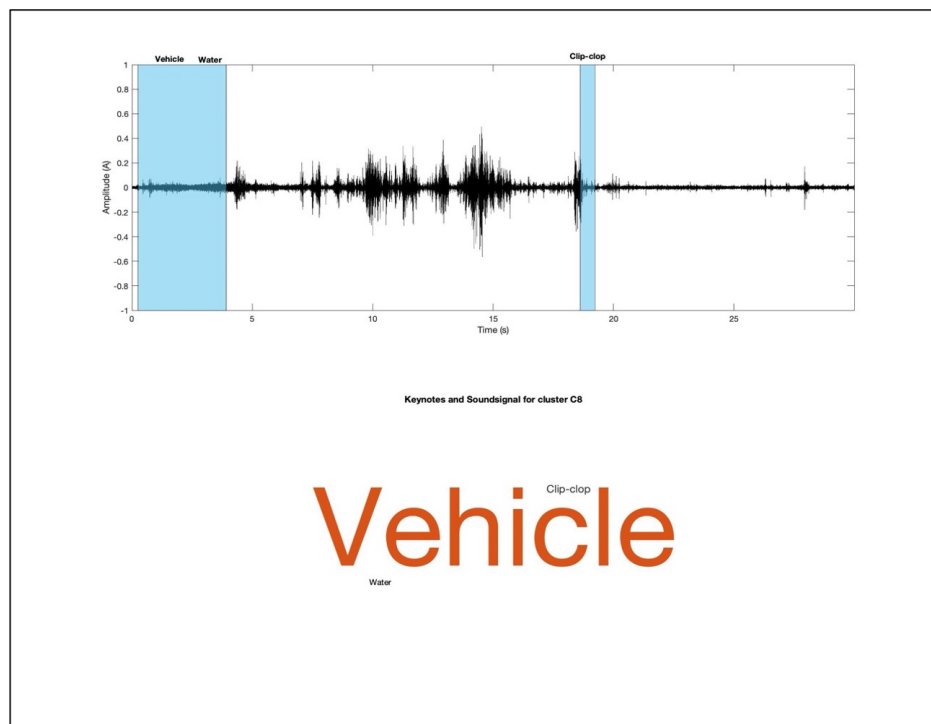


Figure 4.21: Cloud del cluster C8. AverageScores pari a 0.44 e Maxscores pari a 0.54.

Table 4.4: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C1.

C1 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Boat, Water vehicle	0,513	0,691
Vehicle	0,429	0,704
Rowboat, canoe, kayak	0,227	0,458
Boat, Water vehicle	0,492	0,675
Vehicle	0,423	0,529
Sailboat, sailing ship	0,264	0,496
Boat, Water vehicle	0,652	0,833
Vehicle	0,481	0,693
Sailboat, sailing ship	0,335	0,442
Boat, Water vehicle	0,462	0,517
Vehicle	0,406	0,483
Boat, Water vehicle	0,427	0,741
Rowboat, canoe, kayak	0,254	0,574
Boat, Water vehicle	0,510	0,649
Rowboat, canoe, kayak	0,308	0,459
Water	0,468	0,399
Boat, Water vehicle	0,553	0,453
Water	0,470	0,306
Gurgling	0,437	0,296
Rowboat, canoe, kayak	0,382	0,269

Table 4.5: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C2.

C2 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Wind	0,540	0,739
Wind noise (microphone)	0,429	0,677
Water	0,659	0,807
Wind noise (microphone)	0,606	0,764
Wind	0,404	0,434
Boat, Water vehicle	0,403	0,447
Vehicle	0,437	0,479
Boat, Water vehicle	0,513	0,611
Vehicle	0,417	0,487
Wind	0,395	0,410

Table 4.6: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C3.

C3 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Siren	0,524	0,670
Alarm	0,535	0,704
Civil defense siren	0,281	0,428
Vehicle	0,535	0,641
Alarm	0,613	0,754
Siren	0,599	0,735
Civil defense siren	0,375	0,482
Vehicle	0,386	0,452
Siren	0,536	0,671
Alarm	0,520	0,691
Vehicle	0,693	0,819
Vehicle	0,563	0,679
Wind	0,476	0,531
Vehicle	0,409	0,447

Table 4.7: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C4.

C4 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Vehicle	0,505	0,542
Wind	0,668	0,834
Wind noise (microphone)	0,475	0,647
Vehicle	0,585	0,760
Vehicle	0,430	0,485
Vehicle	0,528	0,626
Wind	0,425	0,457
Vehicle	0,435	0,482
Vehicle	0,435	0,482
Silence	0,941	1,000

Table 4.8: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C5.

C5 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Vehicle	0,491	0,573
Vehicle	0,500	0,607
Wind	0,427	0,469
Vehicle	0,449	0,498
Wind	0,493	0,572
Wind noise (microphone)	0,352	0,410
Vehicle	0,686	0,847
Traffic noise, roadway noise	0,191	0,430
Vehicle	0,516	0,728
Silence	0,885	1,000

Table 4.9: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C6.

C6 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Vehicle	0,634	0,792
Vehicle	0,555	0,650
Silence	0,946	1,000

Table 4.10: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C7.

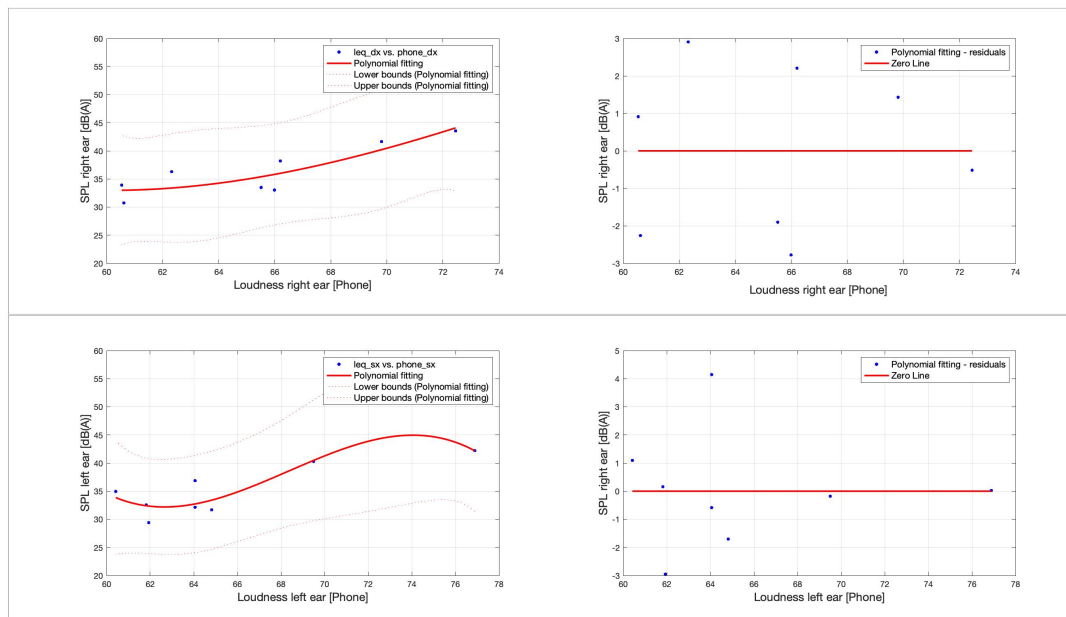
C7 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Vehicle	0,407	0,433
Vehicle	0,528	0,627
Water	0,424	0,442
Ocean	0,393	0,405
Water	0,588	0,752
Ocean	0,390	0,500
Waves, surf	0,316	0,406
Wind	0,433	0,517
Wind	0,594	0,749

Table 4.11: Punteggi di rete massimi e minimi corrispondenti a ciascuna classe di suono rilevato in C8.

C8 - Suoni rilevati	Average Scores	Max Scores
Vehicle	0,536	0,775
Clip-clop	0,385	0,416
Water	0,424	0,442

Table 4.12: Keynotes, soundmarks e soundsignal rilevati nei cluster C1-C8.

Keynotes	Soundsignal	Soundmarks
Vehicle	Siren	Rowboat, canoe, kayak
Wind noise	Alarm	Sailboat, sailing ship
Rustle's water	Civil defense siren	Boat, Water vehicle
-	Silence	Waves, Surf
-	-	Clip-clop

**Figure 4.22:** Risultati di regressione polinomiale tra SPL e Loudness. Diversi risultati degni di nota sono stati: 1) orecchio destro $r^2=0.84$; Covarianza 0.57; e probabilità 0.001; 2) orecchio sinistro $r^2=0.84$; Covarianza 0.56; e probabilità 0.001;**Table 4.13:** Media della regressione polinomiale tra metriche oggettive e soggettive rispettivamente per orecchio destro (**R**) e orecchio sinistro (**L**).

	SPL - <i>R</i>	SPL - <i>L</i>	Loud - <i>R</i>	Loud - <i>L</i>	Sharp - <i>R</i>	Sharp - <i>L</i>
Pleasant	0,85	0,83	1,00	0,96	0,81	0,85
Annoying	0,69	0,69	0,59	0,24	0,73	0,18
Vibrant	0,71	0,71	0,51	0,44	0,24	0,38
Calm	0,80	0,80	0,74	0,37	0,55	0,20
Uneventful	0,69	0,69	0,57	0,19	0,38	0,04
Monotonous	0,16	0,16	0,04	0,32	-0,83	-0,40
Eventful	1,08	1,08	0,76	0,55	0,28	0,06
Chaotic	-0,74	-0,74	-0,36	-0,16	0,06	0,18

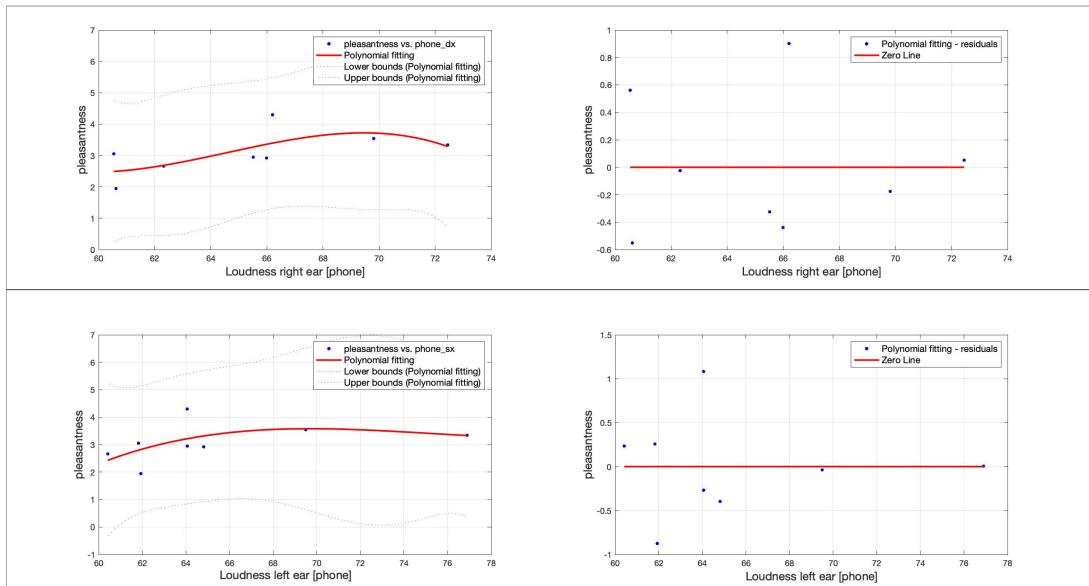


Figure 4.23: Risultati di regressione polinomiale tra Piacevolezza e Intensità. Diversi risultati degni di nota sono stati: 1) orecchio destro $r^2=0.87$; Covarianza 0.59; e probabilità 0.001; 2) orecchio sinistro $r^2=0.84$; Covarianza 0.56; e probabilità 0.001;

Table 4.13: *Cont.*

	Fluc - <i>R</i>	Fluc - <i>L</i>	Roug - <i>R</i>	Roug - <i>L</i>
Pleasant	-0,11	-0,03	-0,31	0,19
Annoying	-0,27	-0,20	-0,49	0,10
Vibrant	-0,22	-0,11	-0,39	0,01
Calm	-0,14	-0,01	-0,34	0,26
Uneventful	-0,23	0,07	-0,41	0,34
Monotonous	0,48	-0,05	0,53	-0,24
Eventful	-0,13	-0,33	-0,24	-0,01
Chaotic	0,52	0,34	0,51	0,04

Table 4.14: Risultati di regressione multivariata

Subjective Response	sse	r_square	DFE	rmse
<i>Pleasant</i>	0.21	0.82	3	0.36
<i>Eventful</i>	1.29	0.76	2	0.56
<i>Vibrant</i>	1.71	0.81	2	0.47
<i>Calm</i>	0.70	0.86	3	0.48
<i>Annoying</i>	0.65	0.80	3	0.46

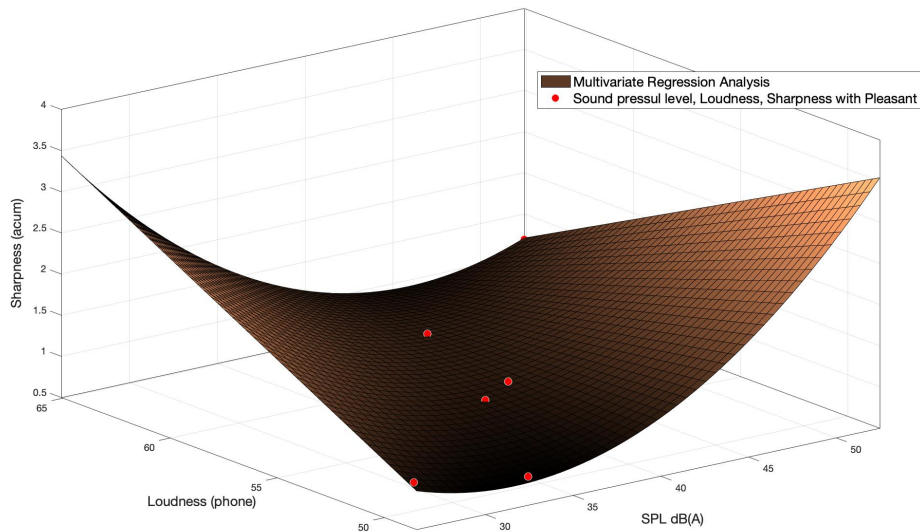


Figure 4.24: Risultati di regressione multivariata tra SPL, Loudness, nitidezza con piacevole. Diversi risultati degni di nota sono stati: $r^2=0.82$; Sse 0.21; Dfe 3, Rmse 0.36.

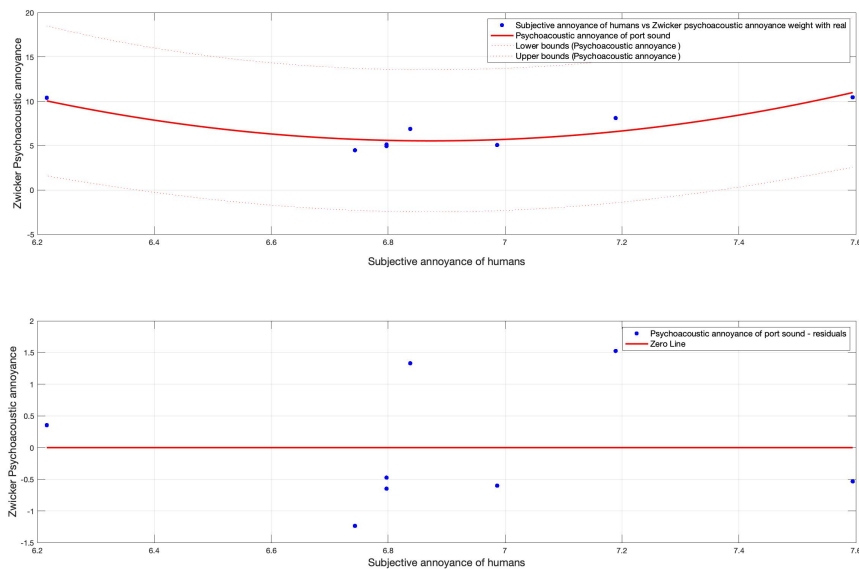


Figure 4.25: Fastidio soggettivo dell'umano vs. Zwicker Fastidio psicoacustico ponderato con la percezione reale dell'umano. Risultati di regressione polinomiale tra PA (metodo Zwicker) e PA (calcolati con il peso risultante dal test di ascolto). Diversi risultati degni di nota sono stati: $r^2= 0.93$; Covarianza 0.50; Probabilità 0.001.

Table 4.15: Perceptive annoyance factor (PA) calcolato ad hoc per il port di Ancona. Indice di qualità del suono (SQI) calcolato per ogni cluster.

Location	PA (Port)	SQI (Sound Quality Index)
C1	6.6	6.9
C2	6.0	5.3
C3	4.9	9.9
C4	7.6	5.6
C5	5.1	4.7
C6	6.5	6.3
C7	3.9	9.2
C8	8.5	7.0

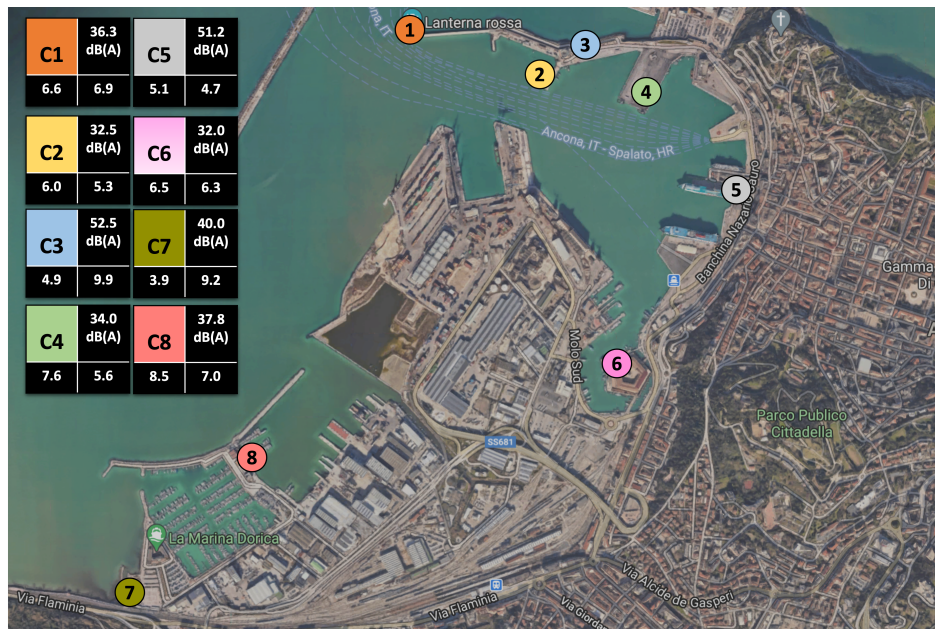


Figure 4.26: Vista aerea del porto in cui sono indicati i seguenti: nome del cluster, livello di pressione sonora (A), indice di qualità del suono del sito e fastidio psicoacustico del sito

Chapter 5

Conclusioni

Il mondo di oggi è caratterizzato dall'incessante e rapido mutamento degli scenari spaziali, sociali ed economici di riferimento. In uno scenario in continuo movimento, in cui ormai è difficile stabilire riferimenti sicuri, l'identità stessa dell'essere umano subisce una trasformazione radicale: l'essere umano è sempre all'interno di un circolo iterativo che ne filtra e ne condiziona l'esperienza.

L'orizzonte di questa ricerca si contestualizza proprio in questo scenario prendendo, una posizione a favore di questa tendenza e cercando di fornire un contributo per ricostruire una relazione tra l'azione progettuale e un'idea di contesto locale.

Il primo strumento individuato è rappresentato dal concetto di "qualità sonora", che parte dal riconoscimento dell'importanza del dato acustico nella definizione del rapporto tra l'uomo e i suoni che lo circondano.

La definizione dello strumento SQ index, definito nei primi capitoli della tesi ha gettato le basi per la costruzione di un modello di monitoraggio complesso. A partire dalla caratterizzazione acustica di un prodotto industriale e definendo le caratteristiche percettive dell'ascoltatore in merito alla rumorosità emessa dallo stesso, è stata messa appunto una metrica custom, utile per la previsione della qualità sonora ed immediatamente replicabile da un prodotto all'altro.

La ricerca si è poi concentrata sul dibattito che ha riguardato la possibilità di ricondizionare lo studio del sound quality e di adattare la metrica custom agli ambienti esterni.

Tale modello permetterebbe infatti di superare la necessità di un confronto con tutte le manifestazioni acustiche dell'ambiente: operazione che richiederebbe, evidentemente, grande dispendio di tempo e di energie, a causa dell'assoluta variabilità degli elementi in gioco. Elementi che sono fortemente influenzati sia da episodi puntuali, che dovrebbero essere sondati attraverso una presenza continuata dell'ascoltatore, sia da fenomeni di lungo corso, come l'alternanza del giorno e della notte, il cambiamento delle condizioni atmosferiche, l'avvicinarsi delle stagioni.

Il contributo della ricerca all'interno di questo orizzonte si può sintetizzare in tre risultati principali.

Il primo consiste nella possibilità di riabilitare alcune tendenze di pensiero attualmente considerate minoritarie, come l'utilizzo e l'integrazione dei parametri soggettivi della psicoacustica per la caratterizzazione delle sonorità.

In secondo luogo, ci si concentra sull'identificazione di scenari acustici innovativi,

ove la rumorosità non viene vista come un danno bensì viene sfruttata in modo intelligente. Le impronte sonore strettamente legate ad il territorio, pertanto vanno preservate e ricostruite.

Il terzo risultato consiste nell'individuazione di elementi in grado di contestualizzare la ricerca sul paesaggio sonoro all'interno di un orizzonte più ampio, con lo scopo di avvicinare a delle sperimentazioni e a delle pratiche di progetto. La principale indicazione in questo senso è legata alla messa a fuoco del concetto di multisensorialità.

La ricapitolazione di questo scenario, che viene ripercorso nelle sue tappe fondamentali introducendo elementi di originalità, vorrebbe aprire delle possibilità grazie al particolare ambito in cui la ricerca si colloca.

L'indagine pilota condotta nel porto di Ancona ha dimostrato di essere in grado di recuperare una dimensione profonda, simbolica, emozionale, che risulta difficilmente contemplabile attraverso la sola considerazione del contatto visivo che si stabilisce tra il soggetto e il territorio.

Si tratta di uno studio piuttosto corposo e tradizionalmente poco considerato dal mondo dell'ingegneria, che potrebbe portare all'interno della disciplina una serie di conoscenze in grado di favorire una più articolata interpretazione dei contesti di riferimento e quindi un migliore orientamento dell'azione progettuale.

La ricerca ha quindi cercato di stabilire un contatto con la dimensione più strutturale dell'architettura, puntando a comprendere le relazioni che legano gli elementi sensoriali ai caratteri morfo-tecno-tipologici dell'edificio.

Questo è stato possibile grazie all'applicazione dei protocolli Itaca a scala edificio ed urbano, in particolare la stesura ed il calcolo della valutazione sostenibile urbana ha fornito indicazioni più puntuali sui cluster di interesse.

Il contributo più rilevante della ricerca, in definitiva, consiste nel suo stesso impianto, che si fonda sul tentativo di stabilire un dialogo aperto tra i concetti di paesaggio sonoro e di sostenibilità ambientale.

Nel provare a maturare un'autocritica del lavoro, credo che i limiti siano causati dagli stessi motivi che danno origine ai punti di forza. La scelta di muoversi all'interno di un campo interdisciplinare, che costantemente oscilla tra un orizzonte simulato e delle ricadute pratiche solo prospettate, se da un punto di vista teorico, infatti, la ricerca ha prodotto dei risultati chiaramente individuabili, dal punto di vista pratico le suggestioni si configurano come degli spunti, che non riescono a organizzarsi all'interno di un modello strutturato.

Per quanto motivo e sulla base delle affermazioni fatte durante l'intera trattazione il proseguimento della ricerca risulta essere ad oggi un compito urgente e necessario.

Appendix A

Questionario esteso

Di seguito si riporta il questionario completo somministrato per il caso di studio relativo all'area portuale della città di Ancona in lingua inglese.

Section	Question
INTRODUCTION SECTION	<p>The objective of this questionnaire is to collect data on the perception of the sound environment in the seaport of Ancona. In addition to some initial questions of a general nature, we ask you to answer the questions relating to the sound perception of the seaport. We invite you to playback the recorded track ONLY by headphone. We invite you to answer all the questions in the order in which they are listed, following the indications provided. This survey collects your data anonymously. We inform you that the processing will in any case be confidential and the subsequent publication of the results will be carried out in such a way as to make it impossible to trace the answers given by the interviewed person.</p>
PERSONAL DATA	<p>AGE</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 18-25 <input type="checkbox"/> 26-35 <input type="checkbox"/> 36-45 <input type="checkbox"/> 46-55 <input type="checkbox"/> Over 55 <p>GENDER</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Male <input type="checkbox"/> Female <p>PLACE OF LIVING</p> <p><i>Please write your location: indicates the district of the city of Ancona who you live.</i> <i>Example: QUARTIERE MONTE DAGO</i></p> <hr/> <p>EDUCATION</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Primary school diploma <input type="checkbox"/> Middle school diploma <input type="checkbox"/> High school diploma <input type="checkbox"/> Degree <input type="checkbox"/> Phd <p>EMPLOYMENT</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Engineer <input type="checkbox"/> Urban Planner <input type="checkbox"/> Literary man <input type="checkbox"/> Seaport employee <input type="checkbox"/> Researcher/Professor <input type="checkbox"/> Student

Figure A.1: *Cont.*

Section	Question																																										
CONTEXT ANALYSIS (Multiple choice)	Question 1: How long are you staying in this area at most?																																										
	<input type="checkbox"/> 0-15 m <input type="checkbox"/> 16-30 m <input type="checkbox"/> 60-120 m <input type="checkbox"/> Over 120 m																																										
	Question 2: Why do you visit this place more?																																										
	<input type="checkbox"/> For walking/running <input type="checkbox"/> By nature <input type="checkbox"/> To relax <input type="checkbox"/> To read <input type="checkbox"/> For work <input type="checkbox"/> To hear music																																										
	Question 3: Do you often visit this place?																																										
	<input type="checkbox"/> Every day <input type="checkbox"/> Sometimes a month <input type="checkbox"/> Once a week or very little <input type="checkbox"/> Once a month or very little																																										
	Question 4: In which daily time slot do you visit this area most?																																										
	<input type="checkbox"/> During the afternoon <input type="checkbox"/> During lunchtime <input type="checkbox"/> In the evening <input type="checkbox"/> During the morning																																										
PERCEPTION OF THE ENVIRONMENT (from C1 to C8) (Multiple choice)	Question 1: Can you distinguish the following type of sound of the proposal landscape?																																										
	SCALE/RESPONSE TYPE: 1= not at all 2= a little bit 3=moderately 4=a lot 5=dominates completely																																										
	<table border="0"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> <th>5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Traffic noise</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Other noise</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Sounds from human</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Natural sounds</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Electronic sound</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> <tr> <td>Acoustic effect</td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> <td><input type="radio"/></td> </tr> </tbody> </table>		1	2	3	4	5	Traffic noise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Other noise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Sounds from human	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Natural sounds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Electronic sound	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Acoustic effect	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		1	2	3	4	5																																					
	Traffic noise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																					
	Other noise	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																					
	Sounds from human	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																					
Natural sounds	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																						
Electronic sound	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																						
Acoustic effect	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>																																						

Figure A.1: Cont.

Section	Question				
PERCEPTION OF THE ENVIRONMENT (from C1 to C8)	Question 2: How would you describe the sound environment in this area?				
	<i>SCALE/RESPONSE TYPE:</i>				
	<i>1= strongly disagree</i> <i>2= disagree</i> <i>3=neither agree, nor disagree</i> <i>4=agree</i> <i>5=strongly agree</i>				
	1	2	3	4	5
Pleasant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Annoying	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vibrant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Calm	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Uneventful	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Monotonous	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Eventful	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chaotic	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Question 3: Overall, to what extent is the present surrounding sound environment appropriate to the present place?				
	<i>SCALE/RESPONSE TYPE:</i>				
	<i>1= not at all</i> <i>2= slightly</i> <i>3=moderately</i> <i>4=very</i> <i>5=Perfectly</i>				
	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Question 4: Overall, how would you describe the present surrounding sound environment ?				
	<i>SCALE/RESPONSE TYPE:</i>				
	<i>1= very good</i> <i>2= good</i> <i>3=neither good, nor bad</i> <i>4=bad</i> <i>5=very bad</i>				
	1	2	3	4	5
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figure A.1: Versione estesa del questionario soggettivo.

Bibliography

- [1] R. Murray Schafer, *The new soundscape* (1969).
- [2] *Legge quadro sull'inquinamento acustico*. Recommendation Legge 26 ottobre 1995, n. 447, (1995).
- [3] International standard ISO. *Acoustics — Description, measurement and assessment of environmental noise — Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. Standard ISO 1996-1:2016, International Organization for Standardization, (2016).
- [4] International standard ISO. *Acoustics – Methods for calculating loudness — Part 1: Zwicker method*. Standard ISO 532-1:2017, International Organization for Standardization, (2017).
- [5] International standard ISO. *Acoustics - Methods for calculating loudness — Part 2: Moore-Glasberg method*. Standard ISO 532-2:2017, International Organization for Standardization, (2017).
- [6] E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics: Facts and Models 2nd Edition*, , 715–724 (2006).
- [7] R. H. Lyon. *Introduction to Machinery Noise and Diagnostics*. In R. H. LYON, editor, *Machinery Noise and Diagnostics*, pages 1 – 15. Butterworth-Heinemann, Boston, (1987).
- [8] International standard ISO. *Acoustics — Soundscape — Part 1: Definition and conceptual framework*. Standard ISO 12913-1:2014, International Organization for Standardization, (2014).
- [9] G. T. Fechner, *Elements of psychophysics*, Appleton-Century-Crofts (1860).
- [10] International standard ISO. *Acoustics – Normal equal loudness level contours*. Standard ISO 226:2003, International Organization for Standardization, (2003).
- [11] International standard ISO. *Acoustics — Expression of physical and subjective magnitudes of sound or noise in air*. Standard ISO 131:1979, International Organization for Standardization, (1979).
- [12] A. N. Buck, N. Roskoth-Kuhl, and J. W. Schnupp, *Sensitivity to interaural time differences in the inferior colliculus of cochlear implanted rats with or without hearing experience*, *Hearing Research* **408**, 108305 (2021).

-
- [13] V. Best, L. S. Baltzell, and H. S. Colburn, *Effects of Hearing Loss on Interaural Time Difference Sensitivity at Low and High Frequencies*, Trends in Hearing **26**, 23312165221095357 (2022).
- [14] P.-A. Gauthier, W. Scullion, and A. Berry, *Sound quality prediction based on systematic metric selection and shrinkage: Comparison of stepwise, lasso, and elastic-net algorithms and clustering preprocessing*, Journal of Sound and Vibration **400**, 134 – 153 (2017).
- [15] S.-H. Shin, J.-G. Ih, T. Hashimoto, and S. Hatano, *Sound quality evaluation of the booming sensation for passenger cars*, Applied Acoustics **70**, 309 – 320 (2009).
- [16] H. Gierlich, *The application of binaural technology*, Applied Acoustics **36**, 219 – 243.
- [17] J. Blauert, *The Technology of Binaural Listening*, Springer, Berlin, Heidelberg (1997).
- [18] S. D. L. Fabio Serpilli and V. Lori, *Methods for product sound design: a correlation between annoyance and sound quality of noise emitted by household appliances*, INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings (2022).
- [19] R. Spagnolo, *Manuale di acustica applicata*, UTET Università (2014).
- [20] H. Fastl, *The Psychoacoustic of Sound-Quality Evaluation*, , Vol. 83 pp. 754–764 (1997).
- [21] E. Zwicker, *Procedure for calculating loudness of temporally variable sounds*, J. Acoust. Soc. Am. **62**, 676–682 (1977).
- [22] W. S. C.V. Beidl, *Application of the AVL-annoyance index for engine noise quality development*, Appl. Sci. **83**, 789–795 (1997).
- [23] A. Bregman., *Auditory scene analysis: the perceptual organization of sound*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1990).
- [24] W. Keiper, *Sound Quality Evaluation in the Product Cycle*, Acustica-Acta Acustica **83**, 784–788 (1997).
- [25] M. Bodden, *Instrumentation for Sound Quality Evaluation*, Acustica-Acta Acustica **83**, 775–783 (1997).
- [26] R. Guski, *Psychological Methods for Evaluating Sound Quality and Assessing Acoustic Information*, Acustica-Acta Acustica **83**, 765–774 (1997).
- [27] K. Genuit, *Background and Practical Examples of Sound Design*, Acustica-Acta Acustica **83**, 805–812 (1997).
- [28] S. Kuwano, H. Fastl, S. Namba, S. Nakamura, and H. Uchida. *Subjective evaluation of car door sound*. In *Dearborn, Michigan sound quality symposium SQS*, (2002 August 22).

-
- [29] A. Miśkiewicz and T. Letowski, *Psychoacoustics in the automotive industry*, , vol. 85, 646–649.
- [30] D. Fish and M. Franco-Jorge. *Towards generic design criteria for vehicle door shut exterior noise quality*. In *Proceedings of the Internoise 97*, (1997).
- [31] D. Pleban, *Definition and Measure of the Sound Quality of the Machine*, Archives of Acoustics **39** (2014).
- [32] S. M. Lee and S. K. Lee, *Objective evaluation of human perception of automotive sound based on physiological signal of human brain*, International Journal of Automotive Technology **15**, 273–282 (2014).
- [33] H. B. Huang, R. X. Li, M. L. Yang, T. C. Lim, and W. P. Ding, *Evaluation of vehicle interior sound quality using a continuous restricted Boltzmann machine-based DBN*, Mechanical Systems and Signal Processing **84**, 245 – 267 (2017).
- [34] J. Liu, J. Kang, T. Luo, and H. Behm, *Landscape effects on soundscape experience in city parks*, Science of The Total Environment **454-455**, 474–481 (2013).
- [35] W. X. G. Y. Y. W. Li H, Chen K, *A perceptual dissimilarities based nonlinear sound quality model for range hood noise*, J Acoust Soc Am. (2018).
- [36] M. Moravec, G. IÅřarÅkovÅj, P. Liptai, M. Badida, and A. BadidovÅj, *Development of psychoacoustic model based on the correlation of the subjective and objective sound quality assessment of automatic washing machines*, Applied Acoustics **140**, 178 – 182 (2018).
- [37] X. Wang and A. Subic, *Psychoacoustic modelling of vehicle side mirror power-fold actuator noise characteristics*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science **225**, 1419–1429 (2011).
- [38] International Electrotechnical IEC. *Household range hoods - Methods for measuring performance*. Standard IEC 61591 (1997-05)/Am1 (2005-10)/ Am2 (2010-07), International Electrotechnical Commission, (1997).
- [39] International standard ISO. *Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for reverberation rooms*. Standard ISO 3741:2010, International Organization for Standardization, (2010).
- [40] International standard ISO. *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure -Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*. Standard ISO 3744:2010, International Organization for Standardization, (2010).
- [41] International standard ISO. *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms-Amendment 1*. Standard ISO 3745:2012/Amd1 (2017), International Organization for Standardization, (2012).

- [42] International standard ISO. *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering/survey methods for use in situ in a reverberant environment*. Standard ISO 3747:2010, International Organization for Standardization, (2010).
- [43] International standard ISO. *Acoustics - Determination of sound power levels of noise sources using sound intensity - Part 2: Measurement by scanning*. Standard ISO 9614-2:1996, International Organization for Standardization, (1996).
- [44] International Telecommunication ITU. *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems*. Recommendation ITU BS.1116-3 (02/2015), International Telecommunication Union, (2015).
- [45] <https://www.google.it/intl/it/forms/about/>.
- [46] J. Chee. *Pearson's Product Moment Correlation: Sample Analysis*. Technical report, University of Hawaii at Mānoa School of Nursing, (2015).
- [47] S. Di Loreto, F. Serpilli, V. Lori, and S. Squartini, *Sound quality evaluation of kitchen hoods*, Applied Acoustics **168**, 107415 (2020).
- [48] U. Widmann, *A psychoacoustic annoyance concept for application in sound quality*, The Journal of the Acoustical Society of America **101**, 3078 (1997).
- [49] J. L.-B. et al., *Computation of Psycho-Acoustic Annoyance Using Deep Neural Networks*, Appl. Sci. **15**, 3136 (2019).
- [50] UNI/ITACA. *Environmental sustainability of construction works - Operational tools for sustainability assessment - General framework and methodological principles*. Standard UNI/PdR 13.0:2019, UNI/ITACA, (2019).
- [51] S. D. Loreto, F. Serpilli, V. Lori, and C. D. Perna, *The influence of the acoustic performance in the certification of a school buildings according to the ITACA protocol*, Building Acoustics **29**, 559–575 (2022).
- [52] I. P. L. E. T. D. A. E. L. C. AMBIENTALE. *Protocollo ITACA a Scala Urbana SINTETICO*. Standard, ISTITUTO PER L'INNOVAZIONE E TRASPARENZA DEGLI APPALTI E LA COMPATIBILITA' AMBIENTALE, (2020).
- [53] C. S. M. E. S. F. V. L. Kountouras, M., *APPLICAZIONE DI UNA METODOLOGIA SOUNDSCAPE PER L'INTEGRAZIONE DELLA VALUTAZIONE D'IMPATTO ACUSTICO*, Associazione Italiana di Acustica (2016).
- [54] C. Gustavino, *The Ideal Urban Soundscape: Investigating the Sound Quality of French Cities*, Acta Acustica united with Acustica (2006).
- [55] J. Guo, *The Assessment of Soundscape Quality in Urban Parks - A Case The Assessment of Soundscape Quality in Urban Parks - A Case Study in Penn Park*, Master of Environmental Studies Capstone Projects, 2019 (2019).

-
- [56] G. Brambilla, *THE POTENTIAL OF THE SOUNDSCAPE APPROACH FOR THE PROTECTION AND VALORIZATION OF THE RURAL LANDSCAPE*, *Rivista Italiana di Acustica* **39**, 1–12 (2015).
- [57] F. Aletta, C. Guattari, L. Evangelisti, F. Asdrubali, T. Oberman, and J. Kang, *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* **155**, 190–203 (2019).
- [58] International standard ISO. *Acoustics — Soundscape — Part 2: Data collection and reporting requirements*. Standard ISO/TS 12913-2:2018, International Organization for Standardization, (2018).
- [59] S. e. a. Mancini, *Soundwalk, Questionnaires and Noise Measurements in a University Campus: A Soundscape Study*, *Sustainability* **13**, 85–92 (2020).
- [60] J. Liu, J. Kang, H. Behm, and T. Luo, *Effects of landscape on soundscape perception: Soundwalks in city parks*, *Landscape and Urban Planning* **123**, 30–40 (2014).
- [61] B. Chitra, M. Jain, and F. A. Chundelli, *Understanding the soundscape environment of an urban park through landscape elements*, *Environmental Technology Innovation* **19**, 100998 (2020).
- [62] R. Pheasant, K. Horoshenkov, G. Watts, and B. Barrett, *The acoustic and visual factors influencing the construction of tranquil space in urban and rural environments tranquil spaces-quiet places?*, *The Journal of the Acoustical Society of America* **123**, 1446–57 (2008).
- [63] T. O. M. E. M. K. M. L. A. M. Jian KANG, Francesco ALETTA, *Towards soundscape indices*, *PROCEEDINGS of the 23rd International Congress on Acoustics* (2019).
- [64] T. Van Renterghem, K. Vanhecke, K. Filipan, K. Sun, T. De Pessemier, B. De Coensel, W. Joseph, and D. Botteldooren, *Interactive soundscape augmentation by natural sounds in a noise polluted urban park*, *Landscape and Urban Planning* **194**, 103705 (2020).
- [65] J. W. Smith and B. C. Pijanowski, *Human and policy dimensions of soundscape ecology*, *Global Environmental Change* **28**, 63–74 (2014).
- [66] J. L. Carles, I. L. Barrio, and J. V. de Lucio, *Sound influence on landscape values*, *Landscape and Urban Planning* **43**, 191–200 (1999).
- [67] M. Zhang and J. Kang, *Towards the Evaluation, Description, and Creation of Soundscapes in Urban Open Spaces*, *Environment and Planning B: Planning and Design* **34**, 68–86 (2007).
- [68] S. Di Loreto, F. Serpilli, and V. Lori, *Soundscape Approach in the Seaport of Ancona: A Case Study*, *Acoustics* **4**, 492–516 (2022).

- [69] *Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*. Recommendation Legge 14 novembre 1997, (1997).
- [70] H. MÄžller, *Fundamentals of binaural technology*, Applied Acoustics **36**, 171–218 (1992).
- [71] I. T. U. A. B. A. (NABA). *Parameter values for ultra-high definition television systems for production and international programme exchange*. Recommendation ITU-R BT.2020 (10/2015) 2020 (10/2015), International Telecommunication Union:North American Broadcasters Association (NABA), (2020).
- [72] J. Y. H. Jin Yong Jeon and P. J. Lee, *Understanding urban soundscape through soundscape composition*, *Internoise* **134**, 803–819 (2013).
- [73] S. S. Anugrah Sabdono SudarsonoJoko, *Soundwalk approach to identify urban soundscapes individually*, *The Journal of the Acoustical Society of America* (2020).
- [74] S. Marry and J. Defrance, *Analysis of the perception and representation of sonic public spaces through on site survey, acoustic indicators and in-depth interviews*, Applied Acoustics **74**, 282–292 (2013).
- [75] International Telecommunication ITU. *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems*. Recommendation ITU BS.1534-3 (10/2015), International Telecommunication Union, (2015).
- [76] F. J. M. Bingham, N. H., *Regression:Linear Models in Statistics*, Springer Undergraduate Mathematics Series (2010).
- [77] M. RychtÄřrikovÄř and G. Vermeir, *Soundscape categorization on the basis of objective acoustical parameters*, Applied Acoustics **74**, 240–247 (2013).
- [78] e. a. Hershey, Shawn, *CNN Architectures for Large-Scale Audio Classification*, IEEE International Conference on Acoustics , 131–35 (2017).
- [79] N. Bowman, *The articulation index and its application to room acoustics design*, *Journal of Sound and Vibration* **32**, 109–IN3 (1974).
- [80] R. M. Rehan, *The phonic identity of the city urban soundscape for sustainable spaces*, *HBRC Journal* **12**, 337–349 (2016).
- [81] H. I. Jo and J. Y. Jeon, *Effect of the appropriateness of sound environment on urban soundscape assessment*, *Building and Environment* **179**, 106975 (2020).