

# POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea in  
Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione**

Tesi di laurea

**Confronto tra valutazioni soggettive nella percezione del soundscape  
tra ambienti reali e loro riproduzioni in laboratorio**



**Relatrice**  
Prof.ssa Louena Shtrepi

**Candidato**  
Lorenzo Dell'Anna

Luglio 2025



# INDICE

Indice delle figure.....	V
Indice delle tabelle.....	VI
<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>1</b>
<b>1. NASCITA E SVILUPPO DEL CONCETTO DI SOUNDSCAPE: ANALISI E DISCUSSIONE DELLA LETTERATURA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. LO STANDARD SOUNDSCAPE: FONDAMENTI, METODI DI INDAGINE E ANALISI</b> .....	<b>8</b>
2.1: La normativa ISO 12913 .....	8
2.2: Parametri psicoacustici.....	12
2.2.1: Livello equivalente continuo .....	12
2.2.2: Loudness.....	14
2.2.3: Sharpness.....	15
2.2.4: Tonality.....	16
2.2.5: Roughness.....	17
2.2.6: Fluctuation Strength .....	17
2.3: Il protocollo SSID.....	18
2.3.1: Ambisonics .....	18
2.3.2: Equipaggiamento, formati raccomandati e tempi di acquisizione dati .....	20
2.4: Soundscape in laboratorio e validità ecologica.....	22
<b>3. LA RICERCA</b> .....	<b>27</b>
3.1: Introduzione all'esperienza.....	27
3.2: Esperimento in campo – Metodi.....	29
3.2.1: Ambienti .....	29
3.2.2: Partecipanti.....	30
3.2.3: Strumentazione .....	31
3.2.4: Questionario.....	33
3.2.5: Parametri psicoacustici misurati .....	36
3.3: Esperimento in campo – Analisi dei dati.....	38
3.3.1: Parametri psicoacustici .....	38
3.3.2: Parametri soggettivi: misura ed interpretazione .....	47
3.4: Esperimento in laboratorio - Metodi.....	54
3.4.1: Riproduzione degli ambienti: componente audio .....	55
3.4.2: Riproduzione degli ambienti: componente video .....	55
3.4.3: Partecipanti e svolgimento.....	56

3.4.4: Acquisizioni binaurali e calibrazione .....	56
3.5: Esperimento in laboratorio - Analisi dei dati e confronto con condizioni in situ .....	57
3.5.1: Parametri psicoacustici .....	57
3.5.2: Parametri soggettivi: misura, interpretazione e confronto con i risultati in situ .....	69
3.5.3: Analisi statistiche di confronto tra caso di laboratorio e caso in campo sui dati soggettivi.....	74
3.6: Estensione dell'analisi con un secondo gruppo di soggetti .....	76
3.6.1: Analisi statistiche di confronto tra i due gruppi di soggetti .....	78
<b>4. Discussione e CONCLUSIONI .....</b>	<b>82</b>
Bibliografia.....	84

# INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: R. Murray Schafer, The New Soundscape, pp. 6 .....	5
Figura 2: Elementi del costruito percettivo del soundscape, ISO 12913-1 .....	8
Figura 3: elementi del questionario soundscape (Metodo A), scale di valori e misure statistiche. ....	10
Figura 4: rappresentazione grafica delle formule (1) e (2). Fonte: ISO/TS 12913-3:2019 .....	11
Figura 5: curve di pesatura A, B, C e D.....	13
Figura 6: scala dei sone. Fonte: Fabrizio Ferrian / HEAD Acoustics.....	14
Figura 7: calcolo del parametro Tonality. Fonte: ECMA-418-2 .....	16
Figura 8: rappresentazione dei componenti Ambisonics in B-Format fino al terzo ordine .....	19
Figura 9: formati raccomandati per i singoli apparecchi dal protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020 .....	20
Figura 10: equipaggiamento raccomandato per il protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020 .....	20
Figura 11: timeline soundwalk del protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020 .....	21
Figura 12: il framework di validità ecologica basato su verisimilitudine e veridicità, proposto da Lu e Lau .....	25
Figura 13: il percorso della passeggiata sonora del 15 aprile 2025 .....	29
Figura 14: le fermate della soundwalk. a) Fante; b) Vittorio Emanuele; c) Giardini Sambuy; d) Piazza Bodoni ...	30
Figura 15: alcune immagini della strumentazione usata. a) Zylia ZM-1 (fonte: zylia.co); b) Head Acoustics HSU III.2, c) SQobold Head Acoustics (fonte: Head Acoustics); d) Insta360 One X2 (fonte: insta360.com); e) screenshot di Bidule.....	32
Figura 16: alcune foto della soundwalk del 15/04/2025. a), b) Fante, c) Vittorio Emanuele, d) Piazza Bodoni.....	35
Figura 17: parametri psicoacustici calcolati con ArtemiS e loro unità di misura; 1 casper = 0,01 asper .....	36
Figura 18: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata FANTE.....	36
Figura 19: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata VITTORIO EMANUELE.....	37
Figura 20: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata GIARDINI SAMBUY .....	37
Figura 21: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata PIAZZA BODONI.....	37
Figura 22: andamento del livello sonoro equivalente per ogni fermata della soundwalk.....	41
Figura 23: andamento della Loudness per ogni fermata della soundwalk .....	42
Figura 24: andamento della Sharpness per ogni fermata della soundwalk .....	42
Figura 25: andamento della Tonality per ogni fermata della soundwalk.....	43
Figura 26: confronto Sharpness vs Loudness per ogni fermata della soundwalk .....	44
Figura 27: confronto Sharpness vs Tonality per ogni fermata della soundwalk.....	44
Figura 28: correlogramma di Pearson, parametri psicoacustici continui (media canali L ed R) .....	45
Figura 29: correlogramma di Spearman, percentili dei parametri psicoacustici (media canali L ed R) .....	45
Figura 30: correlogramma di Pearson senza i dati di Giardini Sambuy (media canali L ed R).....	46
Figura 31: correlogramma di Spearman senza i dati di Giardini Sambuy (media canali L ed R) .....	46
Figura 32: categorie di suoni percepiti per fermata, in base al calcolo della mediana.....	47
Figura 33: radar plot cumulativo degli attributi PAQ per ogni fermata.....	47
Figura 34: scatter plot della fermata Vittorio Emanuele.....	48
Figura 35: ISO plot della fermata Vittorio Emanuele.....	49
Figura 36: density plot della fermata Vittorio Emanuele.....	49
Figura 37: joint plot della fermata Vittorio Emanuele.....	50
Figura 38: joint plot delle quattro fermate analizzate durante la soundwalk del 15/04/2025 .....	51
Figura 39: descrizione dell'ambiente sonoro.....	52
Figura 40: valutazione della situazione architettonica e urbanistica.....	53

Figura 41: valutazione dell'adeguatezza sonora al contesto .....	53
Figura 42: Audio Space Lab .....	54
Figura 43: calibrazione della testa artificiale in Audio Space Lab .....	56
Figura 44: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata FANTE (Laboratorio) .....	57
Figura 45: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata VITTORIO EMANUELE (Laboratorio) ..	57
Figura 46: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata GIARDINI SAMBUY (Laboratorio).....	58
Figura 47: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata PIAZZA BODONI (Laboratorio) .....	58
Figura 48: Sharpness vs Loudness per ogni fermata della soundwalk, confronto in campo-lab .....	65
Figura 49: Sharpness vs Tonality per ogni fermata della soundwalk, confronto in campo-lab .....	65
Figura 50: andamento del livello sonoro equivalente nella condizione di laboratorio .....	66
Figura 51: andamento della loudness nella condizione di laboratorio .....	66
Figura 52: correlogramma di Pearson, caso di laboratorio (media canali L ed R) .....	67
Figura 53: correlogramma di Spearman, caso di laboratorio (media canali L ed R) .....	67
Figura 54: categorie di suoni percepiti per fermata, in base al calcolo della mediana, caso in laboratorio .....	69
Figura 55: joint plot delle quattro fermate analizzate in laboratorio.....	70
Figura 56: plot comparativi tra le fermate, valutate in caso in situ e in caso laboratorio .....	71
Figura 57: descrizione dell'ambiente sonoro, confronto tra caso in situ e in laboratorio .....	73
Figura 58: valutazione della situazione architettonica e urbanistica, confronto tra caso in situ e in laboratorio.....	73
Figura 59: joint plot con unione dei risultati dei soggetti delle soundwalk di aprile e giugno .....	76
Figura 60: grafici comparativi tra soundwalk di aprile, soundwalk di giugno e caso di laboratorio .....	77

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: parametri psicoacustici richiesti dallo standard ISO 12913.....	11
Tabella 2: significatività statistica (indicata con triangolo nero) della generale qualità del soundscape e degli attributi relativi alla posizione della fonte sonora, rispetto al caso in situ. Fonte: Hong et al., 2019 .....	23
Tabella 3: metodo, strumentazione e modalità di fruizione dell'ambiente nello studio di Jo e Jeon (2019).....	24
Tabella 4: riassunto informativo di strumentazione e durata degli esperimenti .....	28
Tabella 5: strumentazione e metodi di registrazione .....	31
Tabella 6: componenti del questionario e, se presenti, le scale di valutazione (prima parte).....	33
Tabella 7: componenti del questionario e, se presenti, le scale di valutazione (seconda parte) .....	34
Tabella 8: livello equivalente A con rispettivi percentili e livello C, calcolati da ArtemiS per ogni fermata .....	38
Tabella 9: loudness, percentili e media cubica calcolati da ArtemiS per ogni fermata .....	39
Tabella 10: sharpness (con percentili) e tonality calcolati da ArtemiS per ogni fermata .....	40
Tabella 11: percentili di roughness e fluctuation strength calcolati da ArtemiS per ogni fermata; la roughness è espressa in centi-asper .....	41
Tabella 12: livello equivalente A con rispettivi percentili e livello C, calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO).....	59
Tabella 13: loudness, percentili e media cubica calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO) .....	60
Tabella 14: sharpness (con percentili) e tonality calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO) .....	61
Tabella 15: percentili di roughness e fluctuation strength calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO).....	62
Tabella 16: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata FANTE).....	62

Tabella 17: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata VITTORIO EMANUELE).....	63
Tabella 18: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata GIARDINI SAMBUY).....	63
Tabella 19: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata PIAZZA BODONI) .....	63

# INTRODUZIONE

L'obiettivo di questa tesi consiste nell'utilizzare il metodo soundscape di analisi di spazi sonori per valutare il paesaggio sonoro di quattro luoghi nella città di Torino, in due condizioni differenti: ascolto diretto in situ e riproposizione del soundscape del luogo in laboratorio.

-

Nella vita di tutti i giorni siamo abituati a dosare la nostra attenzione. La quantità di stimoli che ci circonda impone al nostro cervello delle priorità, in modo da evitare la saturazione, e alla base di questo fenomeno c'è una ragione profonda: la sopravvivenza. Per l'essere umano primitivo l'ambiente era una risorsa, ma anche e soprattutto un pericolo. Ciò che noi vediamo, sentiamo, percepiamo è il frutto di millenni di evoluzione che hanno portato a massimizzare le nostre possibilità di sopravvivenza in natura, permettendoci di costruire ciò che adesso siamo. Tuttavia, nonostante queste ragioni continuino a costituire le fondamenta più profonde della "macchina umana", esse sono state comunque influenzate, sebbene solo in parte, dallo sviluppo della civiltà. Questo è più evidente che mai nel mondo contemporaneo, dominato dagli onnipresenti media digitali. La stragrande maggioranza della comunicazione in questo momento storico si basa sul senso della vista, che consideriamo ora quello principale, di riferimento. Eppure non è sempre stato così, poiché la storia ci mostra che molti aspetti fondamentali delle civiltà del passato erano legati profondamente non alla vista, bensì al suono. Questo è evidente, ad esempio, qualora si dia una lettura ai testi sacri delle grandi religioni del pianeta, o ai miti della creazione: in ogni angolo del mondo il principio generatore della realtà è quasi sempre stato identificato in un fenomeno sonoro. Da ciò si può evincere che sebbene tuttora l'udito non sia considerato come il principale dei nostri sensi, l'importanza del suono all'interno della sfera sensoriale non può essere trascurata.

La presenza di un condizionamento culturale alla base della percezione dell'ambiente è interessante, perché ci mostra come uno spazio possa essere valutato in maniera differente a seguito di complesse concatenazioni di elementi, quali il contesto socioculturale di appartenenza del soggetto valutante, o la funzione dello spazio stesso. Espandendo il discorso, si può poi dire che, seppur in diversa misura, tutte le caratteristiche interne a un luogo e "fuori" dal luogo tendano ad influenzarne la fruizione e il giudizio; questo si ripercuote anche sulla sua componente sonora. Per molti decenni, la presunzione di poter migliorare la fruizione di uno spazio sonoro esclusivamente basandosi sul principio della riduzione del rumore ha trascurato, quando non proprio negato, la presenza di fattori ambientali e culturali degni di considerazione, elementi che vanno ad impattare a volte anche molto profondamente sulla percezione soggettiva. Ad ogni modo, già alla fine degli anni '60 del secolo scorso emersero delle perplessità in tal senso, grazie specialmente al compositore e scrittore Raymond Murray Schafer. Egli puntò l'attenzione non solo sull'importanza del suono nell'ambiente, ma anche sul modo complesso in cui il suono stesso viene percepito da un soggetto a seconda del contesto,

nonché sulle lacune proprie di alcune definizioni di parole d'uso comune, come quella di rumore. Inoltre, i suoi scritti contribuirono a evidenziare la presenza di un rapporto più profondo tra esseri umani e suoni, i quali possono essere fruiti e vissuti attribuendo loro un significato, anche profondo, legato alla sfera emotiva, e non per forza unicamente vincolato alla sopravvivenza nell'ambiente.

L'espressione "soundscape" venne dunque coniata così, al fine di descrivere il paesaggio sonoro e le complesse relazioni tra quest'ultimo e l'uomo. Essa resterà per molto tempo senza una definizione ben delineata, e sarà utilizzata indiscriminatamente in ambiti anche molto diversi tra loro, quali la psicologia, la musica, la realtà virtuale e l'acustica. Nell'ultimo decennio, tuttavia, abbiamo finalmente assistito ad uno sforzo collettivo per mettere ordine nel discorso attorno a questo concetto, con l'obiettivo di porre le basi per una metodologia di analisi di spazi sonori che non si limiti agli interventi sul rumore e sul generale livello di pressione sonora, ma che tenga anche in considerazione fattori che influiscono sulla percezione soggettiva dell'ambiente. Attualmente, la definizione in lingua inglese di soundscape è la seguente:

**“the acoustic environment as perceived or experienced and/or understood by a person or people, in context”**

Il contesto che viene citato è lo spazio in cui l'ambiente acustico esiste. Esso include le interrelazioni tra persone, attività e luogo, nello spazio e nel tempo, e può influenzare il soundscape attraverso la sensazione uditiva, l'interpretazione di tale sensazione e le risposte all'ambiente acustico. Il metodo standard per valutare il soundscape è stato individuato nella "*soundwalk*", traducibile in italiano come "passeggiata sonora". Essa prevede un percorso a tappe, nelle quali vengono raccolti sia i dati oggettivi ricavabili da uno spazio (dati acustici e ambientali, descrittori psicoacustici) sia quelli soggettivi, relativi alla percezione individuale. Questi ultimi vengono quantificati tramite un questionario e mappati su otto specifici descrittori, a due a due contrapposti. Mettendo in relazione questi dati, si arriva dunque ad un profilo sonoro generale dello spazio, il quale offre un quadro molto più completo e comprensivo di aspetti che fino a poco tempo fa non erano particolarmente tenuti in considerazione.

In seguito alla formalizzazione del metodo di indagine, ulteriori sviluppi si sono dedicati, negli ultimi anni, alla riproposizione dell'analisi soundscape in contesti e modi differenti, come nel caso di ambienti ricreati in laboratorio a scopo di ricerca. Situazioni di questo tipo hanno sottoposto nuove questioni da vagliare, riguardanti il modo tramite cui riprodurre gli stimoli ambientali e l'individuazione delle condizioni di validità ecologica di tali esperimenti. Numerosi articoli provenienti da diverse parti del mondo hanno indagato questi aspetti in vari modi, ma vi sono ancora temi che potrebbero essere approfonditi, come ad esempio le possibili correlazioni tra parametri

oggettivi e risposte soggettive, o l'influenza del contesto culturale all'interno di queste valutazioni. Ad ogni modo, allo stato attuale della ricerca, la raccolta di dati validati sul confronto tra analisi soundscape svolte dal vivo ed in laboratorio risulta comunque rilevante, specialmente sul territorio italiano.

In questa ricerca verranno considerati e approfonditi i due temi appena citati, comparando i risultati ottenuti da soggetti coinvolti in una *soundwalk* svolta a Torino nel mese di aprile 2025 con quelli ricavati da una riproposizione dello stesso percorso, con gli stessi partecipanti, nel laboratorio Audio Space Lab del Politecnico di Torino. I dati soggettivi verranno poi confrontati e aggregati a quelli ottenuti da un secondo gruppo di soggetti, raccolti negli stessi ambienti in esame. Verranno infine espresse eventuali considerazioni relative all'influenza della resa acustica del laboratorio e di fattori psicologici e culturali sulla percezione del soundscape per i partecipanti allo studio.

Nel capitolo 1 verranno trattati la storia e l'evoluzione del concetto di soundscape, mediante un'analisi critica della letteratura.

Nel capitolo 2 verranno discussi i fondamenti e i metodi correntemente applicati nello standard soundscape di analisi di spazi sonori, esponendo i contenuti della norma ISO 12913, dei dati richiesti da tale norma e di uno specifico protocollo (SSID Protocol), proposto per delineare con ancora più accuratezza il metodo soundscape. Sempre in questo capitolo verranno riassunti i requisiti di validità ecologica per il metodo soundscape proposti attualmente in letteratura, con l'analisi più dettagliata di alcuni casi studio.

Nel capitolo 3 verrà approfondita la ricerca effettuata, i suoi metodi e le analisi svolte sui dati ottenuti nelle due condizioni in esame e tra i due gruppi di soggetti. Verranno analizzati e correlati tra loro i dati psicoacustici ottenuti, e saranno svolte specifiche analisi statistiche al fine di trovare eventuali differenze significative sorte nella valutazione percettiva nei differenti *setting* per il primo gruppo (in situ e in laboratorio) e nell'ascolto solo in situ tra i due gruppi.

Nel capitolo 4, una discussione generale sui risultati ottenuti e le relative conclusioni chiuderà il lavoro.

# 1.

## NASCITA E SVILUPPO DEL CONCETTO DI SOUNDSCAPE: ANALISI E DISCUSSIONE DELLA LETTERATURA

Il concetto di *soundscape*, traducibile in italiano come “paesaggio sonoro” è, come già detto, multiforme. Derivata dall’inglese *landscape*, la parola *soundscape* è utilizzata in moltissimi ambiti, da quello musicale a quello psicologico, passando per le applicazioni nel campo della realtà virtuale e della ricerca in campo sanitario. Il termine appare in letteratura scientifica verso la fine degli anni ’60, coniato dall’urbanista Michael Southworth nell’articolo *The Sonic Environment of Cities*; in questa ricerca, il *soundscape* viene pionieristicamente definito come “*the quality and type of sounds and their arrangements in space and time*” [1]. Tramite tale definizione e muovendosi lungo un percorso prestabilito nella città di Boston, l’autore mirava a studiare la percezione del paesaggio sonoro con l’obiettivo di sviluppare delle tecniche ed un linguaggio specifici, utilizzabili per delinearlo e misurarlo. L’articolo anticipava sorprendentemente alcune delle caratteristiche che il concetto di *soundscape* farà proprie in futuro, come l’interdipendenza tra tale percezione e il contesto in cui l’individuo è immerso nella valutazione di un *soundscape*; tuttavia, a causa delle limitazioni tecnologiche dell’epoca e di un approccio prevalentemente descrittivo alla raccolta dei dati, la ricerca di Southworth risultava carente nel visualizzare informazioni quantificabili che potessero offrire parametri di analisi attendibili sul paesaggio sonoro e sulla fruizione dello stesso da parte dei soggetti. Le difficoltà metodologiche riguardavano sia le variabili oggettive raccolte e misurate, sia le risposte soggettive fornite dai partecipanti all’indagine. Per quanto riguarda le prime, l’unico strumento adoperato per ottenere un profilo acustico dello spazio preso in considerazione fu un fonometro, con analisi in bande di ottava del livello di pressione sonora dell’ambiente. Furono effettuate delle prove di registrazione, ma queste si rivelarono fallimentari, poiché riuscirono a catturare con sufficiente attendibilità solo suoni molto intensi o particolarmente vicini al registratore portatile utilizzato. Nell’analisi non comparivano inoltre approfondimenti sui descrittori psicoacustici, anche a motivo dell’ovvia mancanza, al tempo, di software appositi per l’elaborazione di tali dati. Per quanto riguarda le risposte soggettive, esse si limitarono a raccogliere le descrizioni qualitative dei suoni fornite dai partecipanti e la loro occorrenza. La necessità di ottenere risposte il più possibile precise condizionò la scelta dei soggetti, che fu ristretta a persone competenti (tecnici, ricercatori e docenti) ed artisti, campione poco rappresentativo delle persone comuni. Vennero esaminate le occorrenze di fonti sonore ed elementi visuali specifici lungo il percorso in oggetto, con una semplice catalogazione quantitativa e descrittiva degli stessi. Questi problemi metodologici verranno in futuro affrontati con molta attenzione, e progressivamente risolti e standardizzati nell’ottica di un’analisi rigorosa e olistica degli spazi sonori. Ciononostante, il lavoro di Southworth si pone come un punto di partenza fondamentale per tutto il discorso che seguirà sul concetto di paesaggio sonoro, e che presto amplierà enormemente il significato associato alla parola *soundscape*.

Il termine verrà infatti ripreso appena un anno più tardi dal compositore e scrittore canadese Raymond Murray Schafer. I suoi dettagliati e sorprendenti scritti testimoniano quanto tra la fine degli anni '60 e l'inizio degli anni '70 stesse iniziando ad affermarsi una sensibilità nuova, che finalmente considerava come componente chiave del vivere quotidiano anche lo spazio sonoro. Quest'ultimo era in effetti in rapida evoluzione: nel mondo occidentale, conseguentemente al boom economico del decennio precedente, emergevano in maniera prepotente sempre più suoni, legati specialmente all'avanzamento tecnologico. Le auto crescevano in numero, i macchinari per l'edilizia colonizzavano le città, altoparlanti e amplificatori si diffondevano nelle case, con un inesorabile aumento generale dell'intensità sonora, specialmente nei grandi centri abitati. L'ambiente, pieno di suoni prodotti dall'uomo, lasciava sempre meno spazio al silenzio e ai suoni della natura. In quegli anni, Schafer è una delle figure più sensibili a questa evoluzione. Dalla Simon Fraser University di Vancouver, dove insegnava, lancia a fine anni '60 il *World Soundscape Project*, un progetto di ricerca internazionale che si prefigurava l'obiettivo di "trovare soluzioni per un soundscape ecologicamente bilanciato, in cui le relazioni tra la comunità umana e il suo ambiente sonoro siano in armonia" [2]. Da queste premesse nascono i primi due scritti: *The New Soundscape* e *The Book of Noise*, entrambi pubblicati nel 1968.

In *The New Soundscape*, Schafer lega a doppio filo il paesaggio sonoro all'essere umano, il quale viene definito come il suo compositore. Il booklet, estremamente affascinante nel suo spaziare tra acustica, musica e sezioni dal carattere quasi filosofico, approfondisce e sviscera come mai prima di allora il tema del soundscape, fornendo nuove prospettive anche sulla definizione di rumore. Particolarmente interessante risulta essere il secondo capitolo, dedicato all'ambiente sonoro. In esso, Schafer descrive un esperimento svolto con i suoi studenti nel quale, tramite uno studio comparativo effettuato su documenti storici quali dipinti, racconti, fotografie o descrizioni di eventi, venne stilato un ipotetico profilo dei suoni da essi estrapolabili. Tale profilo fu poi confrontato con varie osservazioni degli studenti stessi sul panorama sonoro in aree urbane di Vancouver. Emersero da ciò due importanti considerazioni: la prima consistette in una classificazione elementare delle componenti base di un soundscape, il quale consterebbe di suoni di origine naturale, di origine artificiale e prodotti dagli strumenti tecnologici dell'essere umano; la seconda evidenziò invece come sia proprio quest'ultima categoria ad essere, nel corso della storia, sempre più presente all'interno del paesaggio sonoro (fig. 1).

	Natural Sounds	Human Sounds	The Sounds of Tools and Technology
Primitive Cultures	69%	26%	5%
Medieval, Renaissance and Pre-Industrial Cultures	34%	52%	14%
Post-Industrial Cultures	9%	25%	66%

Figura 1: R. Murray Schafer, *The New Soundscape*, pp. 6

Pur considerata poco approfondita dall'autore stesso, questa categorizzazione si è dimostrata in realtà attendibile, tanto che le categorie individuate per distinguere l'origine delle fonti sonore sono tuttora utilizzate nel metodo soundscape per l'analisi di spazi sonori (ISO 12913-2, 2014). Oltretutto, questo approccio di indagine rimarrà poi rilevante: numerosi articoli scientifici, nei decenni successivi, si baseranno su documenti storici per delineare il soundscape di particolari epoche e culture.

La conclusione più importante alla quale Schafer giunge da queste premesse riguarda il pericolo della scomparsa del silenzio. Il canadese sottolinea come il “diritto inalienabile alla quiete” fosse, fino all'arrivo dell'età industriale, un qualcosa di fondamentale per l'essere umano, e che anche all'interno delle rumorose città fossero comunque presenti dei “santuari” a preservare il silenzio, come chiese e biblioteche. Questo era possibile, secondo l'autore, anche grazie ad un ambiente con un basso livello generale di intensità sonora; al contrario, la tendenza ad avere spazi sempre più invasi dal rumore porterebbe ai suoi occhi alla scomparsa di tali luoghi. È a questo punto che Schafer affronta il concetto stesso di rumore, puntando i riflettori su quanto questa parola indichi qualcosa di diverso a seconda della soggettività di ogni essere umano. Ciò che è rumore per qualcuno può non esserlo per qualcun altro; inoltre, definendo il rumore esclusivamente come “parte del segnale che non contiene informazione” si rischia di non considerare come rumori alcuni suoni che nella cultura popolare sono tradizionalmente associati alla parola stessa. Per un meccanico, ad esempio, il sordo gracchiare del motore di un'auto è un rumore o piuttosto un segnale contenente un'informazione ben precisa?

Queste osservazioni, nella loro natura relativistica, si legano saldamente a ciò che la definizione di Soundscape standardizzerà molto più avanti negli anni, più specificatamente all'importanza attribuita ai contesti in cui i suoni sono vissuti e all'individuo che vive tali suoni, attribuendo loro un significato. “*Noise is any unwanted sound*” [3], conclude Schafer, una conclusione logica quanto lasca, ma che rappresenta la realtà soggettiva con accuratezza. Schafer continuerà a lavorare su questi concetti, rielaborandoli e perfezionandoli nel suo libro *The tuning of the world* (1977). In questo scritto, il compositore canadese espande ulteriormente la sua analisi del paesaggio sonoro, identificandone tre principali elementi: toniche (**keynote sounds**), segnali (**sound signals**) e impronte sonore (**soundmarks**) [4], rispettivamente suoni, anche non uditi coscientemente, che evidenziano il “carattere” di un determinato luogo con la loro stabilità, suoni uditi coscientemente ed in primo piano, che attirano l'attenzione, e suoni caratteristici di un'area specifica. Si pensi al mercato di Porta Palazzo a Torino: potremmo identificare come una tonica il costante traffico di piazza della Repubblica e corso Regina Margherita, come segnali i diversi suoni intrusivi causati dai macchinari dei commercianti (un clacson, l'allarme di un'auto), e come impronta sonora il suono del campanile della Basilica Mauriziana, o il vociare dei negozianti nelle mattine di mercato. È evidente che una tale stratificazione si basi su differenze non solo spaziali o di prossimità, ma anche affettive, indicando che la relazione in gioco tra gli elementi di un paesaggio sonoro e la percezione dello stesso è ben più complessa rispetto a quanto si possa pensare.

Sebbene *The tuning of the world* venga tuttora ricordato come il suo scritto più importante, le considerazioni di Schafer verranno portate avanti in letteratura negli anni immediatamente successivi perlopiù in Canada [5], da autori legati al *World Soundscape Project* ed alla Simon Fraser University, mostrando una certa difficoltà ad attecchire nel resto del mondo. Il concetto di soundscape inizia a diventare sfuggente, e la parola stessa troverà utilizzi in campi disparati. In musica, ad esempio, il compositore Luc Ferrari sarà considerato il pioniere della cosiddetta *soundscape composition*, termine coniato dal compositore Barry Truax tra la fine degli anni '90 e l'inizio degli anni 2000 per identificare una forma di musica elettroacustica caratterizzata dalla presenza di suoni e contesti ambientali ben riconoscibili, utilizzati per suscitare nell'ascoltatore associazioni, emozioni ed immagini mentali relative ad un paesaggio sonoro [6]. Tale tecnica compositiva, basata su principi rigorosi, è una delle derive semantiche più importanti che ha coinvolto il termine "soundscape", il quale si è nel tempo evoluto indipendentemente nella forma di un generico aggettivo indicante non solo un ambiente acustico più o meno specifico, ma anche un'atmosfera creata da o tramite suoni.

Negli anni '90 il termine verrà ripreso in Giappone con un'accezione più tecnica, legata all'urbanistica e all'analisi e progettazione di spazi. Sono queste tra le prime occasioni in cui si può osservare il tentativo di standardizzare il discorso attorno al paesaggio sonoro dal punto di vista architettonico e ingegneristico, approccio che verrà seguito sempre di più con l'arrivo del nuovo millennio in Europa [7–9], Italia inclusa [10]. Proprio in questi anni, il termine soundscape appare associato al nome di Jian Kang [11,12], ora considerato una delle figure di spicco in questo ambito di ricerca, e autore di alcuni tra gli articoli scientifici più importanti in assoluto per l'analisi soundscape e per la sua standardizzazione.

## 2.

# LO STANDARD SOUNDSCAPE: FONDAMENTI, METODI DI INDAGINE E ANALISI

## 2.1: La normativa ISO 12913

Nel 2014, con la stesura e l'approvazione della normativa ISO 12913-1, sono stati fissati i principi alla base dell'analisi soundscape. La normativa raccoglie e chiarisce l'eredità di quasi cinquant'anni di discorso sul paesaggio sonoro, contribuendo alla transizione, tutt'ora in corso, da un'idea di qualità sonora basata esclusivamente sull'abbattimento del rumore ad una nuova concezione multidisciplinare e olistica, che tiene ora conto della percezione soggettiva e di fattori culturali e affettivi. La definizione di soundscape è così fissata: ***“l'ambiente acustico percepito o vissuto e/o compreso da una o più persone, nel contesto”***. Tale contesto include le “interrelazioni tra persona, attività e luogo, nello spazio e nel tempo”, e può influenzare il soundscape attraverso la *sensazione uditiva* (funzione di processi neurologici all'arrivo dello stimolo uditivo all'orecchio), *l'interpretazione di tale sensazione* (consucia e inconscia, legata alla percezione) e le *risposte* all'ambiente acustico, ovvero reazioni, emozioni e comportamenti che possono cambiare la percezione del contesto nel suo insieme. È importante notare che da queste definizioni emerge una considerazione importante: il soundscape non è un sinonimo di *ambiente acustico fisico*, corrispondente invece al solo suono proveniente da tutte le fonti sonore, modificato dall'ambiente. Questo è sì un elemento nel costruito percettivo del soundscape, ma non ne costituisce l'interezza, né è sufficiente considerarlo isolatamente per un'analisi esaustiva delle variabili in gioco.

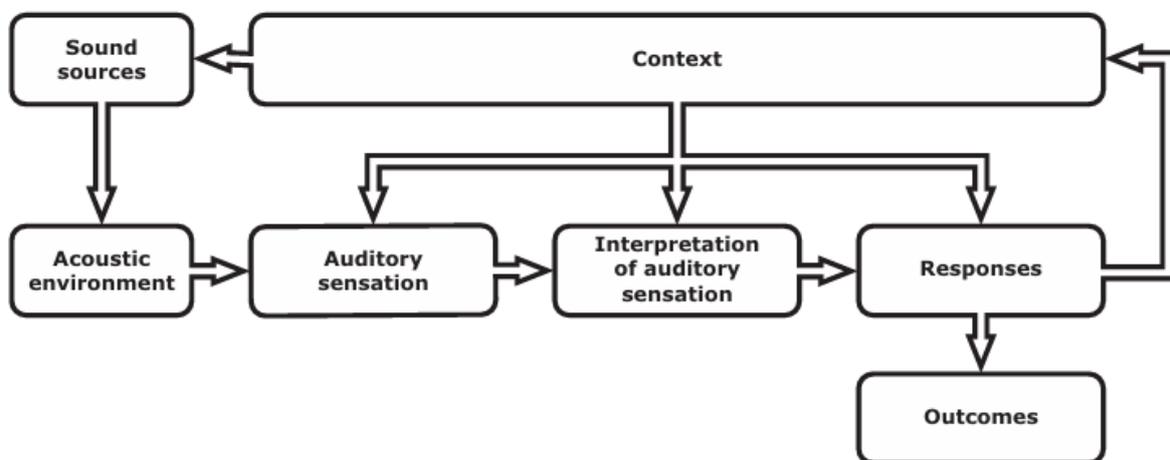


Figura 2: Elementi del costrutto percettivo del soundscape, ISO 12913-1

Dalle risposte al contesto derivano infine i *risultati (outcomes)*, conseguenze a lungo termine facilitate o attivate dall'ambiente acustico. La normativa prende come esempio la presenza di una ipotetica fontana all'interno di un parco urbano, che col suo suono vada a mascherare il traffico delle strade vicine. In tale situazione, questo suono potrebbe tanto generare piacere per una persona seduta nei pressi della fontana quanto disturbo per un'altra che si trovi a passeggiare nel parco, arrivando magari da un'area più quieta. In entrambi i casi l'aspetto percettivo entra in gioco notevolmente, sebbene in direzioni opposte, generando conseguenze anche molto differenti all'interno di uno stesso ambiente acustico.

Due anni più tardi, l'articolo *Ten questions on the soundscapes of the built environment* [13] evidenzierà metodi e applicazioni di tali concetti all'ambiente urbano costruito, ponendo l'attenzione sulle modalità di misura del soundscape e della sua percezione. Rappresentare il soundscape con accuratezza è in effetti fondamentale, permette non solo un'osservazione dello stato delle cose, ma anche e soprattutto la possibilità di formulare ipotesi, trovare correlazioni ed elaborare strategie adatte ad agire sui problemi, proponendo eventuali miglioramenti per uno spazio. Gli autori affermano a questo proposito che i tre passi fondamentali per una corretta applicazione del metodo soundscape consistono nel definire il carattere acustico di un luogo, pianificare le *feature* fisiche dell'ambiente in funzione di un obiettivo acustico ed infine dedicarsi al design o all'ottimizzazione dell'ambiente stesso. Per questo motivo sarebbe auspicabile che la considerazione del soundscape arrivasse il prima possibile nella pianificazione di un progetto, sebbene al momento nei fatti questo accada ancora molto poco. [14]

La seconda (2018-08) e la terza (2019-12) parte della normativa ISO 12913-1 si focalizzano rispettivamente sulla collezione dei dati del soundscape e sull'analisi dei dati stessi. Perché una analisi di questo tipo sia attendibile è necessario integrare a misurazioni oggettive dell'ambiente acustico le percezioni soggettive di gruppi di soggetti, coerentemente misurate e messe in relazione tra loro. Per far ciò, il metodo principale è costituito dalla **soundwalk** (passeggiata sonora), consistente in un percorso all'interno dell'ambiente preso in considerazione, svolto da un gruppo di soggetti partecipanti. Essi hanno il compito di ascoltare attivamente il paesaggio sonoro presente in determinate tappe nel percorso, esprimendo metodicamente le proprie sensazioni a riguardo tramite un questionario, previo esplicito consenso alla raccolta dati. Lo standard ISO prevede l'esistenza di tre diverse tipologie di questionari: il metodo A, basato su risposte chiuse e scale a cinque punti con livello di misurazione ordinale; il metodo B, costruito sull'alternanza di scale continue unipolari a cinque punti e raccolte di commenti a seguito di alcune domande a risposta aperta; il metodo C, che si serve di una *intervista narrativa*. Questi tre metodi sono applicati a seconda dell'esigenza di profondità nella mappatura del soundscape; ognuno offre infatti risultati progressivamente più dettagliati e adatti a rendere quantificabile l'ampio spettro percettivo di un paesaggio sonoro.

Il metodo A è la tipologia di questionario più applicata al momento, e permette di ottenere informazioni sull'identificazione delle fonti sonore, sulla qualità affettiva percepita e sulla valutazione sia dell'ambiente sonoro circostante che dell'appropriatezza di tale ambiente al contesto generale. Ad ognuna di queste categorie vengono assegnate scale di valori a cinque punti, con opportune misurazioni aggiuntive dell'indice di posizione e della dispersione.

Part (see ISO/TS 12913-2)	Scale values to be assigned	Measure of central tendency	Measure of dispersion
<b>1 (sound source identification)</b>	1, 2, 3, 4, 5	median	range
<b>2 (perceived affective quality)</b>	5, 4, 3, 2, 1	median	range
<b>3 (assessment of surrounding sound environment)</b>	5, 4, 3, 2, 1	median	range
<b>4 (assessment of the appropriateness)</b>	1, 2, 3, 4, 5	median	range

Figura 3: elementi del questionario soundscape (Metodo A), scale di valori e misure statistiche.

Tra queste categorie, quella fondamentale è la seconda. La qualità affettiva percepita di un ambiente sonoro viene mappata su un modello bidimensionale basato sulla contrapposizione, a due a due, di otto specifici descrittori, in italiano tradotti come segue: *dinamico (eventful)*, *vivace (vibrant)*, *piacevole (pleasant)*, *calmo (calm)*, *statico (uneventful)*, *monotono (monotonous)*, *sgradevole (annoying)*, *caotico (chaotic)* [15]. Ai soggetti viene richiesto di dare un valore a ciascuno di questi descrittori, valore che viene successivamente utilizzato per mappare questa indicazione percettiva su due dimensioni (piacevolezza/pleasantness e quantità di eventi/eventfulness), per ogni fermata. Le coordinate della pleasantness sono tracciate sull'asse X, quelle dell'eventfulness sull'asse Y. Ciascuna coordinata viene calcolata tramite una specifica formula, che utilizza i valori associati a ciascun descrittore, opportunamente pesati.

In particolare, la coordinata di **Pleasantness**  $P$  è calcolata con la formula (1):

$$P = (p - a) + \cos 45^\circ \cdot (ca - ch) + \cos 45^\circ \cdot (v - m) \quad (1)$$

La coordinata di **Eventfulness**  $E$  è invece calcolata con la formula (2):

$$E = (e - u) + \cos 45^\circ \cdot (ch - ca) + \cos 45^\circ \cdot (v - m) \quad (2)$$

- $a$  è **annoying** (disturbante)
- $ca$  è **calm** (calmo)
- $ch$  è **chaotic** (caotico)
- $e$  è **eventful** (dinamico)
- $m$  è **monotonous** (monotono)
- $p$  è **pleasant** (piacevole)
- $u$  è **uneventful** (statico)
- $v$  è **vibrant** (vivace)

Il range delle coordinate risultante dalle formule è pari a  $\pm 9,66$ . Per arrivare ad un range di  $\pm 1$  è necessario dividere i risultati per il fattore  $(4 + \sqrt{32})$ .

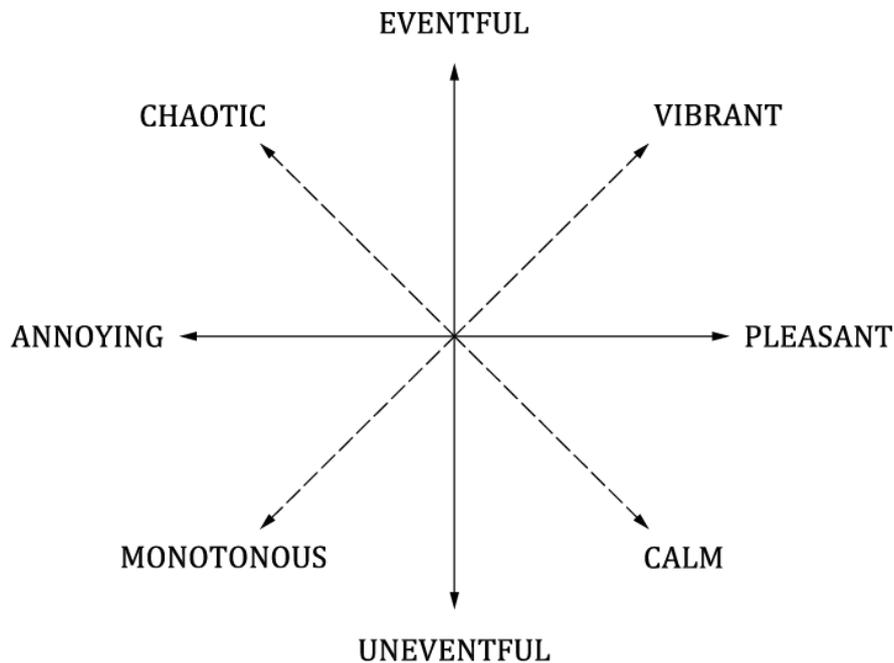


Figura 4: rappresentazione grafica delle formule (1) e (2). Fonte: ISO/TS 12913-3:2019

Per l'analisi dei dati oggettivi dell'ambiente acustico, la soundwalk prevede delle sessioni di registrazione in formato binaurale, di una durata consigliata di circa tre minuti. Da tali sessioni è possibile ottenere i parametri psicoacustici utili a definire una quantificazione dell'impatto acustico sull'ascoltatore. Seppur non offrendo una mappatura della percezione dei soggetti, tali parametri permettono di determinare eventuali relazioni tra le caratteristiche di un ambiente acustico e le percezioni di un fruitore, nonché di riprodurre con accuratezza tale ambiente nel dettaglio, mantenendo le informazioni spaziali tra le fonti sonore. Le misurazioni binaurali sono effettuate su due segnali per volta, rappresentativi dell'orecchio sinistro e destro di un ascoltatore umano. Le metriche vengono successivamente calcolate considerando il più alto valore risultante da un ascolto binaurale in entrambi i canali; per determinati parametri sono poi considerati, per una maggiore precisione, le medie aritmetiche e diversi valori percentili, adatti a fornire informazioni sulla loro variazione nel tempo. Vengono considerati i seguenti parametri:

<b>Livello equivalente continuo</b> ( $L_{Aeq,T}$ , $L_{Ceq,T}$ , $L_{AF5,T}$ , $L_{AF95,T}$ ) (ISO 1996-1)	<b>Tonality</b> (T) (ECMA 74)
<b>Loudness</b> ( $N_5$ , $N_{average}$ , $N_{rmc}$ , $N_{95}$ , $\frac{N_5}{N_{95}}$ ) (ISO 532-1)	<b>Roughness</b> ( $R_{10}$ , $R_{50}$ )
<b>Sharpness</b> ( $S_5$ , $S_{average}$ , $S_{95}$ ) (DIN 45692)	<b>Fluctuation Strength</b> ( $F_{10}$ , $F_{50}$ )

Tabella 1: parametri psicoacustici richiesti dallo standard ISO 12913

## 2.2: Parametri psicoacustici

### 2.2.1: LIVELLO EQUIVALENTE CONTINUO

Il livello di pressione sonora indica la pressione sonora efficace di un'onda sonora, misurata logaritmicamente rispetto ad una pressione di riferimento, ed è di base espresso dalla formula:

$$L_p = 10 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right)^2 = 20 \log \left( \frac{p}{p_{ref}} \right) \quad (3)$$

È una grandezza espressa in decibel (dB). Comunemente, la pressione di riferimento considerata corrisponde alla soglia di udibilità dell'orecchio umano ( $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ ).

Tuttavia, la grandezza che viene utilizzata nell'ambito di misure che valutino suoni variabili nel tempo è il **livello sonoro equivalente continuo**, corrispondente alla media integrata del livello di pressione sonora, calcolata in un determinato intervallo di tempo.

$$L_{eq} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2}{p_{ref}^2} dt \right] \quad (4)$$

Tale quantità viene solitamente riferita ad una pressione sonora ponderata. L'orecchio umano, infatti, riceve a parità di livello sonoro sensazioni diverse per frequenze diverse. La conseguenza di queste osservazioni, sorte già negli anni Trenta dai diagrammi di uguale intensità sonora ricavati sperimentalmente da Harvey Fletcher e Wilden A. Munson, è una correzione effettuata allo spettro di un suono analizzato, col fine di ottenere un valore coerente con la risposta umana. La normativa prevede l'utilizzo della pesatura A e della pesatura C; la pesatura A corrisponde alla risposta equivalente dell'orecchio ai 40 dB SPL per una frequenza di 1000 Hz, ed è attualmente lo standard utilizzato nella misurazione del livello equivalente continuo, indicato con  $L_{Aeq}$ . Tale grandezza è considerata secondo la definizione della norma ISO 1996-1:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} [dB] \quad (5)$$

Nella (5),  $p_A(t)$  corrisponde alla pressione sonora istantanea pesata con la curva A al tempo  $t$ , con valore  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

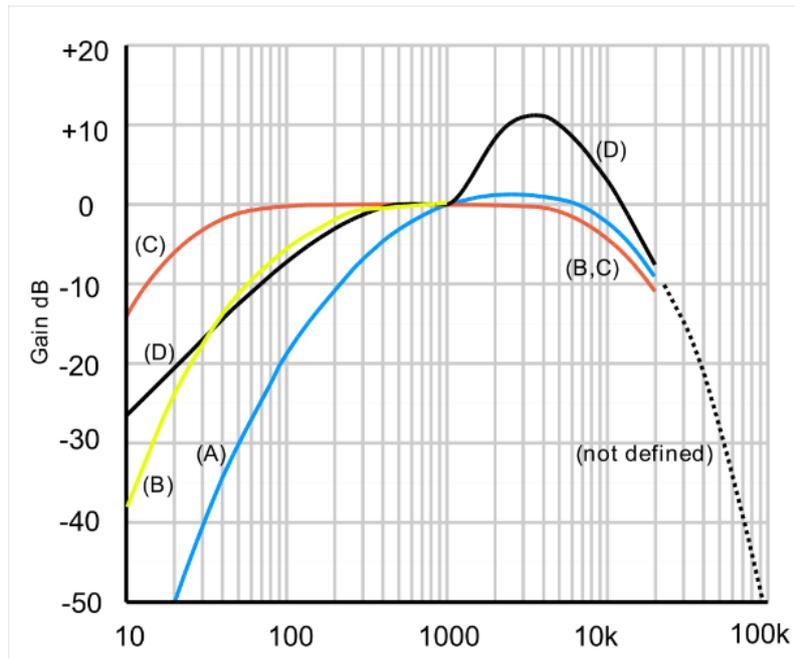


Figura 5: curve di pesatura A, B, C e D

La pesatura C (fig. 5) viene tenuta comunque in considerazione, anche se è oramai in disuso. Corrisponde all'inverso della curva isofonica dei 100 phon, è più adatta a descrivere l'effetto di suoni con livello superiore agli 80 dB ed offre maggiori informazioni sulle basse frequenze. Nella normativa viene oltretutto tenuto conto dei valori di superamento di determinate soglie per l'evoluzione nel tempo di  $L_{Aeq,T}$  ( $L_{AF5,T}$ ,  $L_{AF95,T}$ ), ovvero i valori di livello superati rispettivamente nel 5% e nel 95% dell'intervallo di tempo; viene richiesto il time-weighting F (fast), per misurare fedelmente segnali dalla natura poco impulsiva.

## 2.2.2: LOUDNESS

La **loudness** è la grandezza che descrive la percezione soggettiva della pressione sonora. È descritta nella norma ISO 532-1 come “la magnitudo percepita di un suono, la quale dipende dalle proprietà acustiche del suono e dalle condizioni specifiche di ascolto, stimate da *persone otologicamente normali*”. Queste ultime vengono definite come persone in normale stato di salute, prive di qualsiasi segno o sintomo di patologie dell’orecchio e di cerume ostruente i canali uditivi, senza episodi pregressi di esposizione prolungata a rumore, droghe ototossiche o perdita dell’udito in famiglia.

Nello standard soundscape, la loudness è espressa in *sone*; un sone equivale alla loudness di un suono con un livello di sensazione sonora pari a 40 phon. Il valore della loudness dipende primariamente dal livello di pressione sonora, ma anche da frequenza, forma d’onda e larghezza di banda di un’onda sonora, oltre che dalla durata del suono. Viene calcolata seguendo un modello predittivo.

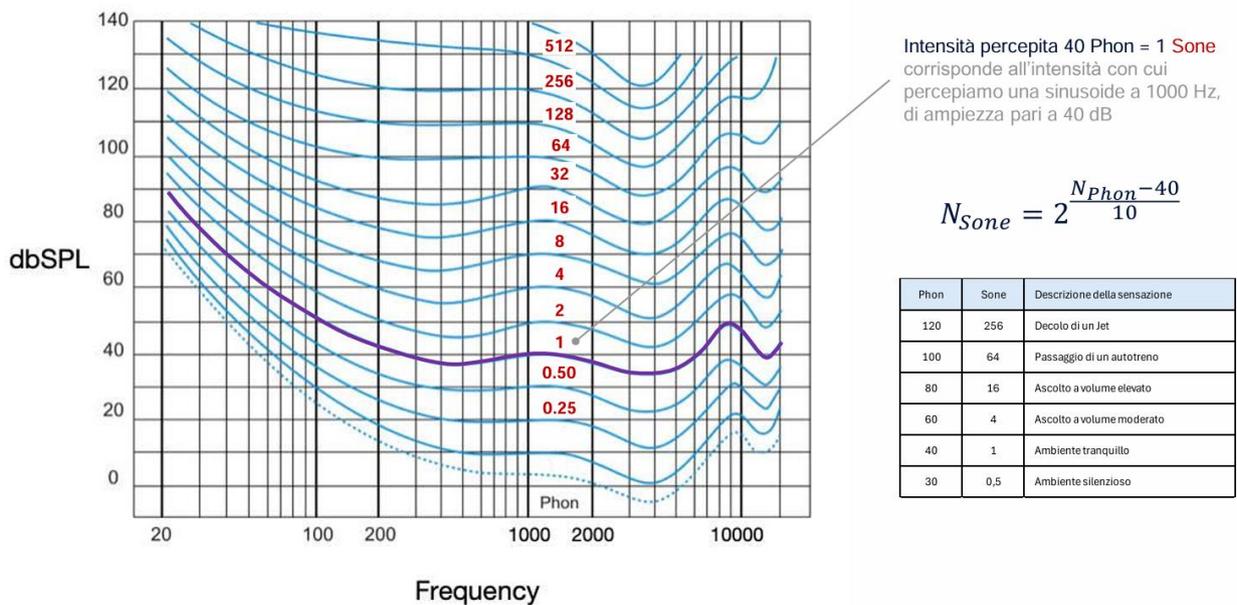


Figura 6: scala dei sone. Fonte: Fabrizio Ferrian / HEAD Acoustics

Per lo standard dell’analisi soundscape vengono considerate la loudness media ( $N_{average}$ ), il suo valore efficace ( $N_{rme}$ ), il suo quinto e novantacinquesimo percentile e il rapporto tra questi ultimi ( $N_5$ ,  $N_{95}$ ,  $\frac{N_5}{N_{95}}$ ).

### 2.2.3: SHARPNESS

La **sharpness** è una grandezza psicoacustica che descrive una porzione di alte frequenze in un suono. Più uno spettro contiene alte frequenze, più generalmente risulta meno gradevole da ascoltare, ed è quindi avvertito come più “tagliente”. L’unità di misura utilizzata è l’*acum*. Un acum è definito come un rumore con larghezza di banda pari a quella della banda critica (160 Hz), con una frequenza centrale di 1 kHz e un livello di pressione sonora di 60 dB [16]. I principali fattori che influenzano la sharpness di un suono includono il suo contenuto spettrale, la sua frequenza centrale e la sua larghezza di banda.

È qui utile specificare il concetto di banda critica, definito come un intervallo di frequenze all’interno del quale non è possibile percepire come distinti due toni puri simultanei. La gamma delle frequenze udibili è divisa approssimativamente in 24 regioni basate sulle bande critiche, anche note come Bark; questi intervalli corrispondono fisicamente a delle divisioni della membrana basilare dell’orecchio interno.

La scala dei Bark è una scala di misura utile ad analizzare i parametri psicoacustici loudness e sharpness, poiché permette di relazionarsi alla frequenza abbandonando la scala degli Hz; essa varia da 1 a 24 Barks.

Il modello di Zwicker per il calcolo della sharpness, considerato nella normativa DIN45692, è espresso nella formula seguente:

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' g(z) z dz}{\int_0^{24 \text{ Bark}} N' dz} [\text{acum}] \quad (6)$$

Dove  $N'$  è la loudness specifica espressa in sone e  $g(z)$  rappresenta una funzione di pesatura, espressa dalla formula:

$$g(z) = \begin{cases} 1 & \text{per } z \leq 15.8 \text{ Bark} \\ 0.15e^{0.42(z-15.8)} + 0.85 & \text{per } z > 15.8 \text{ Bark} \end{cases} \quad (7)$$

Per lo standard soundscape viene considerata la sharpness media ( $S_{\text{average}}$ ) e il suo quinto e novantacinquesimo percentile ( $S_5, S_{95}$ ).

## 2.2.4: TONALITY

La **tonality** è una grandezza psicoacustica correlata alla percezione di componenti tonali all'interno di un suono complesso. Essa determina quanto tali componenti siano identificabili e distinte all'interno di un suono. La ECMA International ha proposto un indicatore per la tonality nel suo standard ECMA 74, ulteriormente rifinito nell'ECMA-418-2, basato sul principio della “*partial loudness*” applicata alle componenti tonali del rumore. La partial loudness corrisponde alla loudness di un suono qualora sia presentato assieme a del rumore di mascheramento, rispetto al suono stesso presentato in condizione di quiete. Per calcolare la tonality, viene considerata la partial loudness del contenuto tonale, la quale viene calcolata tramite un modello uditivo e successivamente ulteriormente filtrata per ottenere i valori di tonality.

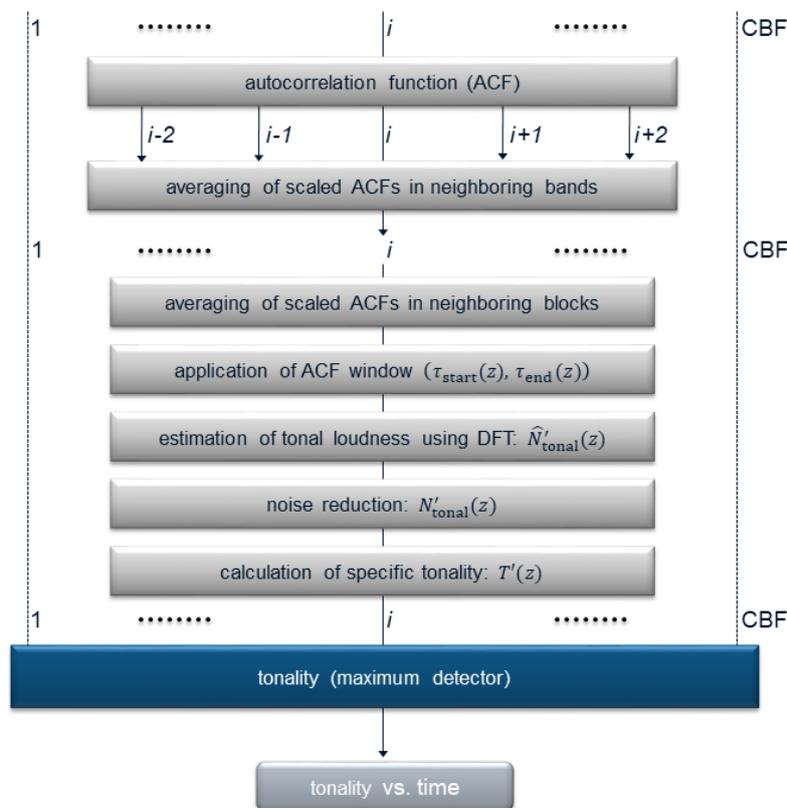


Figura 7: calcolo del parametro Tonality. Fonte: ECMA-418-2

L'unità di misura della tonality è il  $\text{tu}_{\text{HMS}}$  (tonality unit – Hearing Model of Sottek). Un  $\text{tu}_{\text{HMS}}$  corrisponde alla tonality di un tono a 1 kHz con una pressione sonora di 40 Db SPL in condizioni di quiete. Un valore di 0  $\text{tu}_{\text{HMS}}$  indica l'assenza di contenuto tonale.

## 2.2.5: ROUGHNESS

Il parametro psicoacustico **roughness** (“ruvidità”) valuta la sensazione causata da una rapida modulazione di ampiezza all’interno delle bande critiche. Essa può essere causata da battimenti o da una modulazione del segnale, e raggiunge un volume massimo per una frequenza di modulazione pari a 70 Hz; al di sopra di tale frequenza, tende a diminuire.

La sua unità di misura è l’*asper*. Un *asper* corrisponde ad un tono puro di frequenza 1 kHz e pressione pari a 60 dB, al 100% dell’ampiezza di modulazione, con frequenza di modulazione di 70 Hz.

## 2.2.6: FLUCTUATION STRENGTH

Dal fenomeno di modulazione d’ampiezza deriva anche l’ultimo parametro in oggetto per lo standard soundscape, ovvero la **fluctuation strength**. A differenza della roughness, si parla di fluctuation strength qualora la modulazione di ampiezza all’interno delle bande critiche sia lenta. Il valore massimo si raggiunge per modulazioni pari a 4 Hz, mentre la percezione di fluttuazione si annulla per modulazioni superiori ai 20-30 Hz.

L’unità di misura di questa grandezza è il *vacil*. Un *vacil* corrisponde ad un tono puro di frequenza 1 kHz e pressione pari a 60 dB, al 100% dell’ampiezza di modulazione, con frequenza di modulazione di 4 Hz.

Per questi ultimi due parametri, lo standard soundscape considera il decimo ed il cinquantesimo percentile ( $R_{10}$ ,  $R_{50}$ ,  $F_{10}$ ,  $F_{50}$ ).

## 2.3: Il protocollo SSID

In aggiunta alle indicazioni della normativa ISO 12913-1, è stato stilato nel 2020 un protocollo più specifico per l'analisi soundscape in contesti urbani chiamato **SSID Protocol** [17], il quale formalizza ulteriormente i metodi di indagine ed acquisizione dei dati all'interno di una soundwalk.

### 2.3.1: AMBISONICS

Oltre alla misura dei parametri psicoacustici, viene consigliato di implementare l'acquisizione omnidirezionale del panorama visivo e sonoro: per il video occorre utilizzare camere 360 ad alta risoluzione (4 K, o 5.1 K), mentre il suono viene registrato in formato **Ambisonics** [18]. Questo formato, di tipo *surround full-sphere*, nasce negli anni '70 nel Regno Unito come un'estensione tridimensionale della tecnica di registrazione stereo M/S (Mid/Side), alla quale vengono aggiunte le informazioni di altezza e profondità. Un microfono Ambisonics registra in un formato raw denominato A-Format, dipendente dalle specifiche capsule microfoniche che costituiscono l'apparecchio. Il segnale viene quindi trasformato in formato B-Format, che attualmente costituisce lo standard per la rappresentazione Ambisonics. Tale formato può avere diversa risoluzione a seconda del numero di capsule, e dunque di canali audio acquisiti; si parla di First Order Ambisonics (FOA) nel caso di quattro canali. Un *encoder* Ambisonics riceve un segnale  $S$  e i due parametri di angolo ( $\theta$ ) ed elevazione ( $\varphi$ ) relativi alla fonte sonora. Il segnale viene redistribuito secondo l'angolo desiderato con guadagni differenti. Nel caso FOA, abbiamo la seguente distribuzione:

$$W = S \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$X = S \cdot \cos \theta \cos \varphi$$

$$Y = S \cdot \sin \theta \cos \varphi$$

$$Z = S \cdot \sin \theta$$

Il canale  $W$  è omnidirezionale, mentre  $X$ ,  $Y$  e  $Z$  riproducono il diagramma polare di un microfono bidirezionale.  $W$  è attenuato di circa 3 dB (specificatamente per un fattore pari a  $\sqrt{2}$ ). [19]

La risoluzione dell'Ambisonics del primo ordine è comunque non abbastanza elevata per gestire una informazione spaziale dettagliata. Sebbene sia accettata ai fini dell'analisi soundscape, è consigliato utilizzare microfoni di ordine maggiore, come del secondo (2OA, 9 canali) o del terzo ordine (3OA, 16 canali).

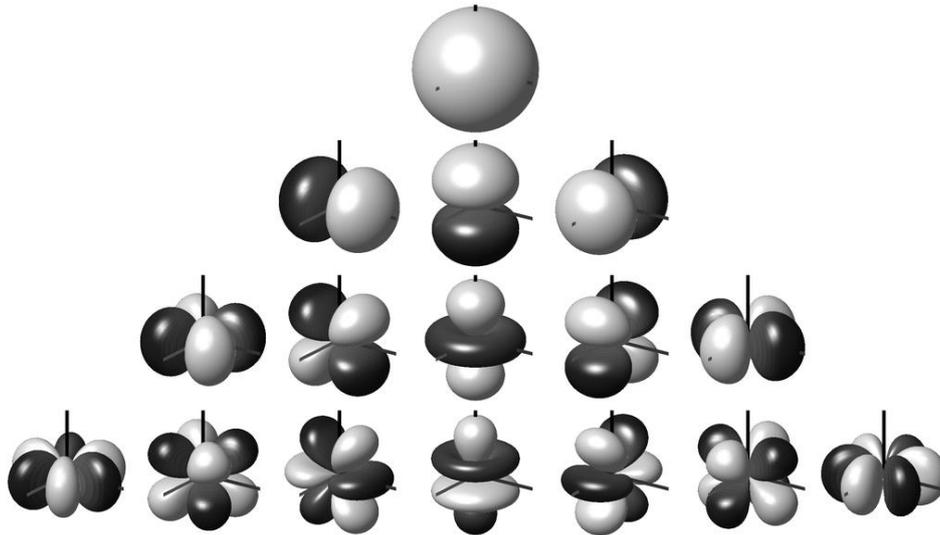


Figura 8: rappresentazione dei componenti Ambisonics in B-Format fino al terzo ordine

## 2.3.2: EQUIPAGGIAMENTO, FORMATI RACCOMANDATI E TEMPI DI ACQUISIZIONE DATI

Il protocollo SSID raccomanda oltretutto l'utilizzo di un fonometro, di dispositivi volti all'acquisizione di metriche ambientali e di un calibratore per i sistemi microfonic, nonché di schermature per il vento da applicare ai microfoni utilizzati.

Equipment	Requirements
Tripod stand	With add-on hooks/holders for AMB microphone, SLM, environmental meter(s) and 360° camera with suitable suspension for microphones
360° camera	4 K, 5.1 K or better resolution video, with suitable battery life and optional remote control
Spatial audio/Ambisonics (AMB) microphone system	Min. quality should be First-order Ambisonics (FOA) capability, however systems which achieve higher-order ambisonics would be preferred where available.
Multi-channel field recorder	Min. inputs to accommodate output from AMB microphone
Windshield(s) for AMB and SLM microphones	This can be a single large windshield which can accommodate both microphones or separate windscreens for each microphone
Sound Level Meter (SLM)	class 1 (preferred) or class 2 with omnidirectional pattern measurement microphone
Binaural recording system	Portable, worn by the researcher or with a mounted binaural head
Sound calibrator for SLM, AMB microphones and binaural system	According to IEC 60942: 2017 Electroacoustics—Sound calibrators [42]
Environmental meter(s)	See Table 3 for the recommended metrics
Tablets and/or printed questionnaires	Internet connectivity or offline app to submit the questionnaires on site

Figura 9: equipaggiamento raccomandato per il protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020

Factor Category	Category Code	Factors Collected	Protocol Stage	Measurement Duration
Spatial Audio	AMB	Ambisonics A format 44.1 kHz, 24 bit resolution Min. first-order ambisonics (FOA)	Recording Stage	15 min
360° Video	VID	4K, 5.1K or better resolution video	Recording Stage	15 minutes
360° Photos	PIC	4K, 5.1K or better resolution still photos	Questionnaire Stage	Captured with each GroupID
Binaural Audio	BIN	Binaural audio recording Note down the corresponding GroupID in recording metadata	Questionnaire Stage	30 s of clean audio captured with each GroupID
Sound Level Meter Acoustic Data * and Audio	SLM	Acoustic data: (a) 1-second logging period (b) $L_{Aeq}$ , $L_{AFmax}$ , 1/3 <sup>rd</sup> Octave Band $L_{Aeq}$ , Octave Band $L_{Aeq}$ , Full statistics, and Full Spectral Statistics  Recording: (a) .wav audio recordings (b) 44.1 kHz, 24 bit resolution	Both	Span of survey (approx. 3–4 h)
Environmental Data **	ENV	10-second logging period: (a) Temperature (°C) (b) Lighting Intensity, Lux (LI) (c) Air quality (CO <sub>2</sub> ) (d) Relative Humidity (RH) (e) Dew Point (°C)	Both	Span of survey (approx. 3–4 h)
Questionnaires	QUE	SSID Questionnaire given in Appendix C  Additional data: (a) GroupID for each group of participants (b) SessionID (c) Start and End time for each participant (if electronic) or each	Questionnaire Stage	On average, questionnaires last 5–10 min per GroupID

Figura 10: formati raccomandati per i singoli apparecchi dal protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020

Il protocollo SSID consiglia oltretutto una sequenza temporale per l'acquisizione dei dati. Tale frequenza è divisa in due fasi: la fase di registrazione (circa 15 minuti) e la fase di compilazione dei questionari (2-5 ore). Nella prima fase vengono effettuate le acquisizioni video, Ambisonics, ambientali e dei livelli di pressione sonora tramite fonometro. Nella seconda fase, i partecipanti alla soundwalk sono condotti attraverso il percorso designato. Per ogni tappa vengono registrati 30 secondi di audio binaurale; l'acquisizione tramite fonometro e dei dati ambientali è prevista continuamente fino alla fine della passeggiata sonora.

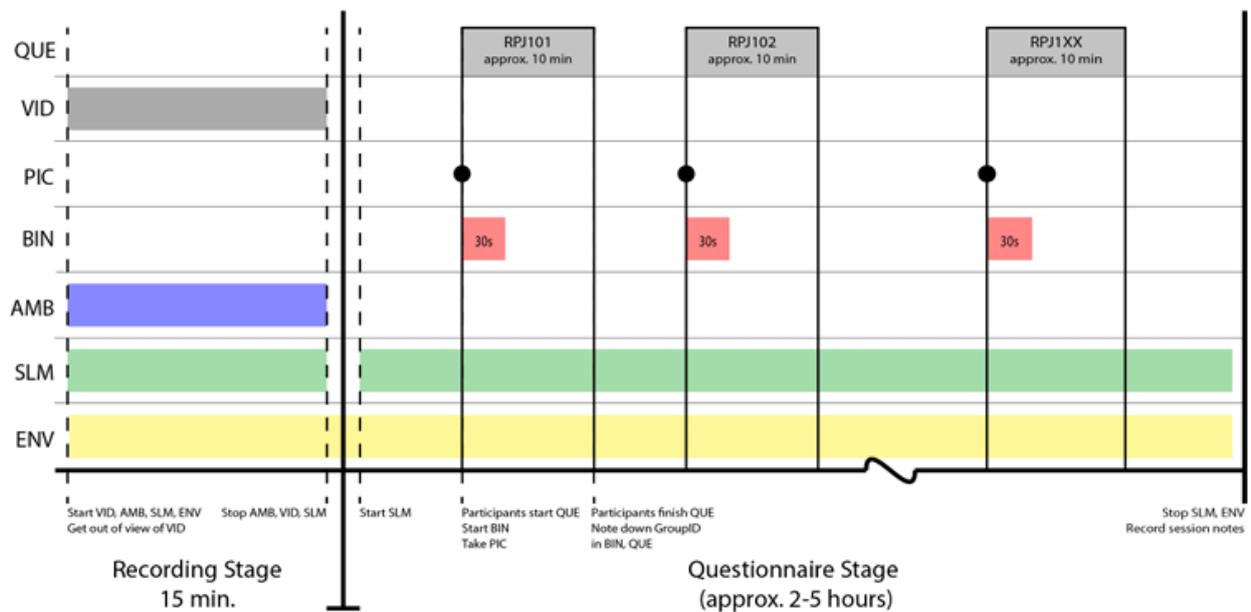


Figura 11: timeline soundwalk del protocollo SSID. Fonte: Mitchell et al., 2020

## 2.4: Soundscape in laboratorio e validità ecologica

Nell'appendice F della terza parte della normativa ISO 12913 è discussa la possibilità di studi in laboratorio sul soundscape. È qui posta l'attenzione sulla necessità di stabilire quanto i risultati provenienti da queste indagini possano essere limitati in termini di validità ecologica, tema di fondamentale importanza per l'ambito della psicologia ambientale.

Per validità ecologica si intende la possibilità di estendere i risultati di determinate ricerche, svolte in laboratorio ad alto livello di *constraints*<sup>1</sup>, anche al mondo reale [20–23]. È chiaro che in uno studio articolato come quello del soundscape, la riproduzione accurata di un paesaggio in laboratorio, sia esso visivo o sonoro, costituisca una sfida per la ricerca, nonostante l'ampio controllo delle variabili in gioco. La natura complessa delle situazioni da riprodurre porta inevitabilmente tali indagini nell'ambito dei *quasi-esperimenti*, nel quale non è possibile tenere sotto controllo fino in fondo tutte le eventuali fonti di inquinamento dei dati. All'atto pratico, queste possono constare, ad esempio, nell'influenza della memoria nei soggetti partecipanti: il sistema uditivo umano può rilevare piccole differenze sonore basandosi sulla memoria a breve termine, ma perde la sua efficacia nel caso in cui l'evento da ricordare sia molto lontano nel tempo, condizione che causa all'individuo una maggiore dipendenza dalle caratteristiche e dai pattern dei suoni presentati. Anche la durata degli esperimenti è un fattore cruciale: per garantire una sufficiente immersività è necessario presentare suoni sufficientemente lunghi.

Negli ultimi anni sono numerosi gli studi che in letteratura hanno affrontato il tema della validità ecologica nei vari esperimenti sul soundscape effettuati in laboratorio. Questa è ormai generalmente considerata sufficientemente alta perché gli esiti di tali indagini siano attendibili, specialmente adoperando tecniche di riproduzione audio come quella Ambisonics [24–26].

Uno studio pionieristico in tal senso è stato quello di **Guastavino et al.** (2004) [24], il quale ha confermato che nella riproduzione tramite altoparlanti di audio in formato Ambisonics del primo ordine (FOA) gli aspetti semantici dell'esperienza del paesaggio sonoro risultano comparabili tra valutazione in situ e in laboratorio. Tale studio ha visto condurre interviste a soggetti in ambienti reali; l'audio di questi ultimi è stato registrato e poi riproposto in laboratorio seguendo la stessa metodologia. Tuttavia, questo approccio legato allo studio di aspetti semantici e cognitivi necessitava di essere ridiscusso e ricontestualizzato alla luce dei nuovi sviluppi che il campo dell'analisi soundscape ha costruito negli anni a venire.

Nello studio di **Davies et. al** «*Soundscape reproduction and synthesis*» (2014) [25], lo studio di Guastavino et al. viene ripreso come punto di partenza per l'esplorazione delle dimensioni percettive del soundscape teorizzate da Jian Kang nel 2007 [27]. L'obiettivo dello studio consisteva nella riproduzione delle dimensioni trovate da Kang in campo, ma in un'altra città, in condizioni di

---

<sup>1</sup> Regole o accorgimenti che il ricercatore mette in atto per controllare le variabili di disturbo della situazione di ricerca [23]

laboratorio e in assenza di stimolo visivo. Mediante la riproduzione FOA di registrazioni effettuate tramite microfono soundfield in quattro ambienti urbani nella città di Manchester, i quindici soggetti partecipanti hanno confermato i risultati ottenuti da Kang: le loro percezioni sono risultate essere in linea con l'esperimento di confronto; è stato poi affermato che tale riproduzione in laboratorio si è dimostrata robusta anche per l'analisi di più luoghi sequenzialmente.

In altri esperimenti eseguiti in assenza totale della componente video è tuttavia emersa una significativa alterazione nella risposta percettiva dei soggetti, specialmente per quanto riguarda la sensazione di piacevolezza del soundscape [28]. La presenza di numerosi metodi e strumenti utilizzabili per la riproduzione dell'ambiente visivo, da video 360 a modelli 3D, dai monitor piatti ai visori Head-Mounted Display (HMD), ha reso necessario un approfondimento relativo alla possibilità di utilizzo di specifiche apparecchiature per il supporto video, che possano garantire maggiore immersività ai soggetti coinvolti nella valutazione di un soundscape in laboratorio, con conseguente miglioramento dell'attendibilità della loro risposta percettiva.

Nel 2019, uno studio di **Hong et al.** [29] ha ampliato i risultati di Davies et al. indagando con l'ausilio della realtà virtuale (VR) sulla solidità di tre modalità di riproduzioni audio, tutte frutto di un *down-mix* di registrazioni FOA: audio in cuffia in formato binaurale statico (FOA-static binaural), audio in cuffia in formato binaurale con tracciamento dei movimenti della testa (FOA-tracked binaural) e riproduzione con array di altoparlanti in due dimensioni (FOA-2D speaker array). I risultati dello studio hanno evidenziato l'assenza di differenze significative tra i tre sistemi di riproduzione acustica nell'ambito della qualità generale del soundscape (dominanza delle fonti sonore, qualità affettiva del soundscape); tuttavia, differenze significative sono emerse nella percezione legata a distanza, direttività e distintività della fonte sonora, specialmente per la riproduzione FOA-static binaural; l'array è stato percepito come il metodo di riproduzione migliore, pur risentendo di una non perfetta resa delle distanze delle fonti sonore. Il fatto che non vi siano differenze significative per ciò che concerne la qualità del soundscape percepita ha confermato, secondo lo studio, la validità dei visori HMD come strumento affidabile per la valutazione del soundscape in alternativa alla raccolta di dati soggettivi in situ, conferma già emersa in altri studi [30–32].

Subjective attributes	Acoustic reproduction methods		
	FOA-static binaural	FOA-tracked binaural	FOA-2D octagonal array
Overall soundscape quality			
• Dominance of sound sources	○	○	○
• Affective quality of soundscape	○	○	○
Source-related spatial attributes			
• Distance	▲	▲	▲
• Directivity	▲	○	○
• Width	○	○	○
• Distinctiveness	▲	○	○

Tabella 2: significatività statistica (indicata con triangolo nero) della generale qualità del soundscape e degli attributi relativi alla posizione della fonte sonora, rispetto al caso in situ. Fonte: Hong et al., 2019

Due anni dopo, **Jo e Jeon** hanno valutato l'effetto di differenti apparecchi per la riproduzione visiva sulla percezione di ambienti urbani [33], considerando determinante il grado di fedeltà dell'ambiente riprodotto in laboratorio. Il loro studio ha analizzato otto ambienti urbani, inizialmente registrando il paesaggio visivo e sonoro e poi riproponendo l'ambiente in contesto VR.

La tabella 3 riassume il metodo, la strumentazione e le modalità di fruizione dell'ambiente presentati dallo studio.

Obiettivo, ambienti e partecipanti	Strumentazione Audio/Video	Strumentazione riproduzione VR	Modalità di fruizione dell'ambiente
<p>Confronto tra metodi di riproduzione di ambienti in VR</p> <p>N=8 luoghi</p> <p>N'=40 soggetti</p>	<p>Microfono Ambisonics FOA (Soundfield SPS200)</p> <p>Registratore portatile (MixPre 6)</p> <p>Microfono di calibrazione SPL (GRAS 46AE)</p> <p>Misuratore portatile di livello sonoro (Rion AS-70)</p> <p>Camera 360 a sei canali (Insta360 Pro)</p>	<p>Cuffie Sennheiser HD-650</p> <p>Interfaccia audio (Presonus AudioBox 1818VSL)</p> <p>Interfaccia programmazione audio spazializzato (Google VR API)</p> <p>Software game engine (Unity)</p> <p>Software di conversione Ambisonics A-Format/B-Format</p> <p>Simulatore testa-torso Brüel &amp; Kjær Type 4100 per registrazione suono stereo dalle cuffie per calibrazione SPL</p> <p>Software per calibrazione SPL (Audition)</p>	<p><b>Monitor:</b></p> <p>i partecipanti, indossando le cuffie, osservavano l'ambiente davanti ad uno schermo, spostandosi con il mouse per esplorarlo.</p> <p><b>Visore HMD:</b></p> <p>i partecipanti, indossando le cuffie, muovevano fisicamente il corpo per esplorare l'ambiente.</p>

Tabella 3: metodo, strumentazione e modalità di fruizione dell'ambiente nello studio di Jo e Jeon (2019)

È stato così dimostrato che i visori HMD per la realtà virtuale permettono una migliore valutazione sensoriale degli spazi urbani simulati rispetto ai monitor, e che vi sono concreti benefici nella presenza spaziale dei soggetti adoperando tali strumenti. Per contrasto, i monitor si sono comunque dimostrati efficaci nel generare maggiore consapevolezza del contesto urbano, ed è comunque emerso che la percezione degli elementi audio-visuali, il responso alle emozioni positive e negative e la stessa consapevolezza generale del contesto urbano sono variati a seconda degli ambienti visuali presentati. Questo studio conclude quindi che monitor e visori HMD possiedono entrambi dei vantaggi e degli svantaggi, più o meno complementari, ai fini dell'utilizzo per la valutazione del soundscape.

**Lu e Lau** hanno offerto un notevole contributo per la formalizzazione di uno standard di validità ecologica per le applicazioni dell'analisi soundscape in VR. La loro ricerca ha esplorato in questi anni gli approcci di verisimilitudine e veridicità, corrispondenti rispettivamente alla “somiglianza tra i compiti richiesti dal test e i compiti imposti dall'ambiente quotidiano” e al “grado secondo il quale i test esistenti sono correlati empiricamente alla misura del funzionamento del mondo reale” [34]. Nel 2025, l'articolo «*Examining the ecological validity of VR experiments in soundscape and landscape research*» [35] ha investigato l'influenza sulla validità ecologica delle tecniche di auralizzazione, visualizzazione e human-computer interaction (HCI). Riguardo l'auralizzazione, è stato sottolineato ancora una volta il significativo alto grado di validità ecologica offerto dal formato Ambisonics, specialmente rispetto alla riproduzione monoaurale; a prescindere dal metodo di riproduzione, i risultati hanno indicato che un aggiustamento di -8 dB sul guadagno dell'audio riprodotto potrebbe ottimizzare ulteriormente tale validità ecologica. Per quanto concerne la visualizzazione, il video 3D ha mostrato livelli di verisimilitudine più alti; nonostante ciò, anche la modellazione 3D ha mostrato del potenziale, specialmente se coadiuvata da audio Ambisonics. Infine, la possibilità di effettuare “camminate virtuali” (muoversi camminando nell'ambiente VR) ha significativamente aumentato la validità ecologica in termini di HCI – c'è comunque da tener conto che altri studi hanno dimostrato una maggiore efficacia della riproposizione diretta di riprese sul campo rispetto a quella di VR e realtà aumentata (AR) [28]. Lu e Lau hanno oltretutto proposto un framework specifico per la valutazione della validità ecologica negli esperimenti sul soundscape, tramite una meta-analisi effettuata su 45 studi [36]. Nel concreto, è emerso che l'approccio di veridicità si dimostra più funzionale alla creazione nell'analisi soundscape di uno standard per la verifica delle condizioni di validità ecologica, e che quest'ultima aumenta con l'utilizzo del formato Ambisonics per la riproduzione sonora e dei display HMD (visori) per quella video. Il framework proposto dai due autori è illustrato in figura 12.

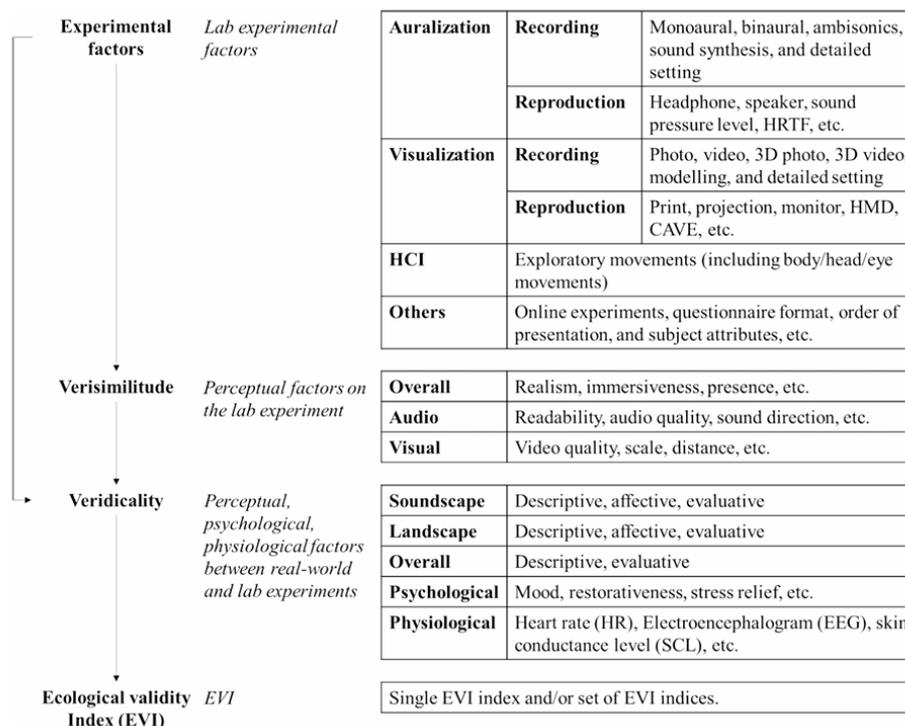


Figura 12: il framework di validità ecologica basato su verisimilitudine e veridicità, proposto da Lu e Lau

Nel framework proposto, gli autori identificano un percorso diretto che possa indirizzare eventuali futuri lavori sulla ricerca soundscape in ambito VR: il passaggio dalle possibilità sperimentali, legate alle apparecchiature e alle procedure di laboratorio, alla verisimilitudine si ottiene considerando alcuni importanti fattori percettivi influenti sull'esperimento, come la qualità dell'audio e la sua direzionalità, o la scala e distanza del video. L'arrivo a condizioni di veridicità comporta invece un salto più ampio, nel quale gli esperimenti in laboratorio diventano correlabili a quelli in situ anche su scale più profonde (affettività, stress relief, etc.).

## 3. LA RICERCA

### 3.1: Introduzione all'esperimento

In seguito all'analisi sullo stato dell'arte relativo all'ambito di ricerca del soundscape, lo scopo di questa tesi è quello di acquisire nuovi e ulteriori dati relativi al confronto tra analisi soundscape sul campo e in laboratorio, specificatamente riferiti al contesto culturale italiano. È infatti dimostrato che la valutazione soggettiva del paesaggio sonoro si mostra differente a seconda della cultura di appartenenza [37]. Per quanto riguarda il caso italiano, sono state rilevate alcune peculiarità nella valutazione di situazioni ambientali a carattere emotigeno rispetto ai contesti anglosassoni [38,39].

A partire dalle considerazioni sopra citate, il lavoro si propone di rispondere a due principali domande:

- 1) Tra i parametri psicoacustici in esame, è possibile osservare una correlazione diretta con i cambiamenti della risposta percettiva in laboratorio?
- 2) Cosa emerge dal confronto tra un'analisi soundscape in situ ed una sua riproposizione in laboratorio, specificatamente nel contesto italiano?

La strumentazione e i metodi d'indagine di questa tesi sono stati considerati coerentemente con quanto emerso nelle ricerche relative ai requisiti minimi di validità ecologica per l'analisi soundscape. Per migliorare ulteriormente questo aspetto si è deciso di investire sull'immersività, funzionale al raggiungimento della condizione di veridicità. Per questo motivo, l'acquisizione e la riproduzione audio sono state gestite mediante microfoni e altoparlanti in grado di supportare il formato Ambisonics del terzo ordine, mentre la componente visiva ha utilizzato video 360 direttamente acquisiti in situ per la riproduzione in laboratorio tramite visore HMD, in modo da replicare il più fedelmente possibile l'esperimento sul campo; tutto questo è stato reso possibile dalla configurazione e dalla strumentazione offerta dall'Audio Space Lab del Politecnico di Torino.

La ricerca è stata articolata in tre principali fasi: esperimento in campo, esperimento in laboratorio e confronto tra rilevazioni in campo.

Nella prima fase, un gruppo di 15 soggetti ha partecipato ad una soundwalk svolta in ambiente urbano nel mese di aprile 2025 a Torino, valutando tramite questionario, come previsto dallo standard soundscape, quattro luoghi differenti; in tutti e quattro i luoghi sono state effettuate acquisizioni audio in formato binaurale ed Ambisonics del terzo ordine, e acquisizioni video tramite camera 360.

Nella seconda fase, i soggetti hanno nuovamente partecipato ad un esperimento di valutazione tramite questionario dello stesso paesaggio sonoro, questa volta eseguito in laboratorio. Le quattro fermate sono state riproposte sia nel loro contenuto visivo, tramite visore HMD, sia nel loro contenuto sonoro, riproducendo l'audio acquisito in Ambisonics durante la prima fase della ricerca tramite l'array di altoparlanti presente in Audio Space Lab. Anche in questo caso sono state effettuate acquisizioni audio in formato binaurale, per determinare eventuali differenze a livello psicoacustico nella riproduzione dell'audio delle fermate.

Nella terza fase sono state confrontate le valutazioni percettive ottenute tramite questionario di un secondo gruppo di soggetti, i quali hanno partecipato ad una nuova soundwalk svoltasi a Torino nel mese di giugno, lungo lo stesso percorso della passeggiata sonora precedente.

Per determinare statisticamente eventuali differenze significative sono stati svolti test di Wilcoxon e t di Student per campioni appaiati (confronto intra-gruppo tra caso in situ e in laboratorio) e test di Kruskal-Wallis (confronto tra i due gruppi, sia tra le due condizioni in situ che tra condizioni in laboratorio per il primo e in campo per il secondo).

Le informazioni sulla tipologia della strumentazione utilizzata e sulla durata delle prime due fasi dell'esperimento sono riassunte nella tabella 4.

<b>Fase</b>	<b>Strumentazione audio</b>	<b>Strumentazione video</b>	<b>Durata</b>
In campo	<p>Testa artificiale per acquisizione binaurale</p> <p>Microfono Ambisonics per acquisizione audio immersivo</p> <p>Fonometro per informazioni sui livelli di pressione sonora</p>	Camera 360	<p>Per ogni fermata, due minuti di ascolto attivo per i partecipanti e di acquisizione audio per gli organizzatori.</p> <p>Durata totale soundwalk: 1h 30m</p>
In laboratorio	<p>Testa artificiale per acquisizione binaurale</p> <p>Array sferico di altoparlanti per riproduzione in Ambisonics</p> <p>Software per la riproduzione audio (Bidule)</p>	<p>Visore HMD</p> <p>Software per la riproduzione video (Unreal Engine)</p>	<p>Per ogni fermata, due minuti di ascolto attivo per ogni partecipante, e un massimo di ulteriori 7:30 minuti per la riproduzione audio durante la compilazione dei questionari</p> <p>Durata totale per partecipante: circa 40 minuti</p>

Tabella 4: riassunto informativo di strumentazione e durata degli esperimenti

## 3.2: Esperimento in campo – Metodi

### 3.2.1: AMBIENTI

La prima parte dello studio, consistente in una tipica soundwalk all’aperto, si è svolta il 15 aprile 2025 a Torino, lungo un percorso con partenza situata in piazzale Duca d’Aosta (nelle immediate vicinanze del Politecnico di Torino) e arrivo in piazza Bodoni, nel centro della città. Il percorso è stato diviso in quattro fermate, denominate ai fini della ricerca (fig. 13): **1) Fante**, **2) Vittorio Emanuele**, **3) Giardini Sambuy** e **4) Piazza Bodoni**; per ogni luogo sono stati acquisiti i dati necessari all’indagine, sia dalla strumentazione che dai questionari compilati dai soggetti. Le quattro fermate sono state selezionate dopo due prove esplorative effettuate nel mese precedente, sulla base delle loro caratteristiche sonore e visive, abbastanza peculiari da renderle tutte diverse tra loro. La fermata Vittorio Emanuele, coincidendo con uno snodo cruciale tra due dei più importanti viali cittadini, è caratterizzata da un’alta presenza di traffico. Al contrario, i giardini Sambuy, poco lontani dalla stazione di Porta Nuova, sono ricchi di componenti visive e sonore naturali (alberi, presenza di acqua) che contribuiscono ad attenuare i rumori cittadini. Le fermate Fante e Piazza Bodoni sono invece situazioni intermedie: la prima presenta abbondante verde pubblico, ma è poco distante da un importante viale cittadino; la seconda si trova nel centro della città, in una zona priva di verde, ma poco trafficata e tipicamente contraddistinta dai suoni dell’antistante Conservatorio Statale di musica “Giuseppe Verdi”.

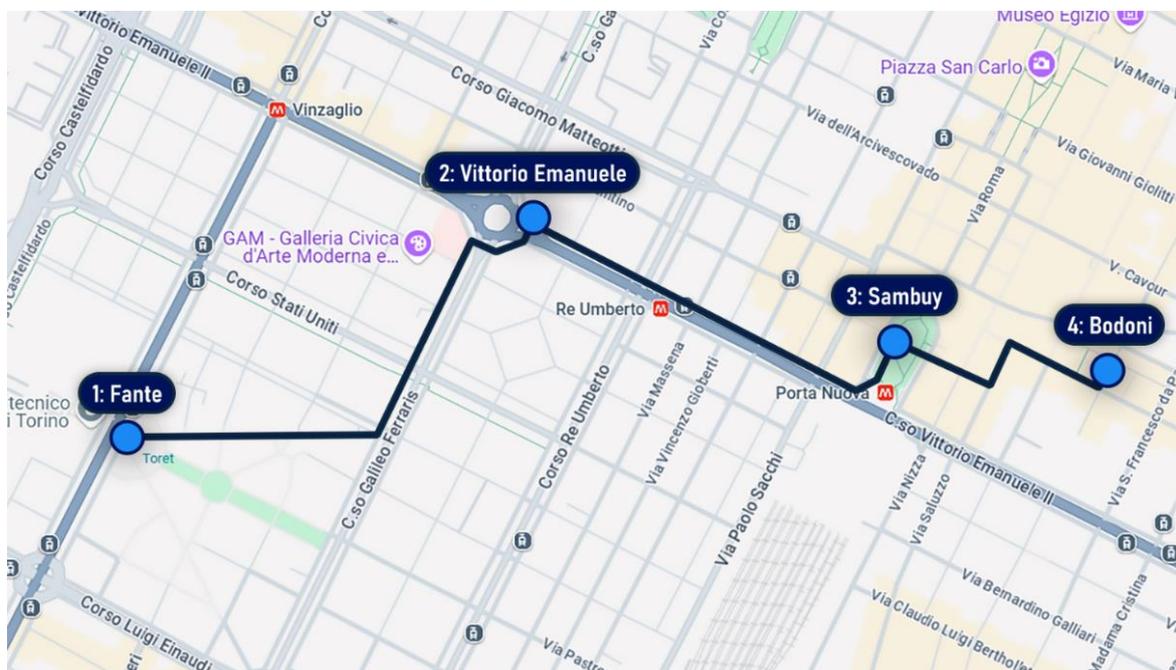


Figura 13: il percorso della passeggiata sonora del 15 aprile 2025

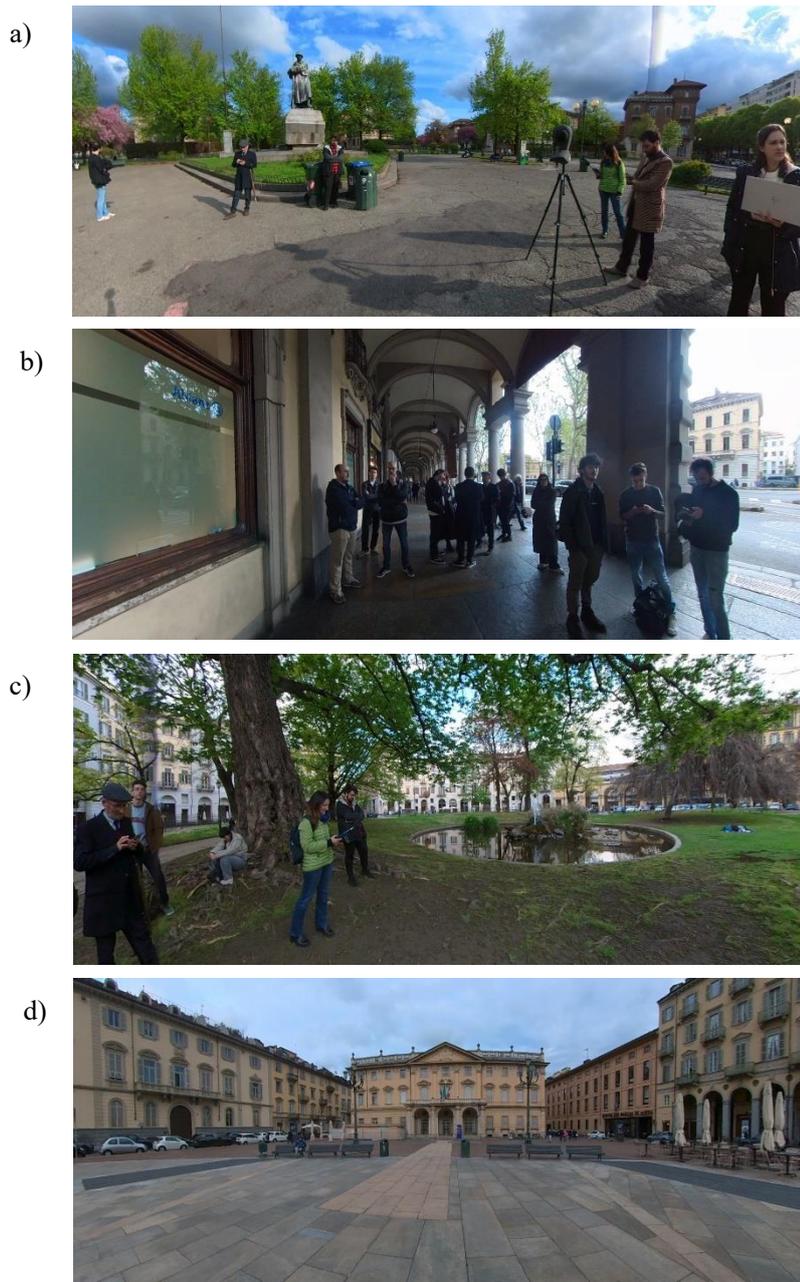


Figura 14: le fermate della soundwalk. a) Fante; b) Vittorio Emanuele; c) Giardini Sambuy; d) Piazza Bodoni

### 3.2.2: PARTECIPANTI

Con riferimento a precedenti soundwalk effettuate sul territorio italiano, è stato scelto un numero di partecipanti pari a 15: 12 di sesso maschile e 3 di sesso femminile, con un'età media di 29,8 anni e compresa tra i 22 e i 76 anni. Il loro grado di istruzione variava da laureandi in attesa di conseguimento del titolo triennale a possessori di laurea magistrale, al momento frequentanti un corso di dottorato; tra i partecipanti era oltretutto presente un professore ordinario di psicologia generale a riposo. I soggetti presentavano udito e vista regolari, e hanno prestato consenso informato scritto al momento della compilazione dei questionari.

### 3.2.3: STRUMENTAZIONE

Di seguito è elencata la strumentazione utilizzata, le caratteristiche per ciascun apparecchio e i metodi di registrazione (se presenti):

Microfono <b>Zylia ZM-1</b>	19 capsule microfoniche Acquisizione in formato Ambisonics del terzo ordine (.wav) 48 kHz / 24 bit
Testa artificiale analogica <b>Head Acoustics HSU III.2</b> collegata a <b>SQobold Head Acoustics</b>	2 canali (L, R) Acquisizione in formato .hdf (binaurale) Convertito in .wav 48 kHz / 24 bit
Camera <b>Insta360 One X2</b>	Acquisizione in formato .insv / res. 5.1K Convertito in .mp4 / res. 4K
Fonometro	Analisi del livello $L_{Zeq}$ in terzi di ottava
PC Windows	Utilizzato per registrare in Ambisonics del terzo ordine tramite il programma Bidule
Cavalletti di supporto	-

Tabella 5: strumentazione e metodi di registrazione

La testa artificiale è stata inizialmente calibrata tramite un calibratore, registrando un tono puro a 1 kHz con intensità 90 dB per ogni orecchio. Per registrare tramite il microfono Zylia è stata utilizzata una apposita patch per gestire i suoi 19 canali, tramite il programma Bidule.

Le registrazioni sul campo sono state tutte effettuate per un tempo pari a due minuti; durante le registrazioni, ai partecipanti era richiesto di rimanere in assoluto silenzio e di ascoltare attivamente l'ambiente sonoro circostante. Una volta terminata la fase di registrazione ed ascolto attivo, ai partecipanti è stata richiesta la compilazione del questionario per la valutazione del soundscape. La procedura è stata ripetuta in maniera identica per ogni fermata.

a)



b)



c)



d)



e)

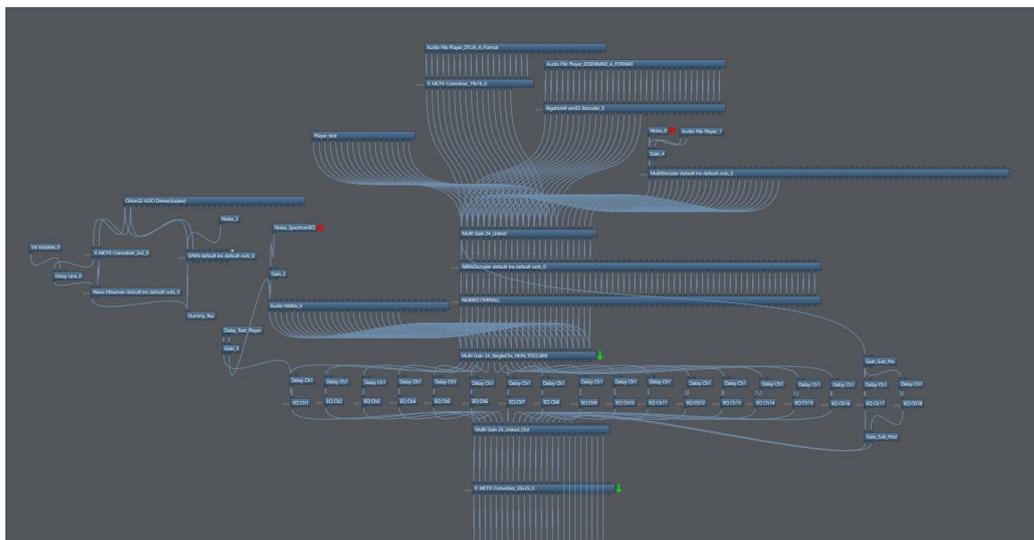


Figura 15: alcune immagini della strumentazione usata. a) Zylia ZM-1 (fonte: zylia.co); b) Head Acoustics HSU III.2, c) SQobold Head Acoustics (fonte: Head Acoustics); d) Insta360 One X2 (fonte: insta360.com); e) screenshot di Bidule

### 3.2.4: QUESTIONARIO

Per la raccolta dei dati soggettivi, i soggetti partecipanti hanno compilato un questionario digitale. Tale questionario, già utilizzato in passato per altre soundwalk e basato sulle indicazioni della norma ISO 12913, era diviso in sei sezioni: introduzione e consenso informato, dominanza delle fonti sonore, qualità affettiva percepita, valutazione complessiva del paesaggio sonoro, ambiente architettonico, località e dati demografici. I soggetti hanno compilato il questionario una volta per fermata, annotando nell'ultima sezione il luogo in cui si trovavano. I descrittori affettivi del soundscape (PAQ) sono stati tradotti in italiano seguendo la traduzione citata in precedenza. [15]

<b>Introduzione e consenso informato</b>	-	-
<b>Dominanza delle fonti sonore</b>	<p>In che misura percepisce attualmente i seguenti quattro tipi di suoni?</p> <p>Rumori del traffico (auto, autobus, treni, aerei, ecc.)</p> <p>Altri rumori (sirene, costruzioni, industrie, carico di merci, ecc.)</p> <p>Suoni provenienti da esseri umani (conversazione, bambini che giocano, passi, risate, ecc.)</p> <p>Suoni naturali (uccelli, acqua che scorre, vento tra la vegetazione, ecc.)</p>	<p>Scala da 1 a 5 (Per niente – Dominano completamente)</p>
<b>Qualità affettiva percepita</b>	<p>Per ognuna delle otto scale sottostanti, in che misura è d'accordo o meno che l'attuale ambiente sonoro circostante sia:</p> <p>CAOTICO DISTURBANTE MONOTONO STATICO CALMO PIACEVOLE VIVACE DINAMICO</p>	<p>Scala da 5 a 1  (Molto d'accordo – Fortemente in disaccordo)</p>

Tabella 6: componenti del questionario e, se presenti, le scale di valutazione (prima parte)

<b>Valutazione complessiva del paesaggio sonoro</b>	<p>Nel complesso, come descriverebbe attualmente l'ambiente sonoro circostante?</p> <p>Nel complesso, in che misura trova l'ambiente sonoro circostante adeguato al luogo attuale?</p>	<p>Scala da 1 a 5</p> <p>(Fastidioso – Per niente fastidioso)</p> <p>(Per niente adeguato – Perfettamente adeguato)</p>
<b>Ambiente architettonico</b>	<p>Nel complesso, come descriverebbe l'attuale situazione architettonica/urbanistica?</p>	<p>Scala da 1 a 5</p> <p>(Per niente buona – Molto buona)</p>
<b>Località e dati demografici</b>	<p>Qual è la località che sta valutando?</p> <p>Qual è il suo sesso?</p> <p>La sua età?</p>	<p>-</p>

Tabella 7: componenti del questionario e, se presenti, le scale di valutazione (seconda parte)

a)



b)



c)



d)



Figura 16: alcune foto della soundwalk del 15/04/2025. a), b) Fante, c) Vittorio Emanuele, d) Piazza Bodoni

### 3.2.5: PARAMETRI PSICOACUSTICI MISURATI

Mediante la testa artificiale analogica HSU III.2 e lo SQobold forniti da HEAD Acoustics, sono stati acquisiti due minuti di registrazione in formato binaurale per ogni fermata. Tramite il software proprietario ArtemiS sono stati calcolati, in accordo con la norma ISO, i seguenti parametri psicoacustici:

<b>Livello sonoro equivalente</b> e i suoi percentili: $L_{Aeq,T}$ , $L_{Ceq,T}$ , $L_{AF5,T}$ , $L_{AF95,T}$	[dB(SPL)]
<b>Loudness</b> , la sua media cubica e i suoi percentili: $N$ , $N_{avg,cubic}$ , $N_5$ , $N_{95}$	[sone]
<b>Sharpness</b> e i suoi percentili: $S$ , $S_5$ , $S_{95}$	[acum]
<b>Tonality</b> : $T$	[ $t_{UHMS}$ ]
<b>Roughness</b> (percentili): $R_{10}$ , $R_{50}$	[casper]
<b>Fluctuation strength</b> (percentili): $F_{10}$ , $F_{50}$	[ $vacil_{HMS}$ ]

Figura 17: parametri psicoacustici calcolati con ArtemiS e loro unità di misura; 1 casper = 0,01 asper

ArtemiS ha anche fornito uno spettrogramma per ogni registrazione ed un grafico di evoluzione del livello sonoro nel tempo, riportati di seguito (fig. 18 – 21).

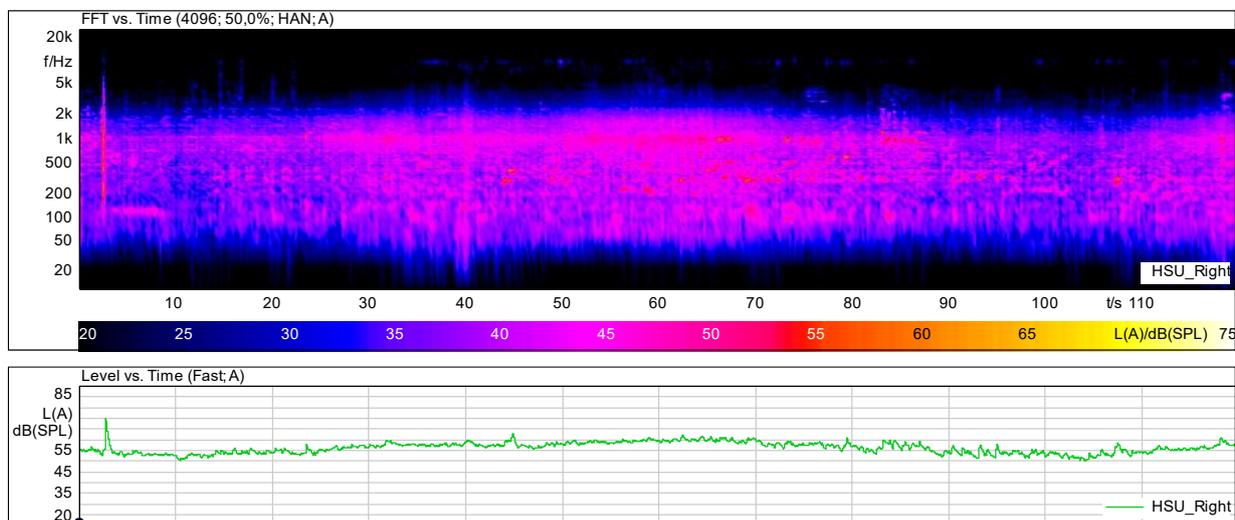


Figura 18: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata FANTE

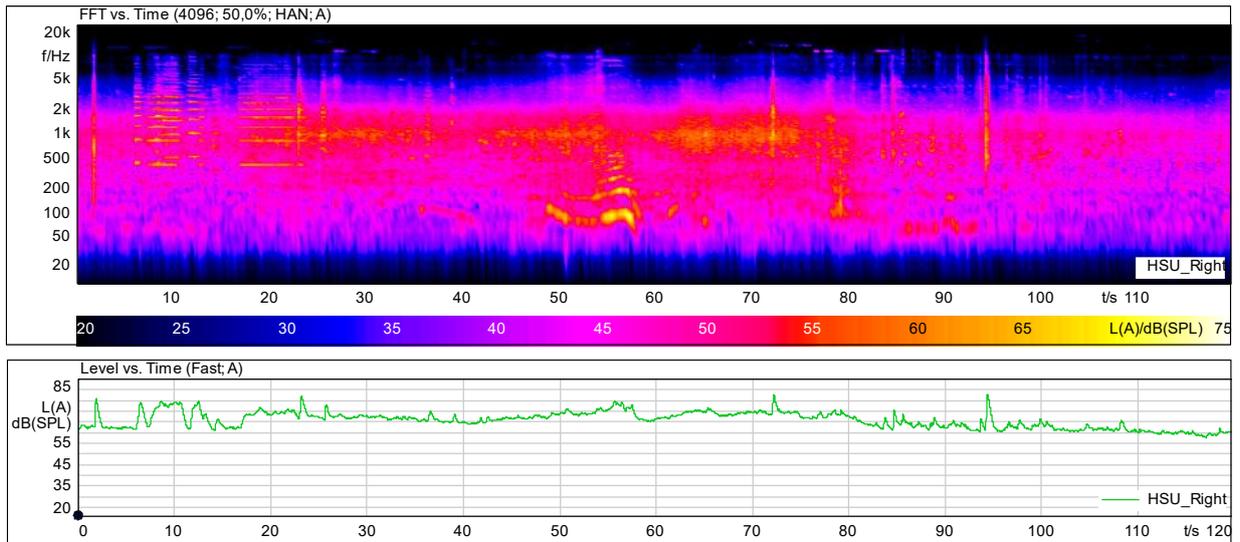


Figura 19: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata VITTORIO EMANUELE

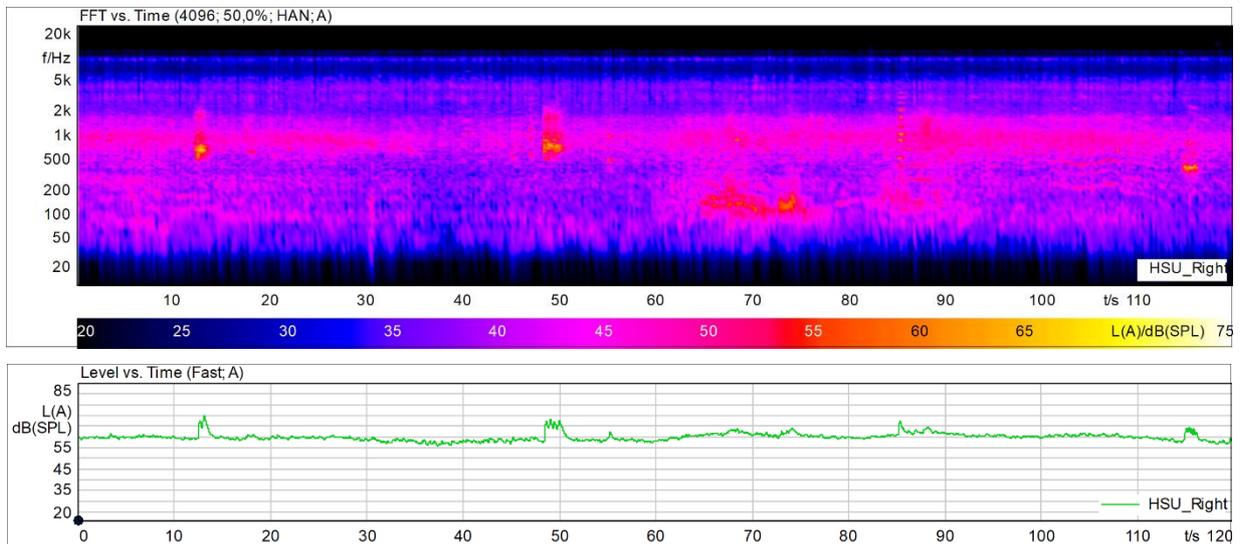


Figura 20: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata GIARDINI SAMBUY

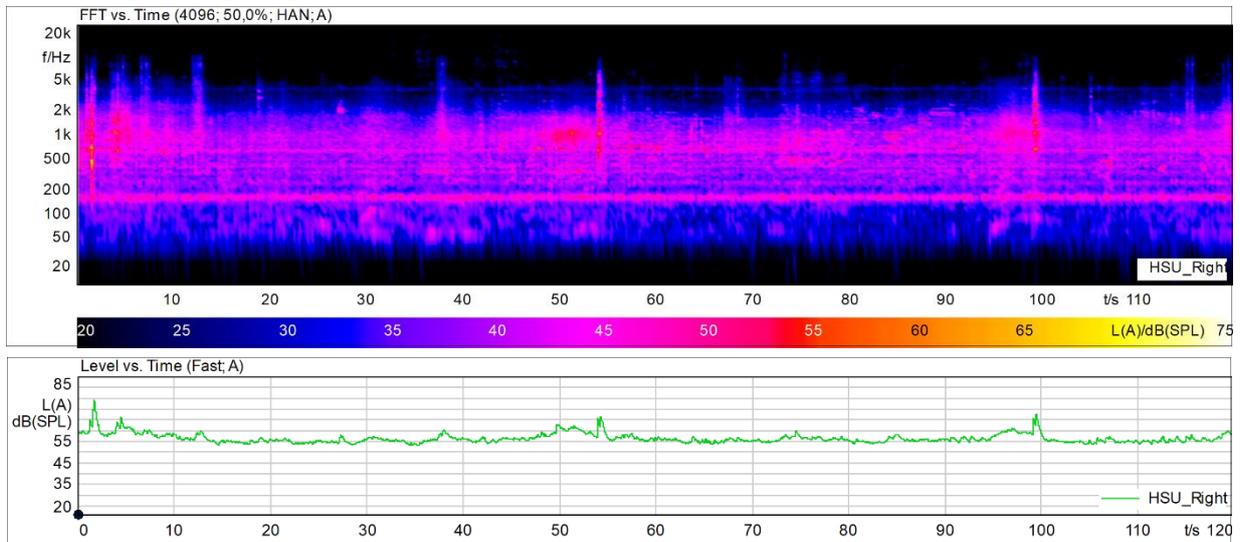


Figura 21: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata PIAZZA BODONI

### 3.3: Esperimento in campo – Analisi dei dati

#### 3.3.1: PARAMETRI PSICOACUSTICI

I parametri psicoacustici calcolati da Artemis sono stati divisi nelle tabelle seguenti (8 – 11) per affinità, e relazionati alle fermate:

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>5</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>95</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>Ceq</sub> [dB(C)]</b>
Fante	L	59,1	62,5	54,3	67,9
Fante	R	57,3	60,4	52,7	67,7
Vittorio Emanuele	L	68,1	72,8	60,7	77,3
Vittorio Emanuele	R	67,9	72,6	60,5	77,6
Giardini Sambuy	L	61,2	63,3	58,5	70,3
Giardini Sambuy	R	60,7	63,3	57,9	70,2
Piazza Bodoni	L	58,4	60,1	55,0	66,4
Piazza Bodoni	R	57,8	61,0	54,6	66,2

Tabella 8: livello equivalente A con rispettivi percentili e livello C, calcolati da ArtemiS per ogni fermata

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>N</b> [sone]	<b>N<sub>5</sub></b> [sone]	<b>N<sub>95</sub></b> [sone]	<b>N<sub>cm</sub></b> [sone]
Fante	L	13,5	15,6	9,2	12,6
Fante	R	11,7	13,8	8,2	11,1
Vittorio Emanuele	L	25,1	30,3	14,7	22,4
Vittorio Emanuele	R	24,8	30,5	14,5	22,4
Giardini Sambuy	L	17,0	18,7	13,8	16,2
Giardini Sambuy	R	16,5	18,3	13,1	15,6
Piazza Bodoni	L	12,7	13,7	9,4	11,5
Piazza Bodoni	R	12,4	14,0	9,3	11,4

Tabella 9: loudness, percentili e media cubica calcolati da ArtemiS per ogni fermata

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>S</b> [acum]	<b>S<sub>5</sub></b> [acum]	<b>S<sub>95</sub></b> [acum]	<b>T</b> [tU <sub>HMS</sub> ]
Fante	L	1,263	1,5	1,1	0,248
Fante	R	1,061	1,2	0,9	0,209
Vittorio Emanuele	L	1,222	1,4	1,1	0,724
Vittorio Emanuele	R	1,25	1,4	1,1	0,718
Giardini Sambuy	L	1,584	1,7	1,4	0,153
Giardini Sambuy	R	1,612	1,8	1,4	0,149
Piazza Bodoni	L	1,096	1,3	1,0	0,262
Piazza Bodoni	R	1,103	1,3	1,0	0,276

Tabella 10: sharpness (con percentili) e tonality calcolati da ArtemiS per ogni fermata

Luogo	R <sub>10</sub> [casper]	R <sub>50</sub> [casper]	F <sub>10</sub> [vacil <sub>HMS</sub> ]	F <sub>50</sub> [vacil <sub>HMS</sub> ]
Fante	17,1	14,2	0,3	0,2
Vittorio Emanuele	18,0	14,4	0,4	0,2
Giardini Sambuy	11,1	7,9	0,2	0,1
Piazza Bodoni	17,1	14,0	0,3	0,2

Tabella 11: percentili di roughness e fluctuation strength calcolati da ArtemiS per ogni fermata; la roughness è espressa in centi-asper

Da un confronto tra i singoli parametri psicoacustici, è possibile immediatamente notare alcune peculiarità per ogni fermata, facilmente imputabili a determinati elementi che hanno caratterizzato l'esperimento specifico, ma anche correlabili alla natura stessa dei luoghi presi in esame, già descritta poco sopra. Osservando le variazioni del livello sonoro equivalente  $L_{Aeq}$  (fig. 22) è immediato notare come nella seconda fermata (Vittorio Emanuele) esso presenti un considerevole aumento, fino a + 9 dB rispetto alla fermata meno rumorosa (Piazza Bodoni). Tenendo a mente che un aumento di 10 dB del livello sonoro equivalente è percepito per range d'ascolto tipici (40-80 dB) come un raddoppio del volume generale di un ambiente, queste due fermate sono da questo punto di vista distanti quasi un intero ordine di grandezza.

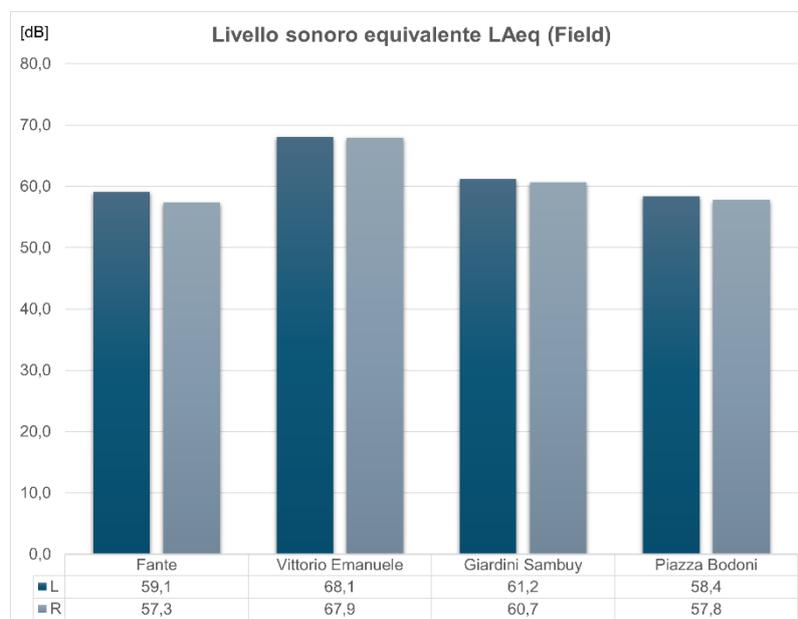


Figura 22: andamento del livello sonoro equivalente per ogni fermata della soundwalk

Questo si ripercuote comprensibilmente anche sulla loudness, che nella fermata Vittorio Emanuele presenta un picco sui 25 sone (figura 23), più del doppio rispetto al valore più basso ottenuto, nella fermata Piazza Bodoni (12,6 sone, media tra i canali L e R).

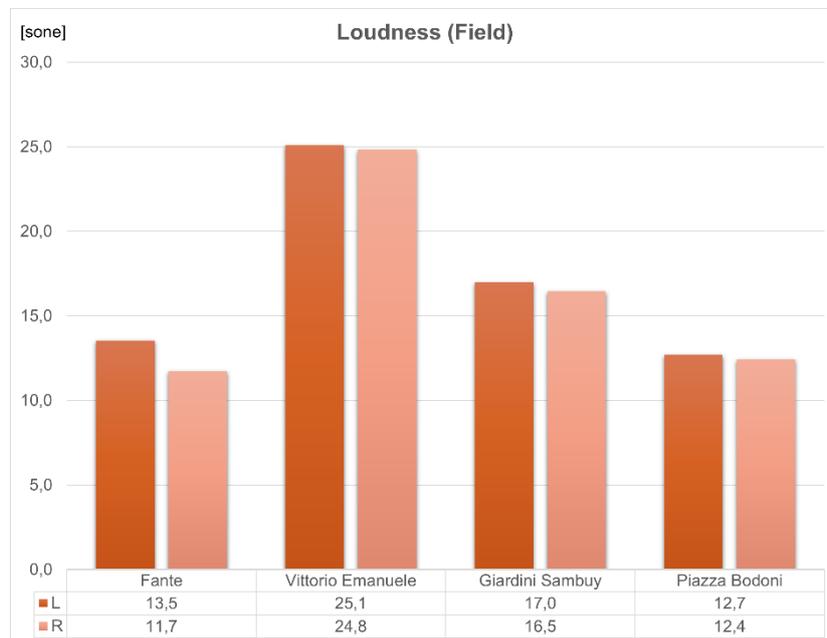


Figura 23: andamento della Loudness per ogni fermata della soundwalk

Aldilà delle differenze sul volume percepito, gli altri parametri psicoacustici descrivono accuratamente altri aspetti di queste quattro fermate. Il valore di sharpness, con un range tra 1,1 e 1,6 acum, è in linea con le aspettative per uno spazio urbano, ma si presenta più pronunciato nella fermata Giardini Sambuy. Questo è con tutta probabilità dovuto al suono dell'acqua proveniente dalla fontana dei giardini, molto presente e poco distante dalla posizione di registrazione (fig. 24).

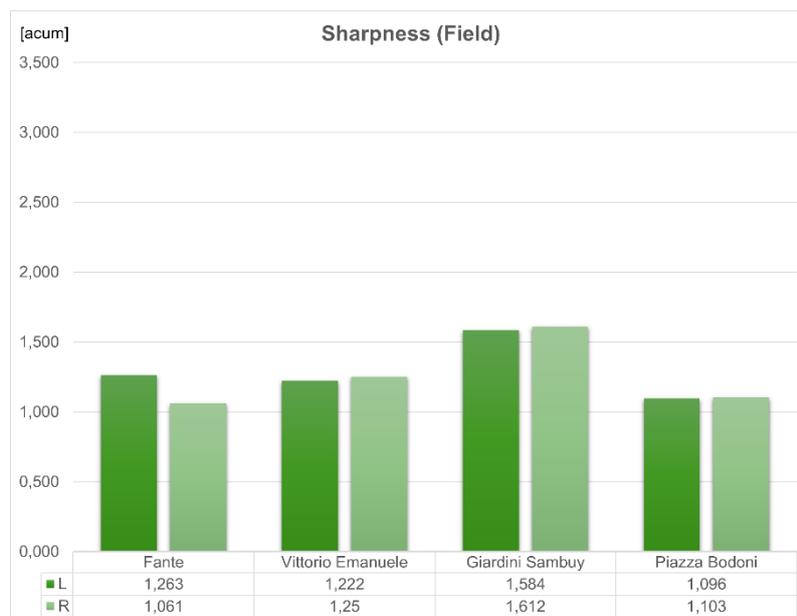


Figura 24: andamento della Sharpness per ogni fermata della soundwalk

Notevole è anche il valore del parametro tonality, che nella fermata Vittorio Emanuele arriva quasi a triplicare quello della fermata Piazza Bodoni, secondo valore più alto (fig. 25). Con ogni probabilità, la causa di questo risiede nella presenza durante la registrazione binaurale in Vittorio Emanuele di numerosi e intensi suoni di clacson dal carattere armonico, visibili anche nello spettrogramma restituito da ArtemiS (fig. 19).

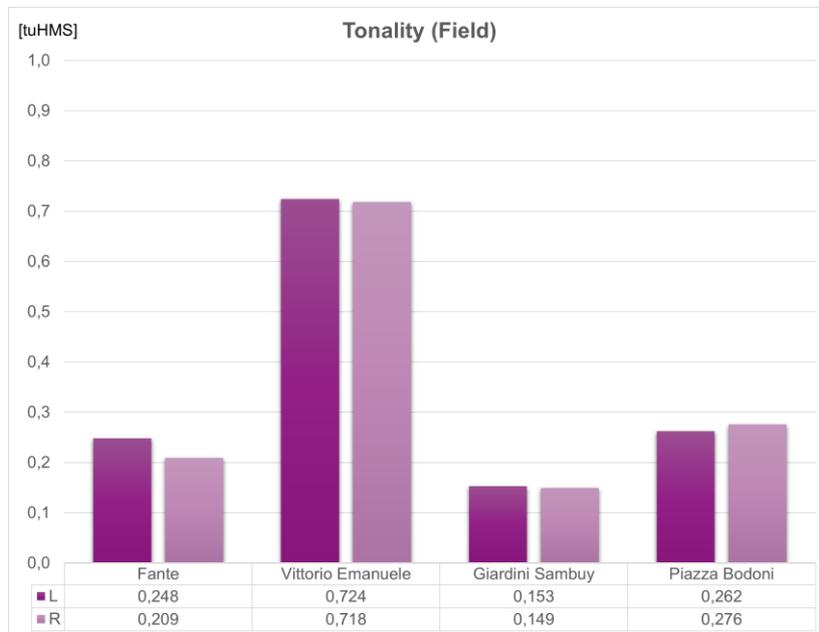


Figura 25: andamento della Tonality per ogni fermata della soundwalk

Infine, in tutti i grafici è presente una discrepanza più pronunciata nel canale L della fermata Fante, che presenta valori sempre più alti rispetto al canale R. Questa è una probabile conseguenza della presenza di musica ad alto volume proveniente da una giostra, attiva durante la soundwalk a sinistra del punto di registrazione.

Osservando poi l'andamento della sharpness rispetto alla Loudness notiamo come, ad eccezione dell'anomalia citata in Giardini Sambuy, generalmente vi sia una correlazione tra aumento della seconda e aumento della prima (fig. 26); questo è in linea con quanto ci si aspetta in ambiente urbano [40]. Un simile confronto tra sharpness e tonality (fig. 27) fa notare come Giardini Sambuy presenti i più bassi valori di tonality e i più alti valori di sharpness, situazione evidentemente legata al suono dell'acqua.

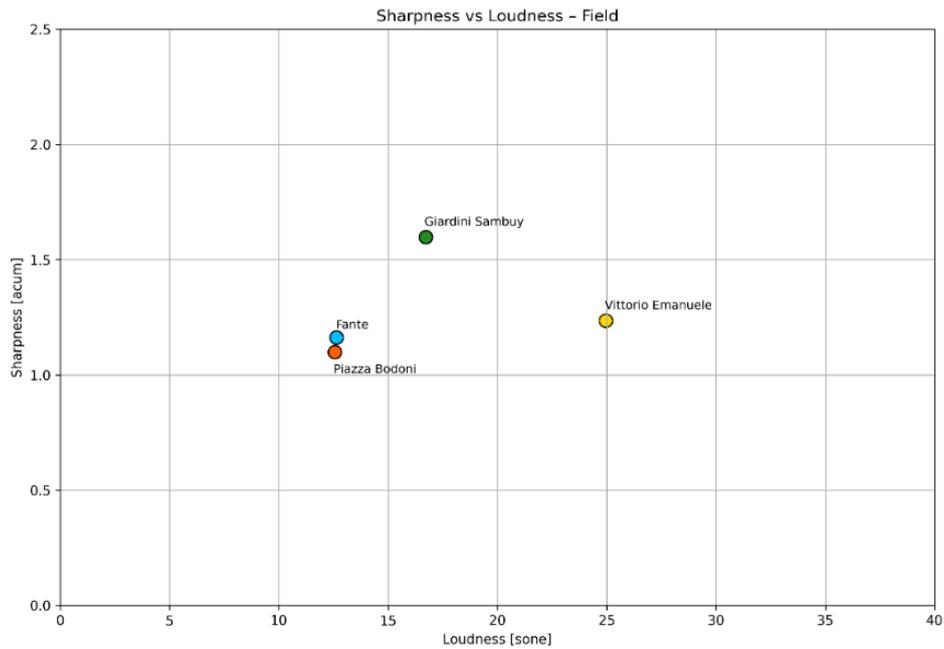


Figura 26: confronto Sharpness vs Loudness per ogni fermata della soundwalk

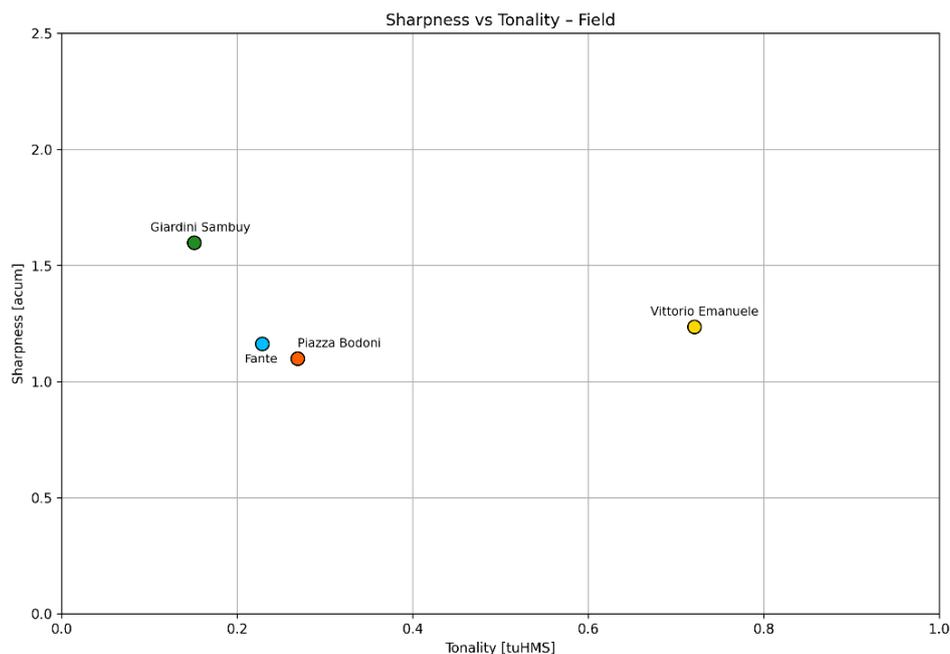


Figura 27: confronto Sharpness vs Tonality per ogni fermata della soundwalk

### 3.3.1.A: Analisi statistiche sui dati psicoacustici (in campo)

I dati psicoacustici raccolti sono stati messi in correlazione utilizzando il correlogramma di Pearson per le grandezze continue (fig. 28) e il correlogramma di Spearman per i percentili (fig. 29). Dal correlogramma di Pearson sono stati esclusi i 50° percentili di roughness e fluctuation strength, poiché nonostante il loro valore (pari alla mediana) fosse approssimabile alla media del valore dei due parametri, la loro distribuzione non soddisfaceva i criteri di normalità richiesti dal calcolo.

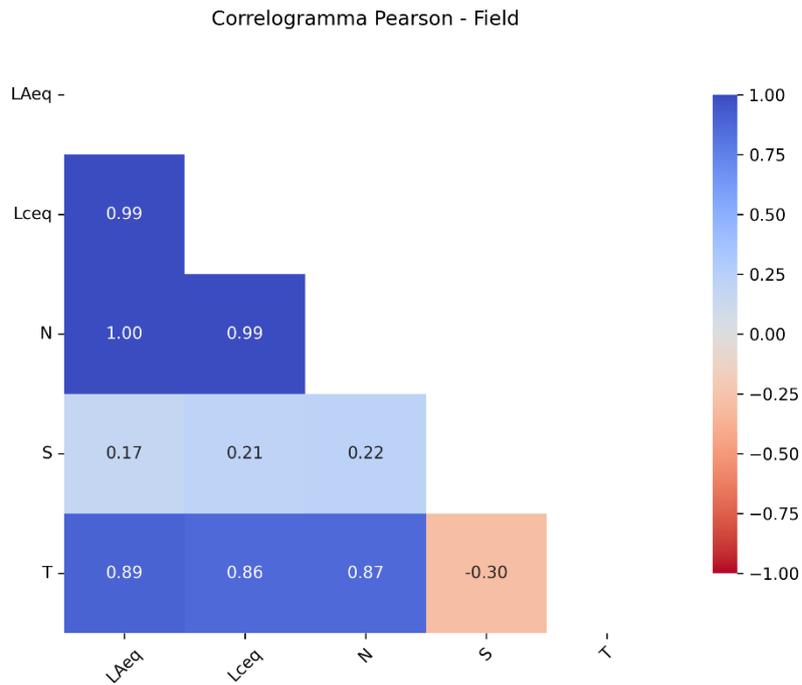


Figura 28: correlogramma di Pearson, parametri psicoacustici continui (media canali L ed R)

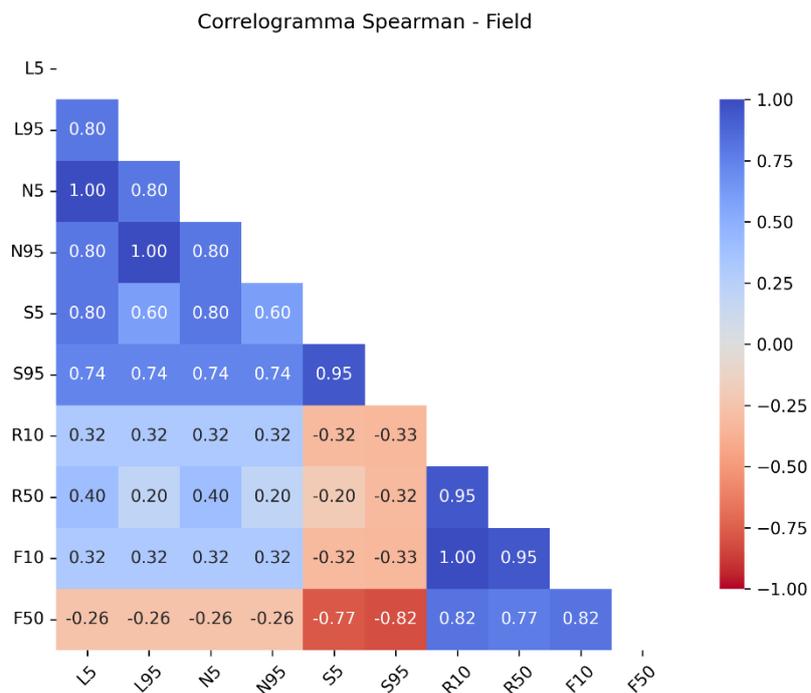


Figura 29: correlogramma di Spearman, percentili dei parametri psicoacustici (media canali L ed R)

Dall'analisi del correlogramma di Pearson si nota, prevedibilmente, una forte correlazione tra i valori del livello sonoro equivalente e quelli della loudness. Sebbene possa inizialmente sembrare che le osservazioni precedenti sul ruolo del traffico nella correlazione della sharpness con loudness e tonality siano incorrette, questa è in realtà una conferma della forte incidenza del suono della fontana nella fermata Giardini Sambuy. Ricalcolando l'indice di Pearson con l'esclusione dei dati di tale fermata (fig. 30), otteniamo infatti una correlazione pressoché netta tra tutti i parametri. Anche il correlogramma di Spearman per i percentili (fig. 31) presenta una tendenza simile.

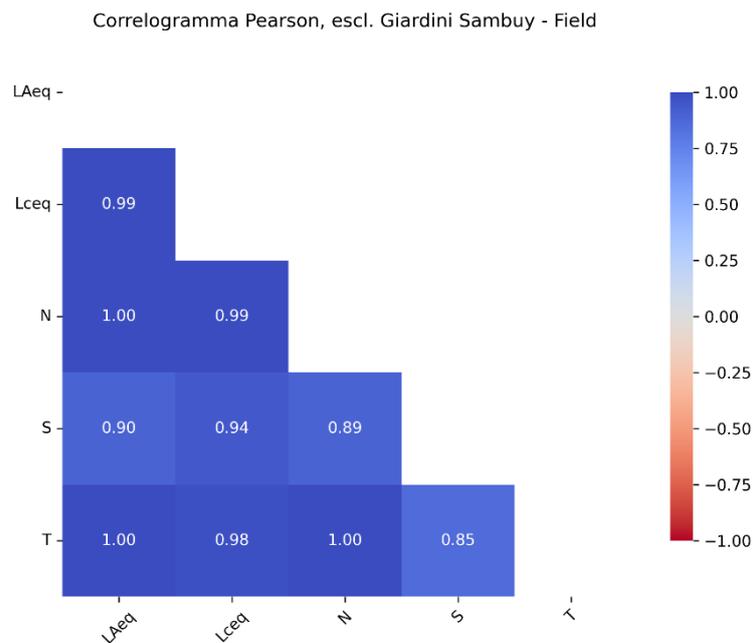


Figura 30: correlogramma di Pearson senza i dati di Giardini Sambuy (media canali L ed R)

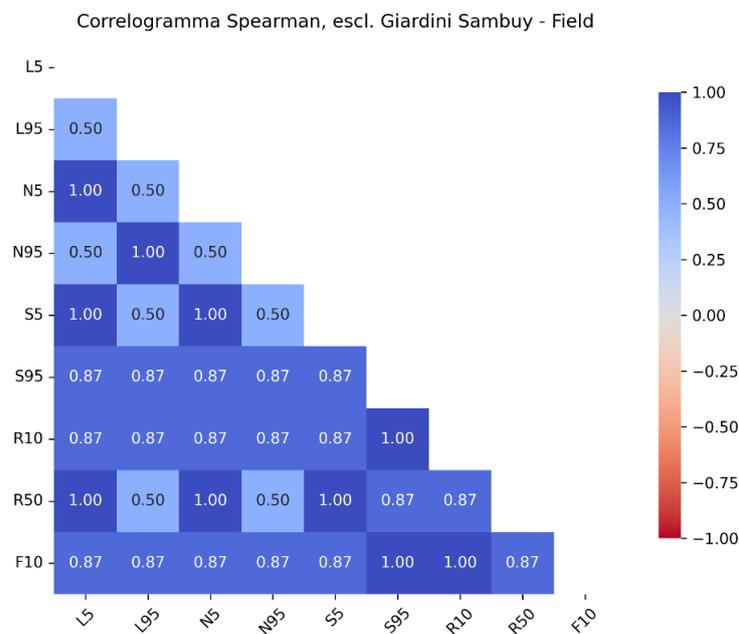


Figura 31: correlogramma di Spearman senza i dati di Giardini Sambuy (media canali L ed R)

### 3.3.2: PARAMETRI SOGGETTIVI: MISURA ED INTERPRETAZIONE

Il questionario è stato analizzato in ordine di sezione. I primi dati rilevanti sono presenti nella sezione 2, in cui era chiesto di quantificare la presenza di quattro tipologie di suoni: traffico, suoni tecnologici, suoni umani e suoni ambientali. Questa prima categorizzazione permette di identificare le fonti sonore più percepite, fornendo una prima descrizione degli ambienti. Nell'analisi delle risposte (fig. 32) sono infatti emerse le peculiarità di ciascuna fermata, specialmente per quanto riguarda Vittorio Emanuele, con la massima presenza di suoni del traffico, e Giardini Sambuy, che primeggia invece per quantità di suoni naturali. Le altre due fermate si assestano su valori meno estremi, con l'eccezione del basso valore della mediana per la categoria dei suoni naturali nella fermata Piazza Bodoni; anche in questo caso si tratta di un risultato prevedibile, essendo l'unica fermata in cui il verde pubblico è pressoché assente.

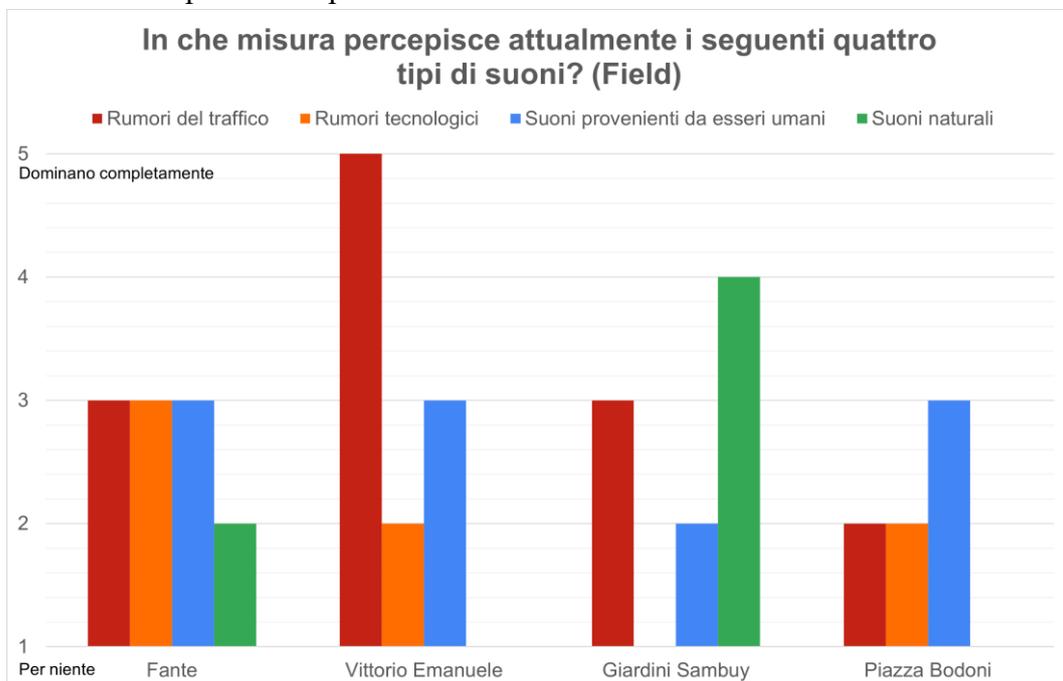


Figura 32: categorie di suoni percepiti per fermata, in base al calcolo della mediana

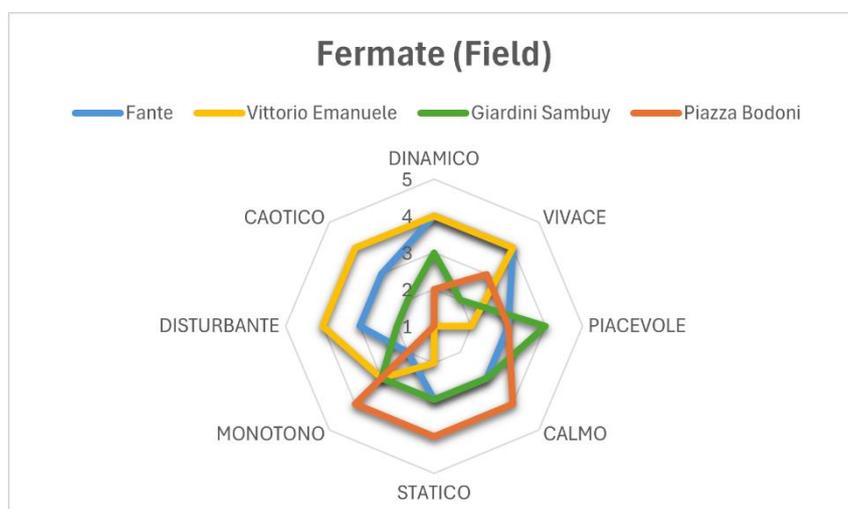


Figura 33: radar plot cumulativo degli attributi PAQ per ogni fermata

In accordo con lo standard ISO 12913, è stata successivamente calcolata per ogni fermata la mediana di ognuno degli otto attributi del soundscape (PAQ), riportando tali valori in un grafico radar. I risultati ottenuti (fig. 33), sono coerenti con quanto osservato durante la soundwalk: la fermata Vittorio Emanuele risulta essere quella più caotica e disturbante, mentre le fermate Giardini Sambuy e Piazza Bodoni tendono ad essere percepite rispettivamente come piacevoli e calme.

Per un'analisi più approfondita dei dati soggettivi è necessario ottenere il valore delle due coordinate ISO: *Pleasantness* ed *Eventfulness*. Per fare ciò è stata utilizzata **Soundscapy**, una specifica libreria Python che permette l'elaborazione e la visualizzazione dei dati soggettivi raccolti nell'analisi soundscape. Essa è basata sui metodi presentati nell'articolo *How to analyse and represent quantitative soundscape data* [41], ed è in grado di generare diverse rappresentazioni utili a visualizzare l'aspetto percettivo di uno spazio urbano, come grafici scatter e dispersioni; queste rendono possibile una visualizzazione molto più dettagliata rispetto a semplici grafici radar. Ogni punto presente su questi grafici corrisponde all'interpretazione dello spazio sonoro di uno dei soggetti partecipanti alla soundwalk. Le coordinate dei punti sono ottenute tramite le formule delle coordinate di Pleasantness (1) ed Eventfulness (2) specificate nella norma ISO, corrispondenti rispettivamente all'asse X e all'asse Y della rappresentazione. Il grafico ottenuto risulta diviso così in quattro quadranti, corrispondenti a quattro diverse percezioni di un ambiente: caotico (sgradevole e dinamico), vivace (gradevole e dinamico), calmo (gradevole e statico) e monotono (sgradevole e statico). Le tipologie principali di grafici offerte da Soundscapy sono quattro: *scatter plot* (fig. 34), *ISO plot* (fig. 35), *density plot* (fig. 36) e *joint plot* (fig. 37). Nello scatter plot si ha una semplice rappresentazione della percezione di un ambiente tramite un singolo punto, mentre nei plot ISO, density e joint viene effettuato un raggruppamento dei valori basato sulla dispersione, per visualizzare le aree del grafico verso le quali si orientano maggiormente le risposte soggettive. I joint plot sono i più dettagliati, e includono le distribuzioni dei valori risultanti divise per ciascuno dei due assi.

Scatter Plot Vittorio Emanuele (Field)

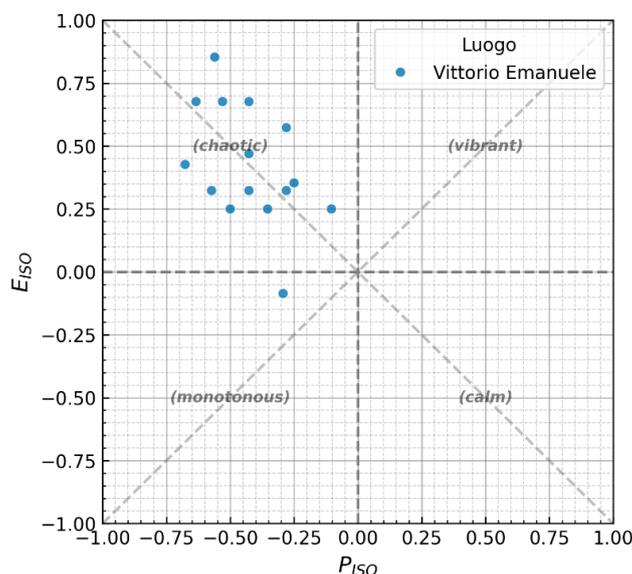


Figura 34: scatter plot della fermata Vittorio Emanuele

### Perceptions in Vittorio Emanuele (Field)

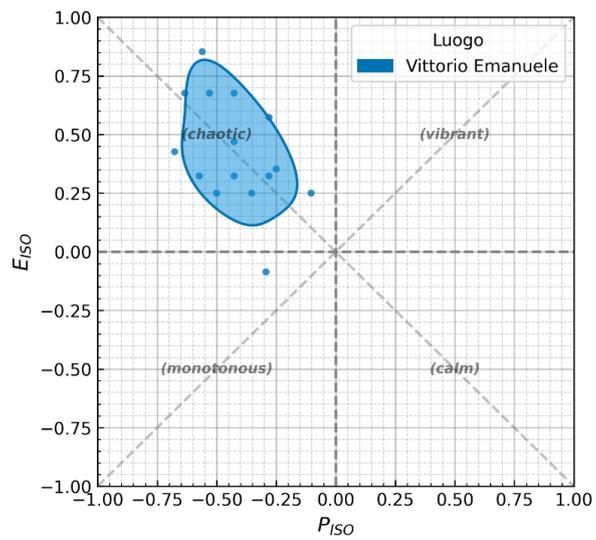


Figura 35: ISO plot della fermata Vittorio Emanuele

### Density Plot of Vittorio Emanuele (Field)

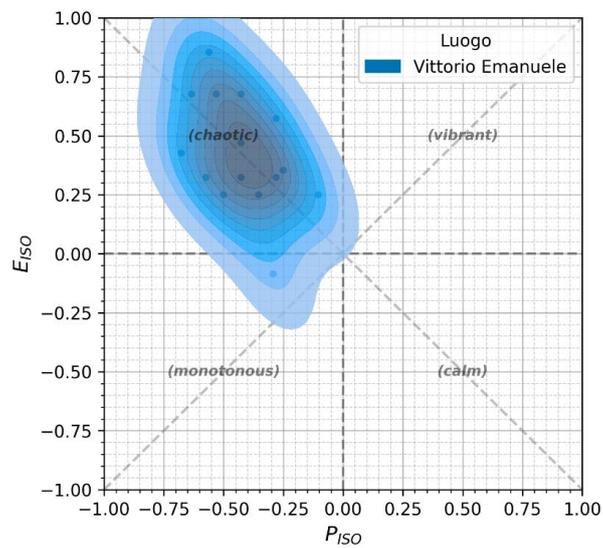


Figura 36: density plot della fermata Vittorio Emanuele

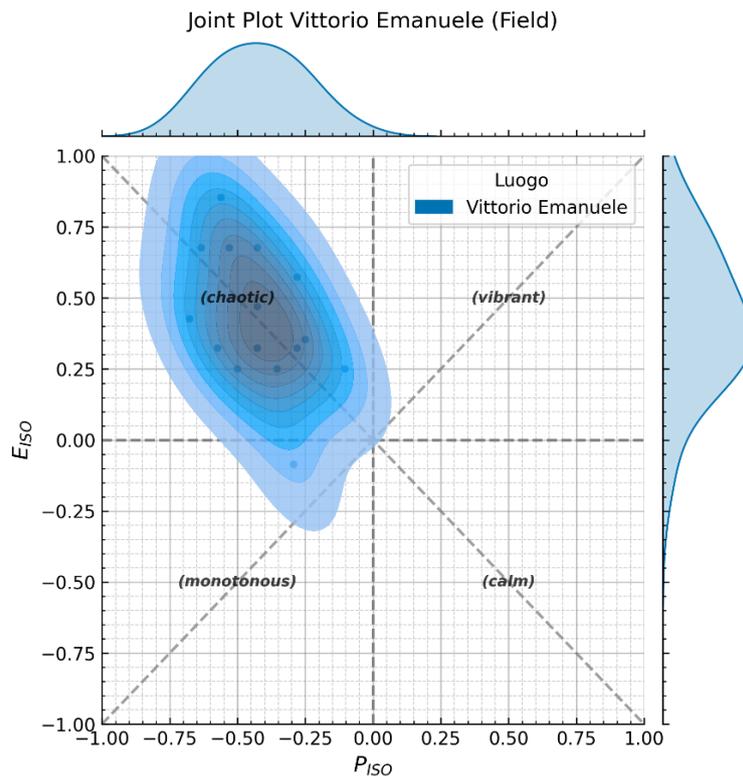


Figura 37: joint plot della fermata Vittorio Emanuele

Prendendo ad esempio in esame la fermata Vittorio Emanuele, risulta immediato capire che i partecipanti alla soundwalk hanno percepito questo ambiente come molto disturbante e ricco di eventi, dunque fortemente orientato sul quadrante caotico. Tale rappresentazione rispecchia fedelmente la natura della fermata, che già era stata evidenziata dall'analisi dei dati psicoacustici: l'alta presenza di traffico ad alto volume ha sicuramente inciso molto sulla percezione di questo luogo.

Soundscapy permette di raggruppare le varie visualizzazioni singole in un unico grafico, il che consente di comparare facilmente gli ambienti presi in esame. Nel caso di questa passeggiata sonora (fig. 38), le quattro fermate si presentano ben distinte, come ci si aspettava inizialmente. La fermata Piazza Bodoni risulta essere quella tendenzialmente più apprezzata e percepita come calma, mentre Vittorio Emanuele è stata nettamente vissuta come quella più disturbante. Giardini Sambuy, nonostante l'alta presenza di verde e di suoni naturali, risente della non trascurabile influenza del traffico circostante. La fermata Fante si posiziona invece al centro del grafico: i soggetti hanno concordato nel ritenerla ricca di eventi, ma la distribuzione della coordinata Pleasantness, di forma simile alla campana normale, indica che non vi è stato un responso univoco sulla piacevolezza dell'ambiente sonoro. Come già scritto, in Fante era fortemente presente la musica di una giostra; questa può aver influito nella valutazione.

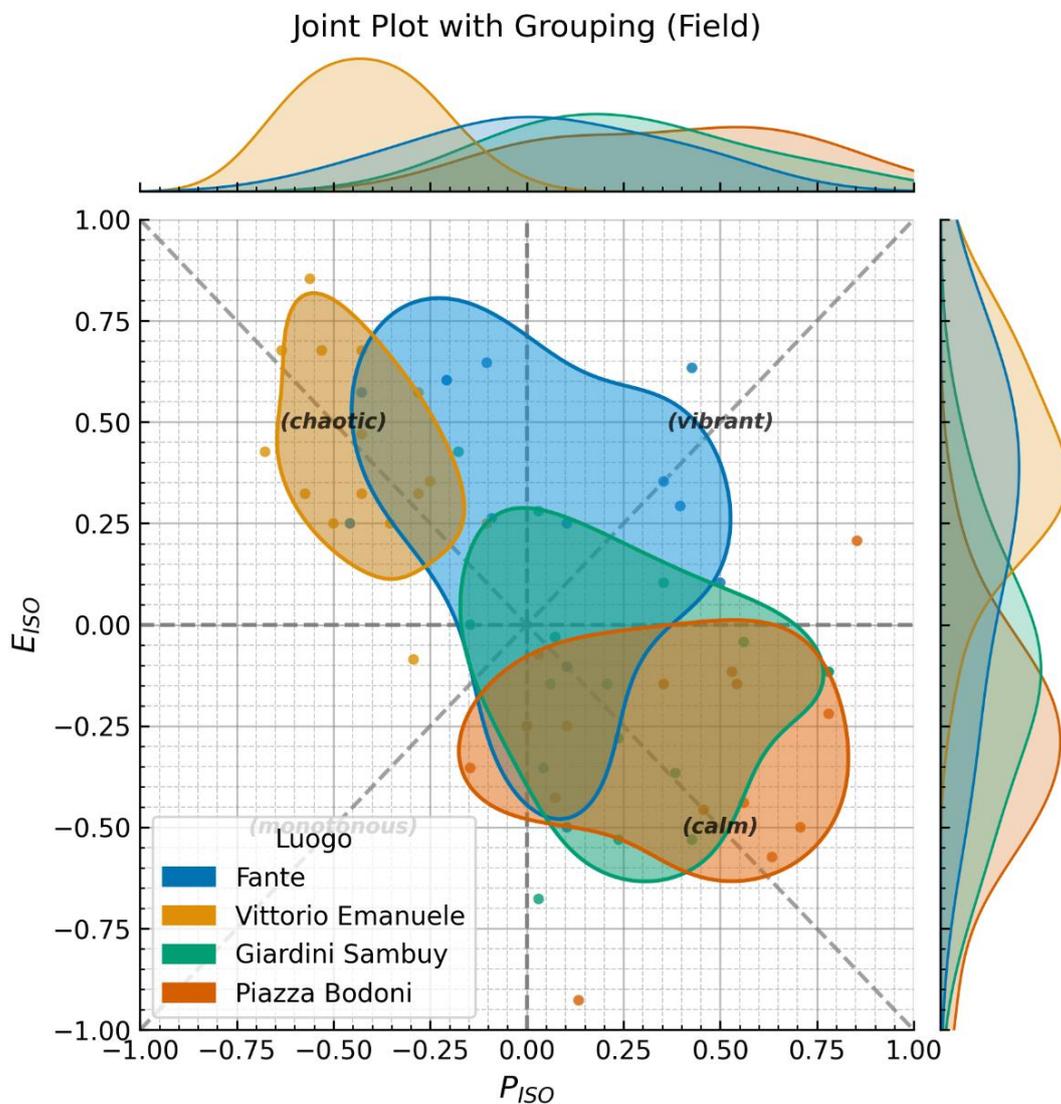


Figura 38: joint plot delle quattro fermate analizzate durante la soundwalk del 15/04/2025

Le sezioni 4 e 5 del questionario hanno infine permesso ai soggetti di esprimere tramite scale Likert l'eventuale fastidio percepito nel paesaggio sonoro (fig. 39), l'adeguatezza di quest'ultimo al contesto (fig. 40) e l'appropriatezza della situazione architettonica e urbanistica (fig. 41). Coerentemente con quanto emerso dall'analisi con Soundscapy, la fermata più gradita è risultata essere Piazza Bodoni, mentre quelle più sgradite sono state Fante e Vittorio Emanuele; di queste ultime due, la prima risulta essere l'unica in cui è stata sottolineata una minore adeguatezza dei suoni rispetto al contesto, mentre la seconda ha ricevuto un punteggio minore nella valutazione architettonico-urbanistica.

L'insieme di queste analisi sui dati soggettivi mostra una stretta affinità con i parametri psicoacustici raccolti, ma ci permette anche di aumentare la consapevolezza del contesto sonoro. Nonostante tutte le possibili informazioni deducibili dalle registrazioni binaurali, esse non possono spiegare fino in fondo i motivi che hanno spinto una fermata come Fante ad essere percepita in modo così ambivalente, o la piacevolezza riscontrata nella fermata Piazza Bodoni. La potenza e la versatilità del metodo soundscape per l'analisi di spazi sonori sono dunque confermate ulteriormente, nel suo piccolo, anche da questa soundwalk.

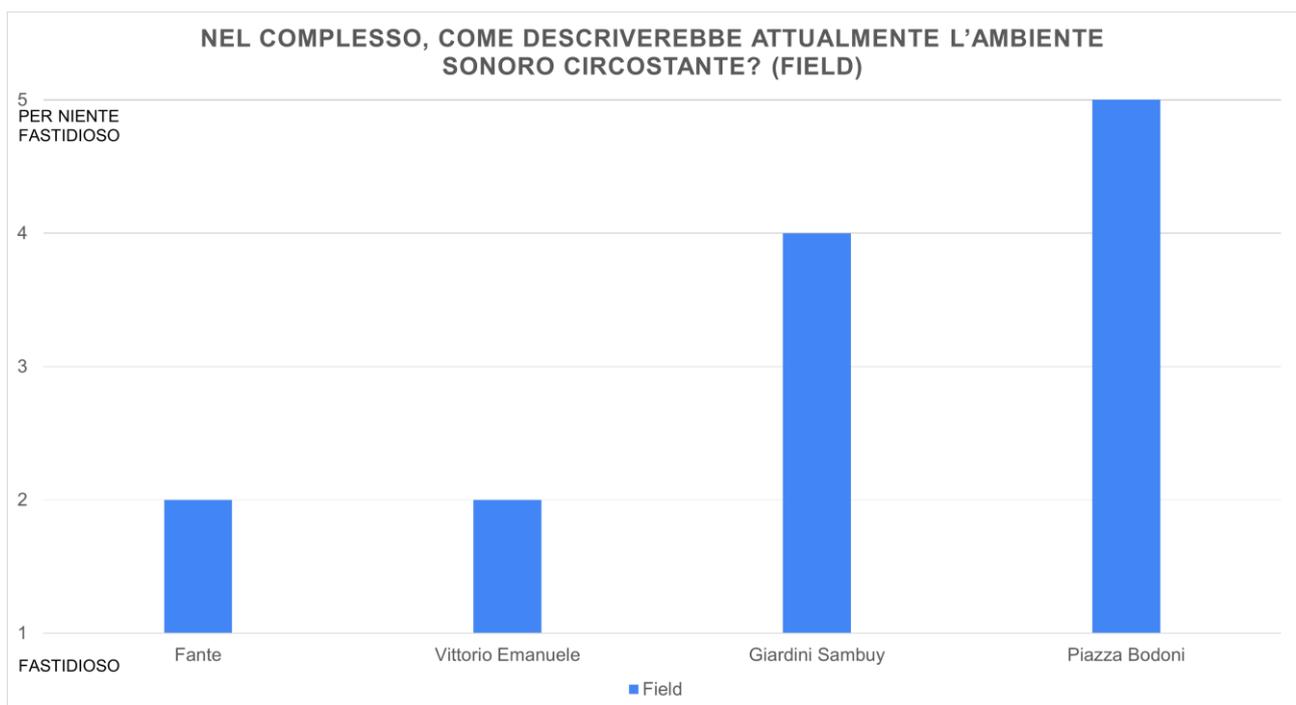


Figura 39: descrizione dell'ambiente sonoro

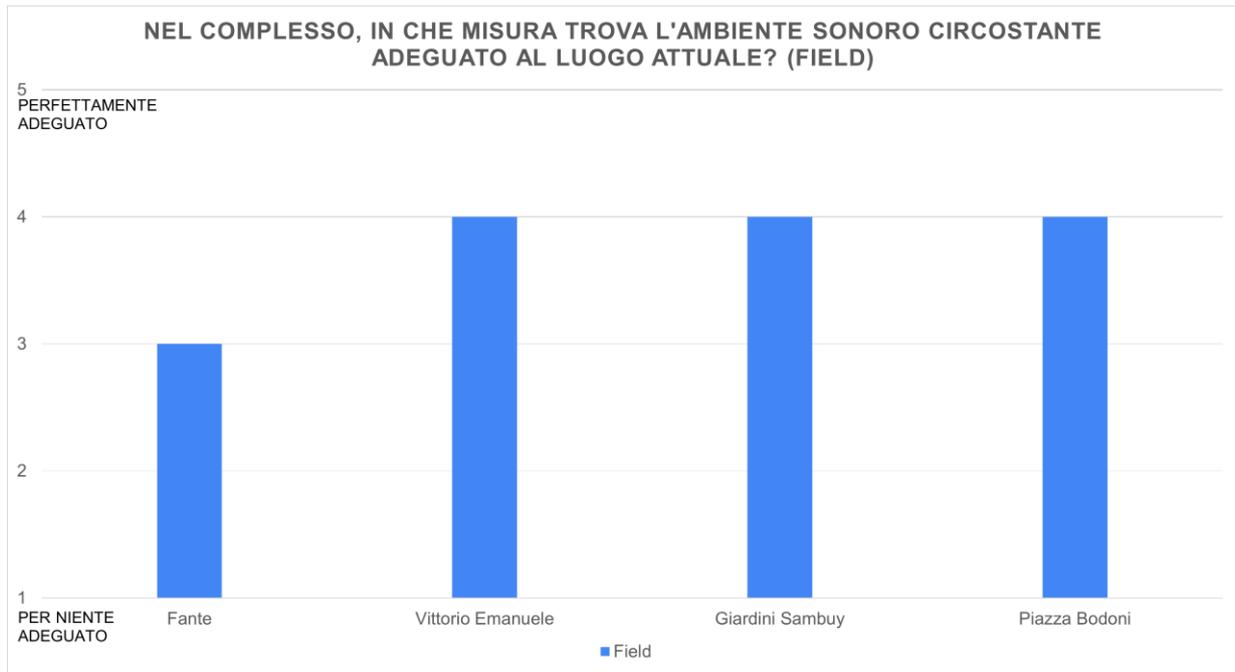


Figura 40: valutazione dell'adeguatezza sonora al contesto

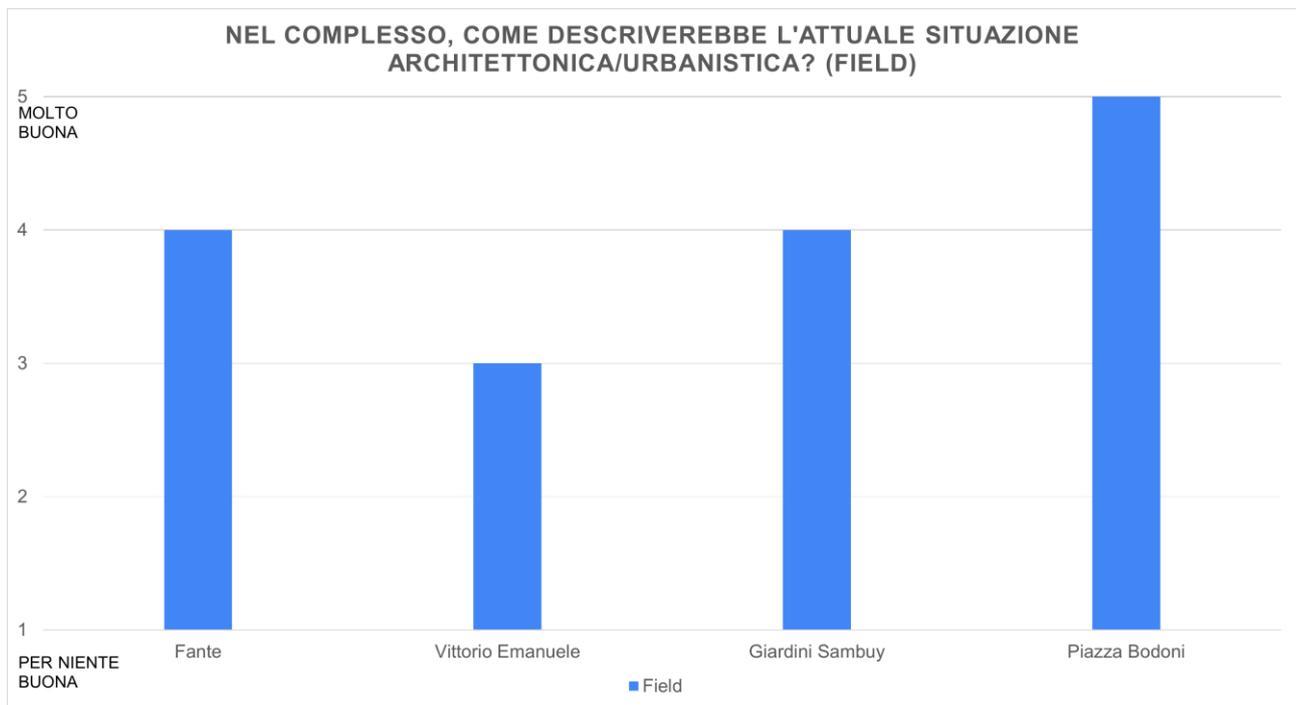


Figura 41: valutazione della situazione architettonica e urbanistica

### 3.4: Esperimento in laboratorio - Metodi

Per rispondere alle domande di ricerca di questo studio è essenziale assicurarsi di riproporre in laboratorio l'esperimento effettuato in situ nel modo più fedele possibile. Per fare ciò, la ricostruzione della passeggiata sonora è stata strutturata nell'Audio Space Lab del Politecnico di Torino (fig. 42), equipaggiato con 18 altoparlanti: 2 di tipo subwoofer e 16 disposti a sfera, per circondare interamente l'ascoltatore che si ponga al centro della stanza. Questo setup permette la riproduzione di audio in formato ambisonics del terzo ordine, aumentando la resa immersiva a livello spaziale. La "soundwalk virtuale" è stata pensata come una replica in solitaria dell'esperimento in campo: all'inizio del mese di giugno 2025, ogni singolo partecipante alla passeggiata di aprile ha potuto fare nuovamente esperienza del panorama visivo e sonoro di ognuna delle quattro fermate per circa due minuti, compilando successivamente un nuovo questionario, identico a quello presentato in ambiente urbano. In seguito, è stata effettuata una nuova misura dei parametri psicoacustici all'interno del laboratorio. Questi dati sono poi stati analizzati con gli stessi metodi dell'esperimento in situ per valutare la fedeltà della replica e della risposta agli stimoli ripresentati.



Figura 42: Audio Space Lab

### 3.4.1: RIPRODUZIONE DEGLI AMBIENTI: COMPONENTE AUDIO

L'audio registrato in Ambisonics durante la soundwalk è stato fondamentale per permettere una riproduzione in laboratorio correttamente spazializzata. Per garantire una sufficiente immersività, i quattro file audio sono stati estesi da 2 minuti ad una durata di 7:30 minuti, stimando il tempo necessario a rivivere l'esperienza e a compilare successivamente il questionario.

Perché i file fossero tutti riprodotti con il livello target corretto, è stata effettuata una calibrazione: un microfono, posizionato al centro dell'array di altoparlanti, è stato collegato ad un fonometro per registrare un segnale di calibrazione generato da un calibratore, il quale è stato inserito sulla capsula microfonica. Tramite il software Bidule, le quattro tracce Ambisonics sono state successivamente riprodotte ad una ad una, posizionando al centro del sistema il microfono; quest'ultimo è stato a sua volta collegato al PC per registrare, sempre tramite Bidule, il suono impattante.

Le quattro registrazioni sono state utilizzate per calcolare quanto fosse necessario alterare il guadagno al momento della riproduzione di ciascuna traccia per raggiungere il livello target richiesto, ovvero per riprodurre fedelmente la scena sonora senza alterazioni di volume. Il livello target corrispondeva al valore di livello  $L_z$  ottenuto per ogni fermata durante la soundwalk di aprile tramite fonometro. Utilizzando il software MATLAB sono stati importati sia il file di calibrazione iniziale che le registrazioni delle quattro fermate, e tramite uno script apposito è stato ottenuto il guadagno da impostare per ciascuna registrazione. Tale guadagno è stato impostato manualmente ogni volta che fosse necessario riprodurre un ambiente diverso.

### 3.4.2: RIPRODUZIONE DEGLI AMBIENTI: COMPONENTE VIDEO

Per ricostruire la componente video sono stati utilizzati i file registrati durante la passeggiata sonora tramite la camera Insta360 One X2. I video sono stati trattati utilizzando il software DaVinci Resolve per la rimozione di alcuni artefatti dell'immagine, dovuti alla presenza di cavi nel campo visivo, e per aggiungere una dissolvenza a nero all'inizio e alla fine del video; è stata poi riscalata la risoluzione, da 5.1K a 4K, per evitare incompatibilità con i passaggi successivi. In seguito, i quattro video sono stati riprodotti sul visore HMD Meta Quest 2 tramite il motore grafico Unreal Engine, avviato su PC Windows; in questo modo il visore ha potuto ricevere i video dal PC tramite collegamento cablato. Questa organizzazione è stata necessaria per permettere un corretto avvio in contemporanea della riproduzione audio e della riproduzione video; essa è stata gestita tramite un altro script MATLAB, che mettendo in comunicazione Bidule, Unreal Engine e Meta Quest 2 ha permesso una perfetta sincronizzazione.

### 3.4.3: PARTECIPANTI E SVOLGIMENTO

In un arco di tempo compreso tra il 2 e il 6 giugno 2025, sono stati richiamati in laboratorio tutti i partecipanti all'esperienza in ambiente urbano. Ad ogni partecipante, previa firma di una liberatoria sulla raccolta ed utilizzo dei dati, è stato chiesto di sedersi su una sedia girevole posizionata al centro dell'Audio Space Lab e di indossare il visore; successivamente, per ogni fermata, è stata avviata la riproduzione di audio e video in contemporanea tramite MATLAB. Ogni soggetto ha potuto così rivedere il girato registrato ad aprile, circondato dal suono spazializzato.

L'arrivo, dopo due minuti, della dissolvenza a nero nei video segnalava ai soggetti che il visore poteva essere tolto, e che era necessario compilare il questionario sul proprio cellulare. La compilazione è avvenuta mantenendo in sottofondo l'audio della fermata, per garantire immersività e permettere una valutazione accurata del paesaggio sonoro. Una volta compilato il questionario per una fermata, l'audio è stato fermato, ed è stato chiesto al partecipante di indossare nuovamente il visore. La procedura è stata così ripetuta quattro volte per ogni persona. Una volta terminata la valutazione tramite questionario, sono stati raccolti pareri ed impressioni verbali di ogni partecipante, funzionali ad una migliore interpretazione dei nuovi dati raccolti. Per ogni soggetto, il tempo complessivo dell'esperienza non ha superato i 40 minuti.

### 3.4.4: ACQUISIZIONI BINAURALI E CALIBRAZIONE

Al termine delle sessioni di laboratorio, è stata effettuata una nuova misurazione dei parametri psicoacustici. Questa è stata gestita calibrando la testa artificiale analogica HSU III.2 di HEAD Acoustics, seguendo la stessa procedura già descritta nel capitolo 3.2.3. La testa è poi stata posizionata al centro dell'array di altoparlanti, e tramite SQobold sono stati registrati due minuti di acquisizione binaurale per ognuna delle quattro tracce Ambisonics, riprodotte dagli altoparlanti.



Figura 43: calibrazione della testa artificiale in Audio Space Lab

## 3.5: Esperimento in laboratorio - Analisi dei dati e confronto con condizioni in situ

### 3.5.1: PARAMETRI PSICOACUSTICI

I parametri psicoacustici sono stati calcolati, come nel capitolo 3.3, con il software ArtemiS di HEAD Acoustics. Per coerenza, sono stati scelti gli stessi parametri dell'esperimento sul campo (fig. 17), e allo stesso modo sono state esportate anche le rappresentazioni grafiche dello spettrogramma e dell'evoluzione del livello sonoro nel tempo per ogni fermata (fig. 44 – 47).

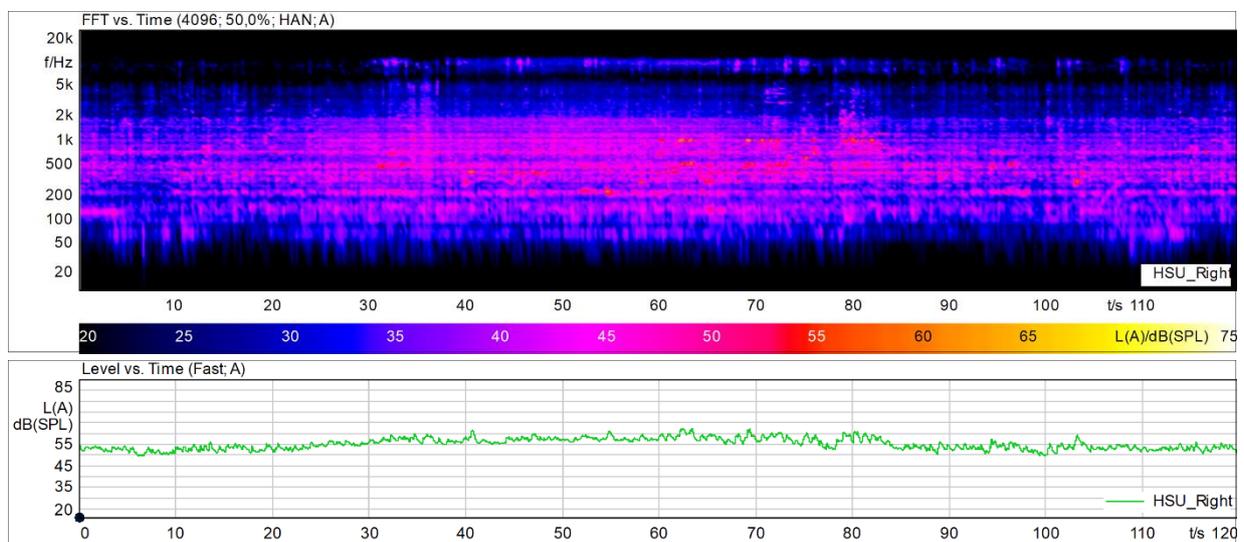


Figura 44: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata FANTE (Laboratorio)

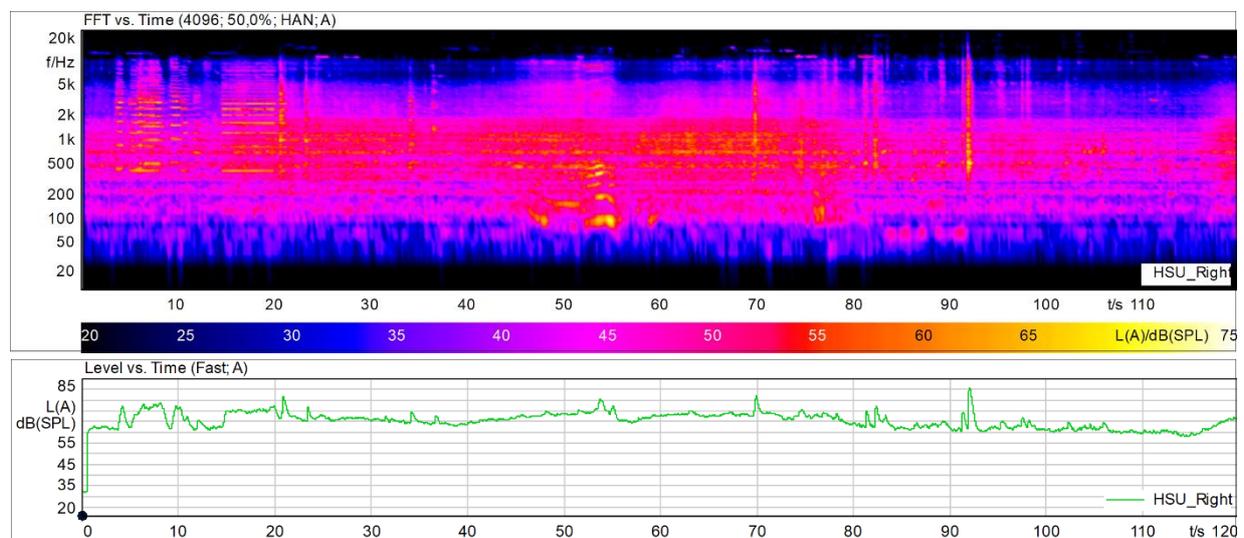


Figura 45: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata VITTORIO EMANUELE (Laboratorio)

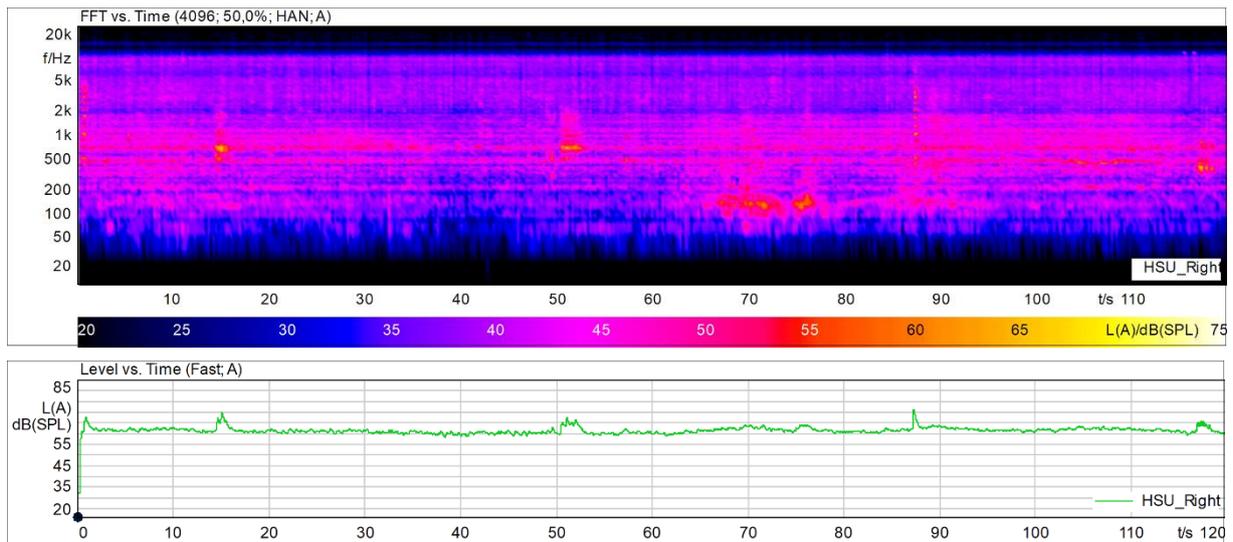


Figura 46: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata GIARDINI SAMBUY (Laboratorio)

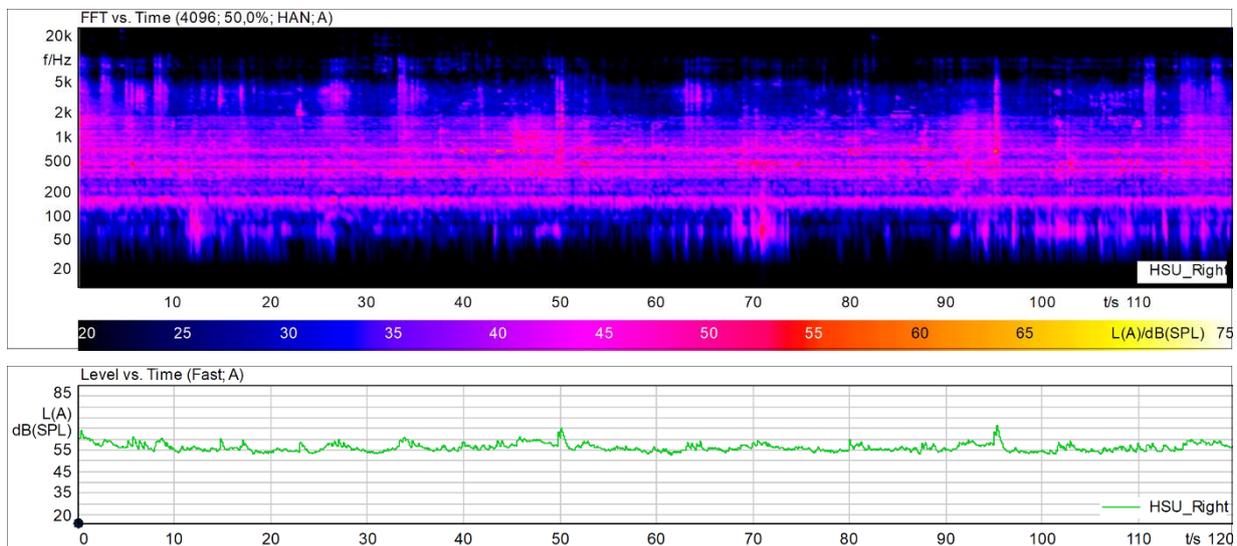


Figura 47: spettrogramma ed evoluzione livello sonoro per la fermata PIAZZA BODONI (Laboratorio)

Una prima analisi dei cambiamenti avvenuti nel passaggio in laboratorio può essere già svolta guardando gli spettrogrammi. Si nota un generale spostamento del contenuto spettrale verso le alte frequenze, specialmente nel caso delle fermate Vittorio Emanuele e Piazza Bodoni. In quest'ultima poi, il cambiamento è particolarmente evidente: le componenti impulsive, dovute per la maggior parte al passaggio di automobili su grate metalliche in un parcheggio sotterraneo poco lontano dal punto di registrazione, appaiono più pronunciate e meno integrate nell'impasto sonoro. Anche nelle altre due fermate vi sono differenze notevoli: in Fante sono presenti delle anomale componenti ad alta frequenza, mentre in Giardini Sambuy appaiono accentuate alcune porzioni dello spettro tra i 500 e i 1000 Hz. Nel complesso si assiste ad una perdita più o meno pronunciata delle basse frequenze, e soprattutto ad un aumento del contenuto spettrale nelle alte frequenze per tutte le quattro fermate.

I parametri psicoacustici calcolati da Artemis sono stati nuovamente divisi per affinità e in base alle fermate nelle tabelle seguenti (tabelle 12 – 15).

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>L<sub>Aeq</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>5</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>95</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>Ceq</sub> [dB(C)]</b>
Fante	L	59,1	62,5	54,3	67,9
Fante	R	57,3	60,4	52,7	67,7
Vittorio Emanuele	L	68,1	72,8	60,7	77,3
Vittorio Emanuele	R	67,9	72,6	60,5	77,6
Giardini Sambuy	L	61,2	63,3	58,5	70,3
Giardini Sambuy	R	60,7	63,3	57,9	70,2
Piazza Bodoni	L	58,4	60,1	55,0	66,4
Piazza Bodoni	R	57,8	61,0	54,6	66,2

Tabella 12: livello equivalente A con rispettivi percentili e livello C, calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO)

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>N</b> [sone]	<b>N<sub>5</sub></b> [sone]	<b>N<sub>95</sub></b> [sone]	<b>N<sub>cm</sub></b> [sone]
Fante	L	13,5	15,6	9,2	12,6
Fante	R	11,7	13,8	8,2	11,1
Vittorio Emanuele	L	25,1	30,3	14,7	22,4
Vittorio Emanuele	R	24,8	30,5	14,5	22,4
Giardini Sambuy	L	17,0	18,7	13,8	16,2
Giardini Sambuy	R	16,5	18,3	13,1	15,6
Piazza Bodoni	L	12,7	13,7	9,4	11,5
Piazza Bodoni	R	12,4	14,0	9,3	11,4

Tabella 13: loudness, percentili e media cubica calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO)

<b>Luogo</b>	<b>Canale</b>	<b>S</b> [acum]	<b>S<sub>5</sub></b> [acum]	<b>S<sub>95</sub></b> [acum]	<b>T</b> [tu <sub>HMS</sub> ]
Fante	L	1,26	1,5	1,1	0,248
Fante	R	1,06	1,2	0,9	0,209
Vittorio Emanuele	L	1,22	1,4	1,1	0,724
Vittorio Emanuele	R	1,25	1,4	1,1	0,718
Giardini Sambuy	L	1,58	1,7	1,4	0,153
Giardini Sambuy	R	1,61	1,8	1,4	0,149
Piazza Bodoni	L	1,10	1,3	1,0	0,262
Piazza Bodoni	R	1,10	1,3	1,0	0,276

Tabella 14: sharpness (con percentili) e tonality calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO)

Luogo	R <sub>10</sub> [casper]	R <sub>50</sub> [casper]	F <sub>10</sub> [vacil <sub>HMS</sub> ]	F <sub>50</sub> [vacil <sub>HMS</sub> ]
Fante	17,1	14,2	0,3	0,2
Vittorio Emanuele	18,0	14,4	0,4	0,2
Giardini Sambuy	11,1	7,9	0,2	0,1
Piazza Bodoni	17,1	14,0	0,3	0,2

Tabella 15: percentili di roughness e fluctuation strength calcolati da ArtemiS per ogni fermata (LABORATORIO)

Per cogliere più efficacemente i cambiamenti rilevati in laboratorio, risulta utile visualizzare le differenze tra i valori dei singoli parametri psicoacustici per ogni fermata (tabelle 16 – 19). I quattro fenomeni più marcatamente presenti consistono in una notevole diminuzione del livello equivalente  $L_{Ceq}$ , in un aumento del livello  $L_{Aeq}$ , della loudness e dei loro rispettivi percentili nella fermata Giardini Sambuy, in un abbassamento di livello equivalente e loudness nella fermata Fante e nella diminuzione consistente del parametro roughness in tutte le fermate.

Parametro	In campo	In laboratorio	Differenza	JND [16]
L <sub>Aeq</sub> [dB]	58,2	56,4	<b>-1,8</b>	~3 dB
L <sub>Ceq</sub> [dB]	67,8	64,4	<b><u>-3,4</u></b>	~3 dB
N [sone]	12,6	11,8	<b>-0,8</b>	~1 sone
S [acum]	1,16	1,42	<b><u>0,27</u></b>	~0,04-0,08 acum
T [tu <sub>HMS</sub> ]	0,23	0,23	0	[non reperibile]
R <sub>50</sub> [asper]	0,14	0,09	<b><u>-0,05</u></b>	~0,02 asper
F <sub>50</sub> [vacil <sub>HMS</sub> ]	0,2	0,2	0	[non reperibile]

Tabella 16: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata FANTE)

Parametro	In campo	In laboratorio	Differenza	JND [16]
<b>L<sub>Aeq</sub></b> [dB]	68,0	68,4	0,4	~3 dB
<b>L<sub>Ceq</sub></b> [dB]	77,5	74,9	<b>-2,4</b>	~3 dB
<b>N</b> [sone]	25,0	26,0	<b>1</b>	~1 sone
<b>S</b> [acum]	1,24	1,47	<b>0,23</b>	~0,04-0,08 acum
<b>T</b> [tu <sub>HMS</sub> ]	0,72	0,54	-0,18	[non reperibile]
<b>R50</b> [asper]	0,14	0,10	<b>-0,04</b>	~0,02 asper
<b>F50</b> [vacil <sub>HMS</sub> ]	0,2	0,2	0	[non reperibile]

Tabella 17: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata VITTORIO EMANUELE)

Parametro	In campo	In laboratorio	Differenza	JND [16]
<b>L<sub>Aeq</sub></b> [dB]	60,9	62,6	<b>1,7</b>	~3 dB
<b>L<sub>Ceq</sub></b> [dB]	70,3	68,5	<b>-1,8</b>	~3 dB
<b>N</b> [sone]	16,7	18,8	<b>-0,8</b>	~1 sone
<b>S</b> [acum]	1,60	1,94	<b>0,34</b>	~0,04-0,08 acum
<b>T</b> [tu <sub>HMS</sub> ]	0,15	0,17	0,2	[non reperibile]
<b>R50</b> [asper]	0,08	0,02	<b>-0,06</b>	~0,02 asper
<b>F50</b> [vacil <sub>HMS</sub> ]	0,2	0,2	0	[non reperibile]

Tabella 18: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata GIARDINI SAMBUY)

Parametro	In campo	In laboratorio	Differenza	JND [16]
<b>L<sub>Aeq</sub></b> [dB]	58,1	57,6	-0,5	~3 dB
<b>L<sub>Ceq</sub></b> [dB]	66,3	65,7	-0,6	~3 dB
<b>N</b> [sone]	12,6	13,1	0,5	~1 sone
<b>S</b> [acum]	1,10	1,36	<b>0,26</b>	~0,04-0,08 acum
<b>T</b> [tu <sub>HMS</sub> ]	0,27	0,20	-0,07	[non reperibile]
<b>R50</b> [asper]	0,14	0,09	<b>-0,05</b>	~0,02 asper
<b>F50</b> [vacil <sub>HMS</sub> ]	0,2	0,2	0	[non reperibile]

Tabella 19: differenze tra le misure in campo e in laboratorio dei parametri psicoacustici (fermata PIAZZA BODONI)

Durante questi confronti, è importante tenere conto dei valori di *Just Noticeable Difference* (JND), ovvero dei minimi valori di variazione dei parametri psicoacustici tali da rendere percepibili concreti cambiamenti nella percezione uditiva. Nel caso di questa ricerca, i valori di livello equivalente  $L_{Ceq}$ , loudness e specialmente sharpness e roughness hanno in più occasioni superato le loro rispettive JND nel passaggio alle condizioni di laboratorio: la JND del livello equivalente, con riferimento a 3 dB per suoni presentati separatamente, o in ambienti reali, è stata superata nel caso della fermata Fante, mentre la JND del parametro loudness, pari a circa 1 sone per stimoli complessi e ambientali, risulta oltrepassata in Giardini Sambuy. La JND del parametro sharpness (0,04-0,08 acum, a seconda del contenuto spettrale) è stata invece ampiamente superata in tutte le fermate, specialmente in Giardini Sambuy, dove la differenza tra caso in situ ed in laboratorio supera i 0,3 acum; una considerazione inversa vale per il parametro roughness, costantemente diminuito nel passaggio al laboratorio, seppur in proporzioni minori rispetto alle variazioni della sharpness.

Queste osservazioni costituiscono una conferma di quanto già osservato dagli spettrogrammi poco sopra: il livello equivalente  $L_{Ceq}$ , rispetto a  $L_{Aeq}$ , considera maggiormente il peso delle frequenze basse e medio-basse, e il suo abbassamento ci dice che parte di questo contenuto spettrale è probabilmente andato perduto; abbiamo infatti dei consistenti abbassamenti di livello che in un'occasione superano i -3 dB, con un conseguente dimezzamento della potenza sonora. Ciononostante, la loudness non sembra essere stata particolarmente intaccata da questo calo, ma questo dipende dalla natura stessa della grandezza: l'orecchio umano è meno sensibile alla diminuzione delle basse frequenze, e queste entrano meno in gioco nella percezione dell'intensità sonora. In più, l'aumento del parametro sharpness, ben oltre la sua JND, può indicare che la maggiore presenza di alte frequenze possa aver contribuito ulteriormente al generale leggero aumento della loudness percepita. L'aumento di livello e loudness in Giardini Sambuy è un'altra manifestazione dello stesso fenomeno, poiché una minore presenza delle componenti a bassa frequenza accentua generalmente la percezione delle frequenze più alte, spesso a conseguenza della scomparsa di eventuali effetti di mascheramento. La fermata, contraddistinta dall'intenso suono della fontana, è particolarmente critica per via del marcato contenuto di frequenze alte e medio-alte, ed è quella che più è stata alterata nel passaggio al laboratorio. Infine, l'abbassamento consistente di roughness indica una possibile perdita di dettaglio modulato nella riproduzione delle scene in laboratorio.

Queste considerazioni sono supportate da visualizzazioni dell'andamento della sharpness rispetto alla loudness (fig. 48) e alla tonality (fig. 49). La sharpness è aumentata costantemente, mentre la tonality è generalmente diminuita, in maggior misura per la fermata Vittorio Emanuele. I suoni tonali sono maggiormente sensibili ad eventuali degradazioni e alterazioni del contenuto spettrale, e questo può aver influito sulla diminuzione della tonality al momento della riproduzione in laboratorio.

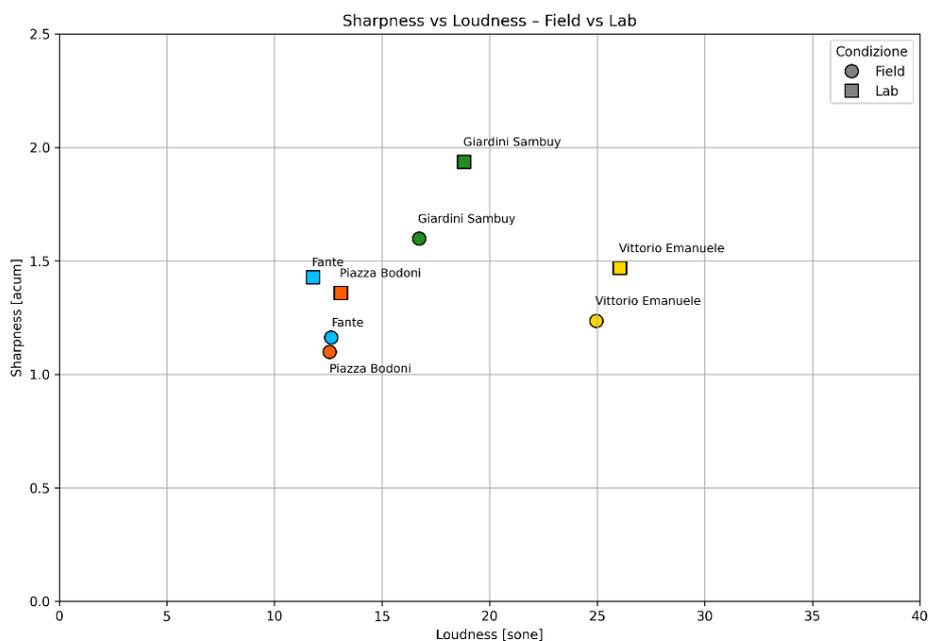


Figura 48: Sharpness vs Loudness per ogni fermata della soundwalk, confronto in campo-lab

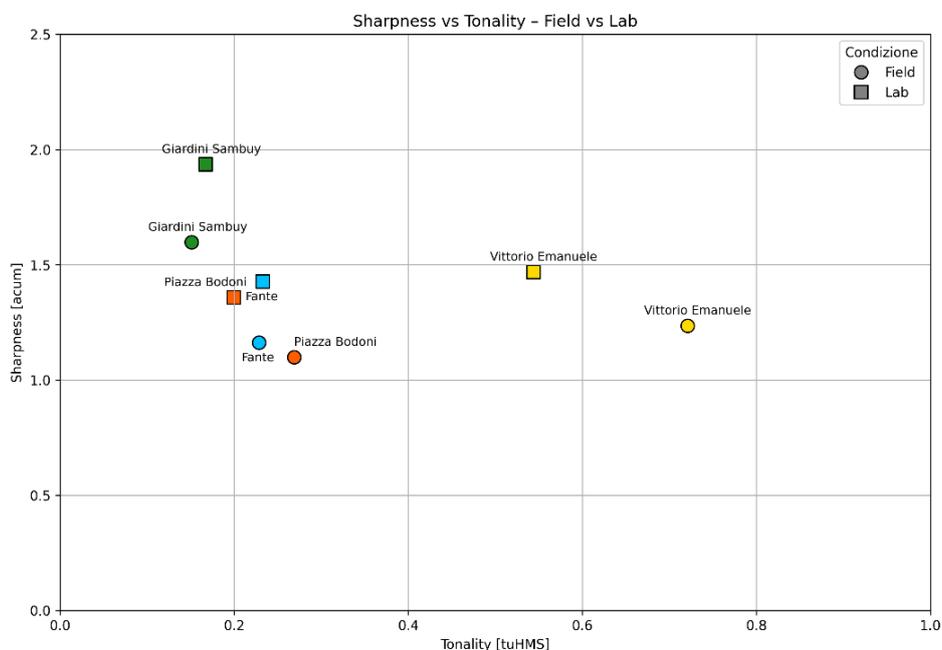


Figura 49: Sharpness vs Tonality per ogni fermata della soundwalk, confronto in campo-lab

Il consistente abbassamento di livello e loudness nella fermata Fante può essere dovuto alla forte presenza della musica, una componente del paesaggio sonoro che però, essendo stata registrata da lontano, vedeva le frequenze medio-basse e medie prevalere sulle frequenze alte; queste, più direzionali e prone all'assorbimento atmosferico, decadono più velocemente con la distanza dalla sorgente sonora. La musica presente nella registrazione Ambisonics effettuata in Fante era infatti molto riverberata, con una chiara enfasi nella parte più bassa dello spettro sonoro. Il decadere del livello equivalente C (e quindi delle basse frequenze), combinato con l'assenza di contenuti rilevanti in alta frequenza, ha probabilmente causato l'abbassamento della loudness per questa fermata. Oltretutto, nel passaggio alla riproduzione in laboratorio sembra essere diminuita anche la direzionalità del suono percepito in Fante: i grafici di livello equivalente (fig. 50) e loudness (fig. 51) vaper questa condizione ci mostrano valori molto simili tra orecchio destro e sinistro.

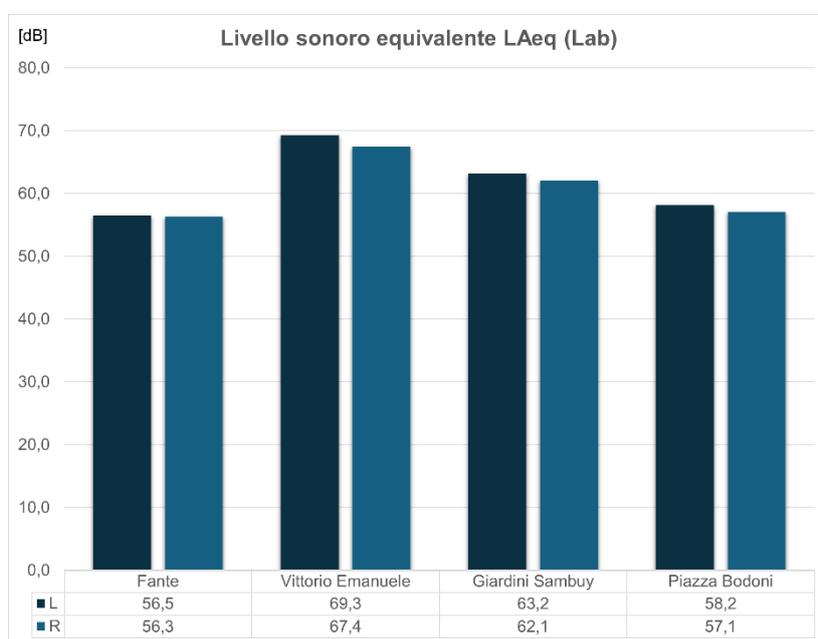


Figura 50: andamento del livello sonoro equivalente nella condizione di laboratorio

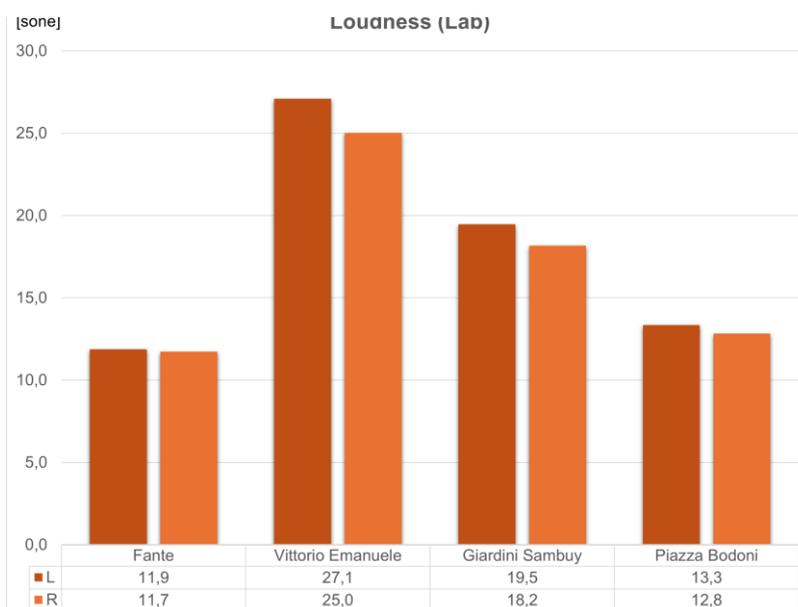


Figura 51: andamento della loudness nella condizione di laboratorio

### 3.5.1.1: Analisi statistiche sui dati psicoacustici (in laboratorio)

I correlogrammi di Pearson (fig. 52) e Spearman (fig. 53) danno ulteriore supporto alle considerazioni generali precedenti: rispetto all'analisi in contesto urbano, il parametro sharpness aumenta leggermente la sua correlazione con loudness e con  $L_{Aeq}$ ; tuttavia, vede la correlazione con  $L_{Ceq}$  diminuire, in accordo con la presenza di un calo del contenuto spettrale a bassa frequenza o con un'accentuazione delle alte frequenze, entrambi possibili effetti della riproduzione in laboratorio.

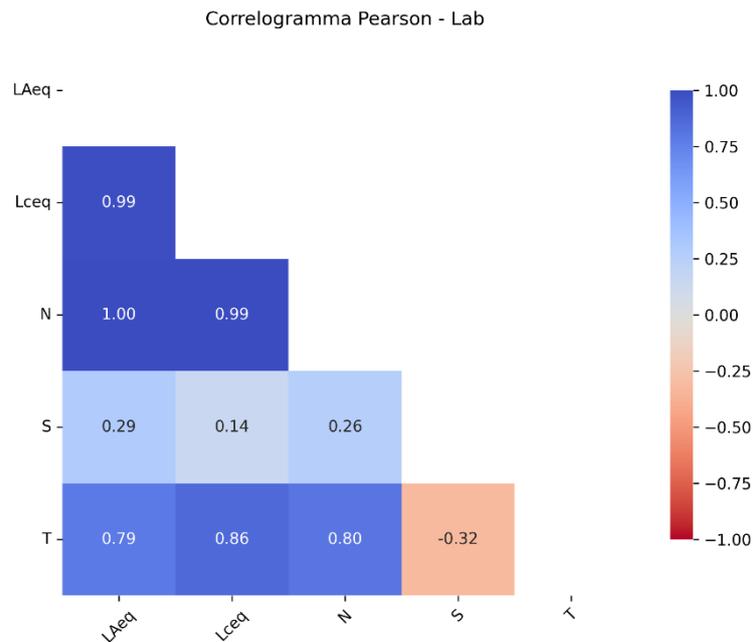


Figura 52: correlogramma di Pearson, caso di laboratorio (media canali L ed R)

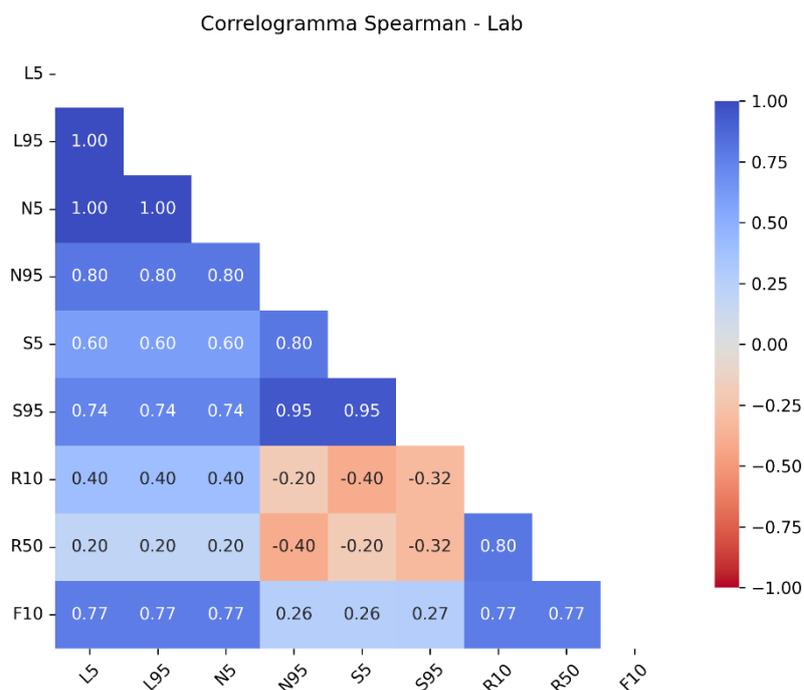


Figura 53: correlogramma di Spearman, caso di laboratorio (media canali L ed R)

Alla luce di queste osservazioni, è chiaro che la riproduzione del materiale sonoro in laboratorio abbia subito alterazioni, che possono essere state dovute ad una risposta in frequenza non piatta del laboratorio stesso o ad una non perfetta calibrazione degli altoparlanti in Audio Space Lab. Ciononostante, queste differenze sono comunque tendenzialmente accettabili e non abbastanza grandi da presupporre un'influenza profonda sulle considerazioni soggettive dei partecipanti alla ricerca.

### 3.5.2: PARAMETRI SOGGETTIVI: MISURA, INTERPRETAZIONE E CONFRONTO CON I RISULTATI IN SITU

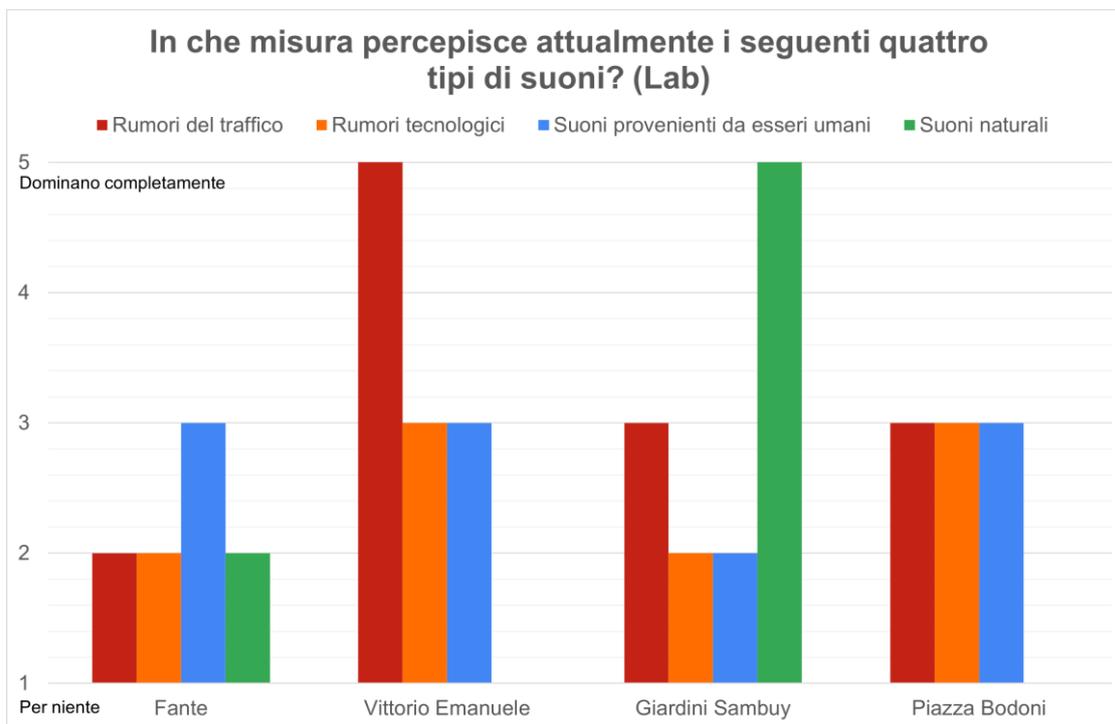


Figura 54: categorie di suoni percepiti per fermata, in base al calcolo della mediana, caso in laboratorio

Essendo il questionario presentato ai soggetti identico a quello già compilato dagli stessi durante la passeggiata sonora di aprile, è possibile confrontare direttamente le varie sezioni. Analizzando quella relativa alla *sound source identification* (fig. 54) si può notare un aumento del peso percettivo dei suoni naturali nella fermata Giardini Sambuy, probabilmente dovuto al maggior risalto che il suono della fontana presenta quando riprodotto in laboratorio. La fermata Fante vede un abbassamento percepito del traffico e dei rumori tecnologici; questi ultimi sono qui in controtendenza, poiché aumentano in tutte e tre le altre fermate, mentre il traffico aumenta anche in Piazza Bodoni. Nel complesso le alterazioni sono minime, e presentano un profilo sonoro in linea con quanto già visto nelle valutazioni sul campo.

Le considerazioni più interessanti vengono offerte dalla libreria Soundscapy. Il quadro complessivo della situazione mostra delle valutazioni in laboratorio coerenti con quanto visto in ambiente urbano: le varie fermate mantengono generalmente la loro posizione spaziale all'interno del grafico pleasantness-evenfulness (fig. 55), con alcuni cambiamenti implicabili ad una varietà di fattori di carattere sonoro, psicologico e tecnico.

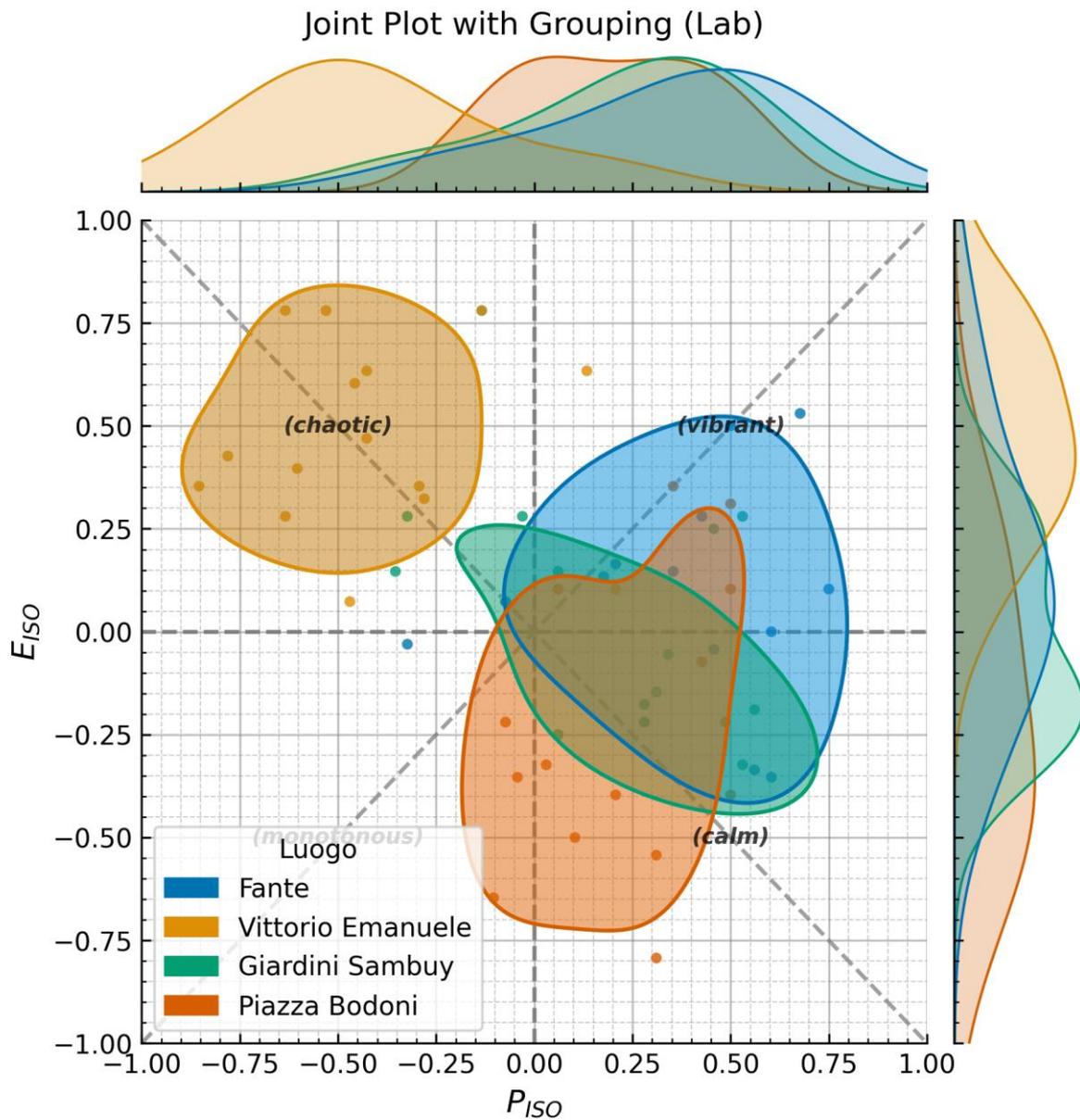


Figura 55: joint plot delle quattro fermate analizzate in laboratorio

Il cambiamento più importante riguarda la fermata Fante, e non è di poco conto. Tra tutte le fermate in esame, Fante è quella che più ha cambiato la sua collocazione nel grafico, posizionandosi più convintamente verso il quadrante degli ambienti vivaci, e presentando nel caso di laboratorio la maggiore distribuzione sull'asse della pleasantness. Per contrasto, la fermata Piazza Bodoni si presenta molto meno orientata verso la percezione di piacevolezza rispetto alla soundwalk di aprile: dalla sua distribuzione sull'asse X si nota come essa venga superata anche dalla fermata Giardini Sambuy. Infine, Vittorio Emanuele si presenta convintamente nel quadrante del grafico descrivente gli ambienti caotici, sebbene con una distribuzione meno netta; la convinta risposta soggettiva espressa precedentemente in situ è diventata più sfumata con la riproduzione in laboratorio.

Soundscapy offre la possibilità di comparare le distribuzioni di singoli luoghi in sotto-diagrammi per condizioni differenti. Confrontando le singole fermate tra condizioni in campo e condizioni in laboratorio (fig. 56) è possibile notare immediatamente i cambiamenti descritti poco prima.

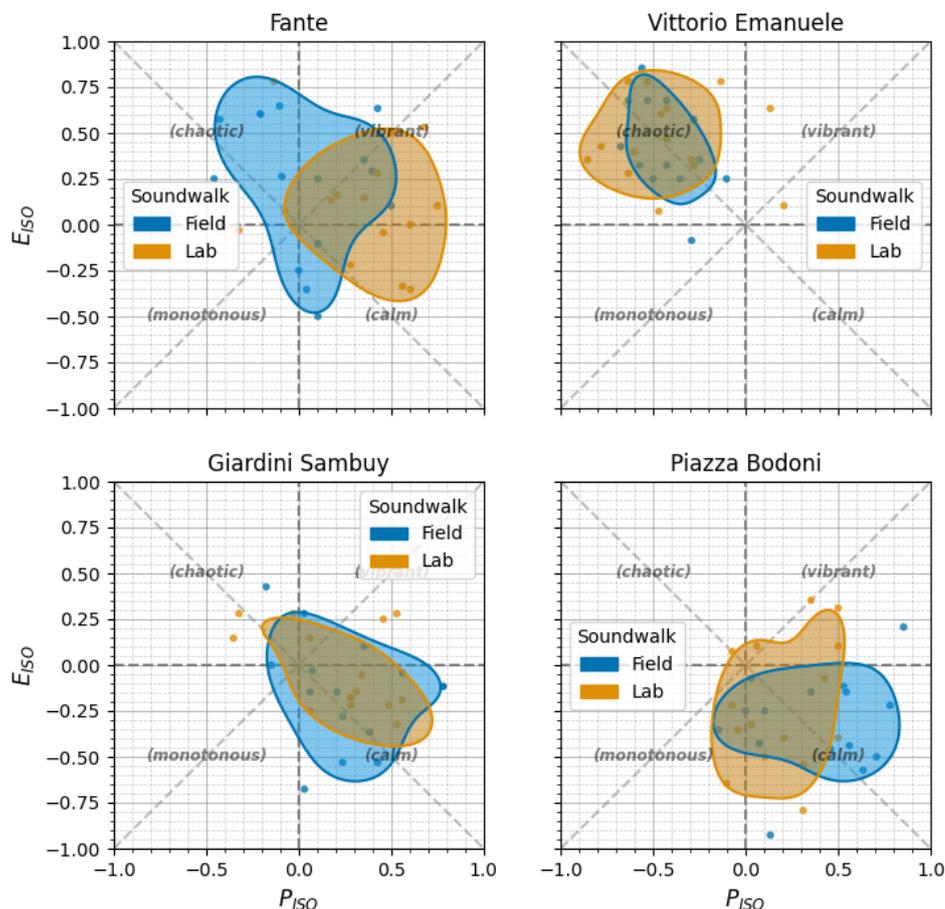


Figura 56: plot comparativi tra le fermate, valutate in caso in situ e in caso laboratorio

Il principale fattore che potrebbe spiegare una percezione della fermata Fante così alterata potrebbe essere identificato nella presenza della musica all'interno del paesaggio sonoro. È dimostrato che la musica può non solo migliorare la qualità percepita di un soundscape, ma anche incidere negativamente su di essa [42–44]. Nel caso di Fante, la musica rappresentava di gran lunga la fonte sonora più presente, ed è possibile che la valutazione soggettiva abbia risentito molto del contesto generale in cui essa era presentata. Al momento della passeggiata sonora, essa è stata probabilmente vista come un elemento di disturbo, specialmente in relazione al compito che ogni partecipante sentiva di dover svolgere: valutare il paesaggio sonoro. In una situazione del genere, la musica della giostra ha probabilmente costituito un elemento “*schema-opposed*” [45], ovvero un elemento presente in un ambiente da analizzare che a priori non avrebbe dovuto farne parte, o almeno non in tale misura. La giostra è in effetti spesso spenta per buona parte dell'anno, ed è probabile che i soggetti che avessero familiarità con il luogo abbiano maggiormente avvertito questo disagio.

Tuttavia, nel ritorno in laboratorio, è possibile che il contesto meno realistico ed il ricordo della presenza della musica abbiano creato una situazione nuova, nella quale questo elemento non si presentava più come disturbante, ma anzi gradevole. Considerando quanto visto con le analisi dei parametri psicoacustici, è possibile che in questo abbia influito anche la perdita di direzionalità nella riproduzione audio in laboratorio (fig. 50), e questa è in effetti una delle osservazioni verbali che i soggetti hanno riportato (tabella 22).

Per spiegare poi l'abbassamento del parametro di piacevolezza nella fermata Piazza Bodoni, alcune ipotesi possono essere vagliate già da un'analisi del contenuto spettrale. Come sottolineato in precedenza, è possibile che la maggior presenza delle componenti impulsive abbia avuto un'influenza negativa sulla percezione dell'ambiente. Anche questo è in effetti stato osservato dai partecipanti alla ricerca (tabella 22).

Per quanto riguarda le rimanenti sezioni del questionario, i cambiamenti sono in realtà minimi. La domanda sulla qualità sonora percepita vede prevedibilmente un forte aumento dei valori di mediana per la fermata Fante e una diminuzione per quelli di Piazza Bodoni, in accordo con l'interpretazione dei dati di Soundscape (fig. 57).

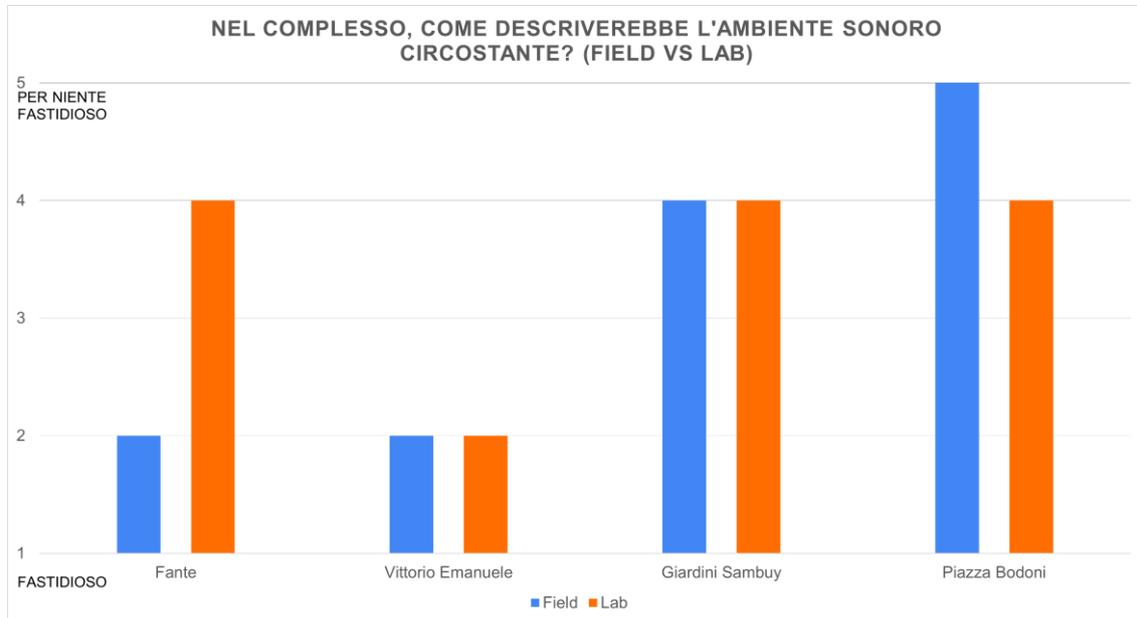


Figura 57: descrizione dell'ambiente sonoro, confronto tra caso in situ e in laboratorio

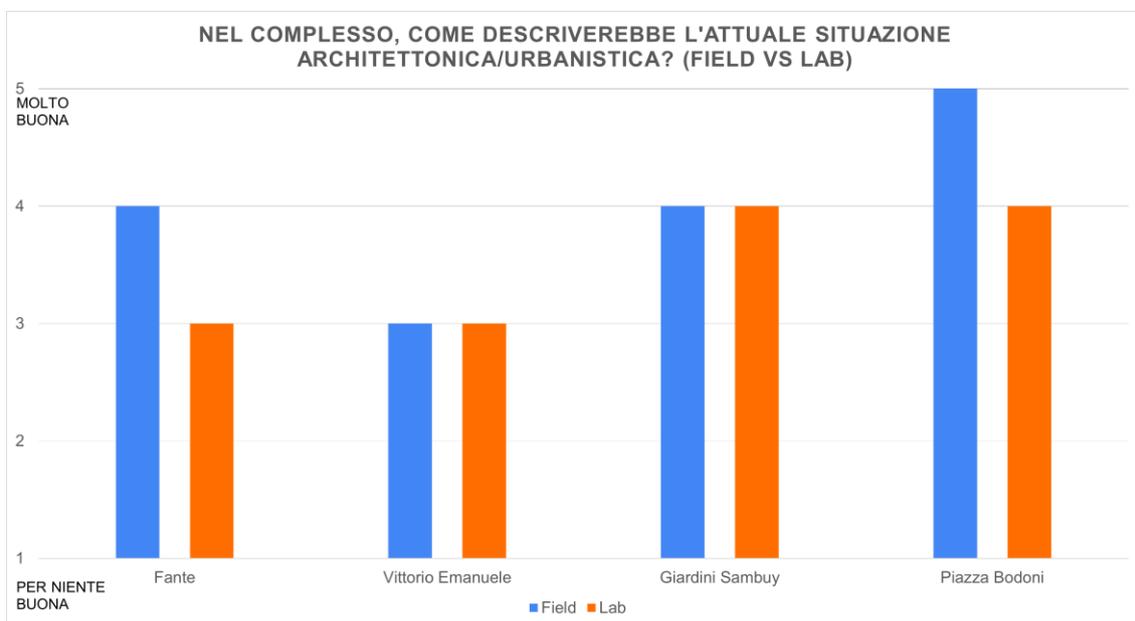


Figura 58: valutazione della situazione architettonica e urbanistica, confronto tra caso in situ e in laboratorio

La valutazione relativa all'adeguatezza del panorama sonoro al contesto ha presentato valori identici a quelli già esposti in fig. 40 per il caso in ambiente urbano, mentre la valutazione della situazione architettonica ha visto un calo nelle fermate Fante e Piazza Bodoni (fig. 58).

### 3.5.3: ANALISI STATISTICHE DI CONFRONTO TRA CASO DI LABORATORIO E CASO IN CAMPO SUI DATI SOGGETTIVI

Per valutare se le differenze tra caso urbano e laboratorio fossero statisticamente significative, è stato effettuato un confronto statistico per ciascun attributo PAQ. Come primo passo è stata verificata la normalità della distribuzione dei punteggi nelle due condizioni (ambiente urbano e laboratorio) tramite un test di Shapiro-Wilk. In base ai risultati ottenuti, per gli attributi che rispettavano l'assunzione di normalità è stato applicato un t-test (t di Student) per campioni appaiati, mentre per gli attributi che non rispettavano tale assunzione è stato invece preferito un test dei ranghi con segno di Wilcoxon. L'esito dei test ha dimostrato la presenza di differenze significative tra alcuni punteggi in due delle quattro fermate: Fante e Giardini Sambuy (tab. 20, 21).

PAQ	Test usato	p-value	Shapiro (p)	Statistica	Risultato
CAOTICO	t-test	0.0516	0.3958	2.128	Non significativa
DISTURBANTE	Wilcoxon	0.0169	0.0014	0.0	Significativa
MONOTONO	t-test	0.3015	0.2709	-1.073	Non significativa
STATICO	t-test	0.7284	0.4075	0.354	Non significativa
CALMO	Wilcoxon	0.0117	0.0481	3.5	Significativa
PIACEVOLE	Wilcoxon	0.0028	0.0085	4.0	Significativa
VIVACE	t-test	0.6976	0.1612	-0.397	Non significativa
DINAMICO	t-test	0.7367	0.2462	-0.343	Non significativa

Tabella 20: risultati dei test statistici per la fermata Fante

PAQ	Test usato	p-value	Shapiro (p)	Statistica	Risultato
CAOTICO	t-test	0.7284	0.0648	-0.354	Non significativa
DISTURBANTE	t-test	0.6337	0.2461	-0.487	Non significativa
MONOTONO	Wilcoxon	0.6662	0.0263	15.0	Non significativa
STATICO	Wilcoxon	0.0027	0.0	0.0	Significativa
CALMO	Wilcoxon	0.272	0.0293	10.5	Non significativa
PIACEVOLE	t-test	0.6534	0.0999	-0.459	Non significativa
VIVACE	t-test	0.2654	0.2347	-1.16	Non significativa
DINAMICO	t-test	0.709	0.1919	-0.381	Non significativa

Tabella 21: risultati dei test statistici per la fermata Giardini Sambuy

In linea con quanto osservato con Soundscapy, in Fante sono state trovate differenze significative per gli attributi *Disturbante*, *Calmo* e *Piacevole* ( $p$ -value con  $p < 0.05$ ). Il primo, in particolare, mostra un valore di Wilcoxon pari a 0, ad indicare che tutti i soggetti si sono mossi nella stessa direzione nel valutare la fermata come meno disturbante in laboratorio. Il  $p$ -value minore è invece associato all'attributo *Calmo*, che presenta quindi la maggiore differenza significativa. Queste verifiche confermano le impressioni precedentemente descritte con l'osservazione dei grafici. L'unica ulteriore differenza significativa è stata trovata per l'aggettivo *Statico* nella valutazione di Giardini Sambuy. Rispetto al caso in ambiente urbano, la percezione visibile dai grafici di Soundscapy per la prova in laboratorio mostra in effetti una maggiore distribuzione sull'asse dell'eventfulness.

Sono state poi raccolte in una tabella le opinioni verbali dei partecipanti espresse alla fine dell'esperimento in laboratorio (tabella 22). Nonostante siano presenti alcuni pareri discordanti su diversi temi, è emerso un accordo su alcuni punti che mostrano una consonanza con l'analisi quantitativa dei dati oggettivi e soggettivi, come la maggior presenza della musica percepita in Fante ed il maggior peso sonoro della fontana di Giardini Sambuy.

<b>Affermazione (rispetto all'esperimento in situ)</b>	<b>n soggetti concordi (N=15)</b>
"La musica in Fante si nota di più"	5
"Si nota di più il traffico, in tutte le fermate"	5
"Il video mi ha distratto (cercavo me stesso, artefatti, immagine poco nitida)"	5
"La fontana di Giardini Sambuy è più presente"	4
"Più traffico avvertito in Giardini Sambuy"	4
"La musica in Fante era più piacevole e nitida"	3
"L'audio era molto immersivo"	3
"Ho avvertito una minore spazializzazione dei suoni"	3
"Le grate metalliche in Piazza Bodoni si sentono di più"	3
"Era tutto come ricordavo"	3
"L'attributo 'Statico' mi confonde un po'"	3

Tabella 22: notazioni dei partecipanti sulle differenze laboratorio-in situ

Altre osservazioni rilevanti hanno riguardato il video, che in alcuni casi ha influito nella concentrazione dei partecipanti a causa di una risoluzione non elevata, della presenza di artefatti dovuti alla rimozione di elementi visivi di disturbo e della distrazione causata dalla presenza dei soggetti stessi nel campo visivo. Da sottolineare è anche la confusione riscontrata da alcuni soggetti nell'interpretare l'attributo *Statico*, probabilmente meno legato semanticamente alle descrizioni di ambienti sonori; questo attributo ha presentato oltretutto differenze significative nel confronto tra caso sul campo e caso in laboratorio. È in effetti stato dimostrato che nelle lingue neolatine la dimensione della eventfulness come parte di un sistema di valutazione degli stimoli emotigeni sia meno forte rispetto alla dimensione dell'*arousal*, o "attivazione", e che questo fenomeno sia particolarmente marcato per la lingua italiana [46]. Alla luce di questo, un attributo come "Statico" potrebbe risultare parzialmente ambiguo per l'analisi soundscape in un contesto italiano.

### 3.6: Estensione dell'analisi con un secondo gruppo di soggetti

Per ottenere una mappatura più completa delle percezioni soggettive per questi quattro luoghi è stata inclusa nella ricerca, a fini descrittivi, un'analisi comparativa con un secondo gruppo di soggetti; tale gruppo ha partecipato ad una soundwalk analoga a quella già descritta, nel pomeriggio del 17 giugno 2025. Il gruppo era composto da 15 persone normoudenti, ed era associato ad un ulteriore gruppo di 7 soggetti ipoacusici. Sono stati inclusi in questa ricerca solo i risultati del primo gruppo, diviso in 11 soggetti di sesso femminile e 4 di sesso maschile, con un'età media pari a 41,6 anni. Le considerazioni che seguono sono quindi da intendersi per un campione complessivo di 30 soggetti (16 M, 14 F), di età media 35,7 anni.

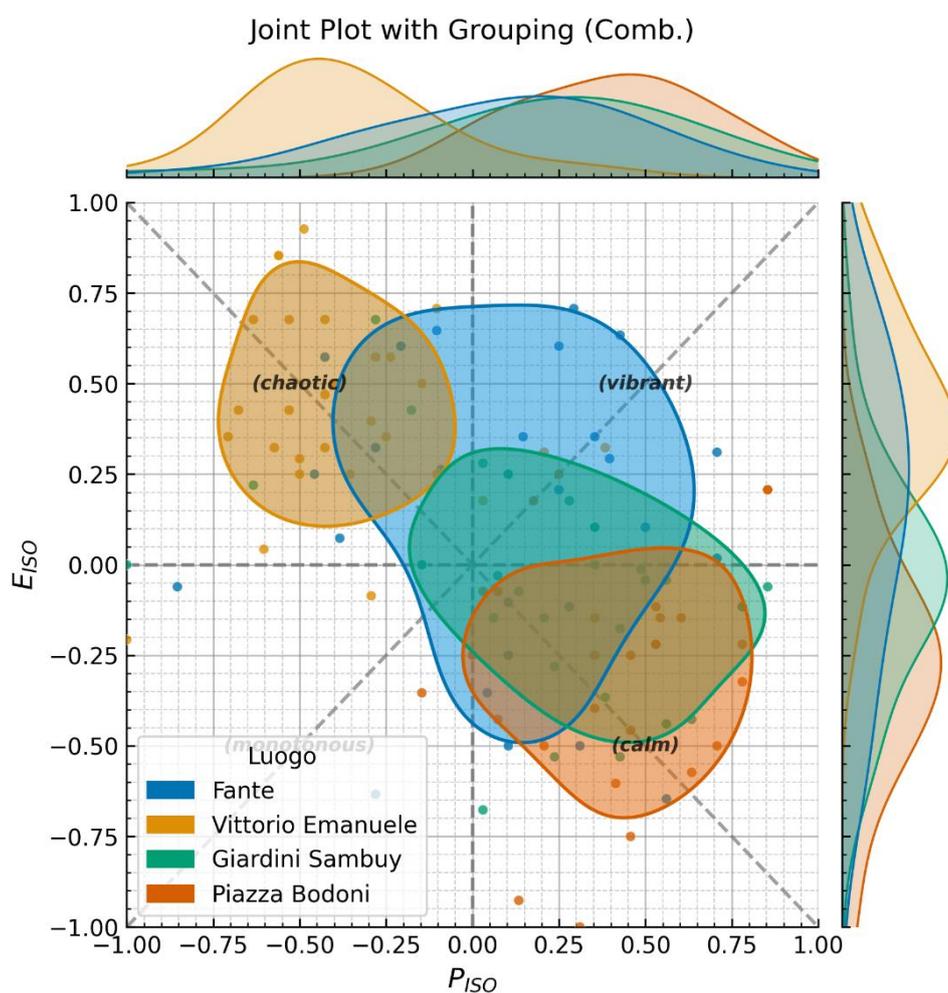


Figura 59: joint plot con unione dei risultati dei soggetti delle soundwalk di aprile e giugno

Da un'analisi con Soundscapy sul campione complessivo (fig. 60) possiamo notare come le distribuzioni relative alla percezione degli ambienti in esame siano in larga parte fedeli a quelle già descritte precedentemente nel capitolo 3.3.2 (fig. 38), con solo alcune alterazioni rilevanti. Un confronto tra i singoli grafici soggettivi divisi per fermata permette una visualizzazione più accurata. Per ulteriori confronti, in figura 58 è stata inclusa anche la condizione di laboratorio, che ha riguardato solo il primo gruppo.

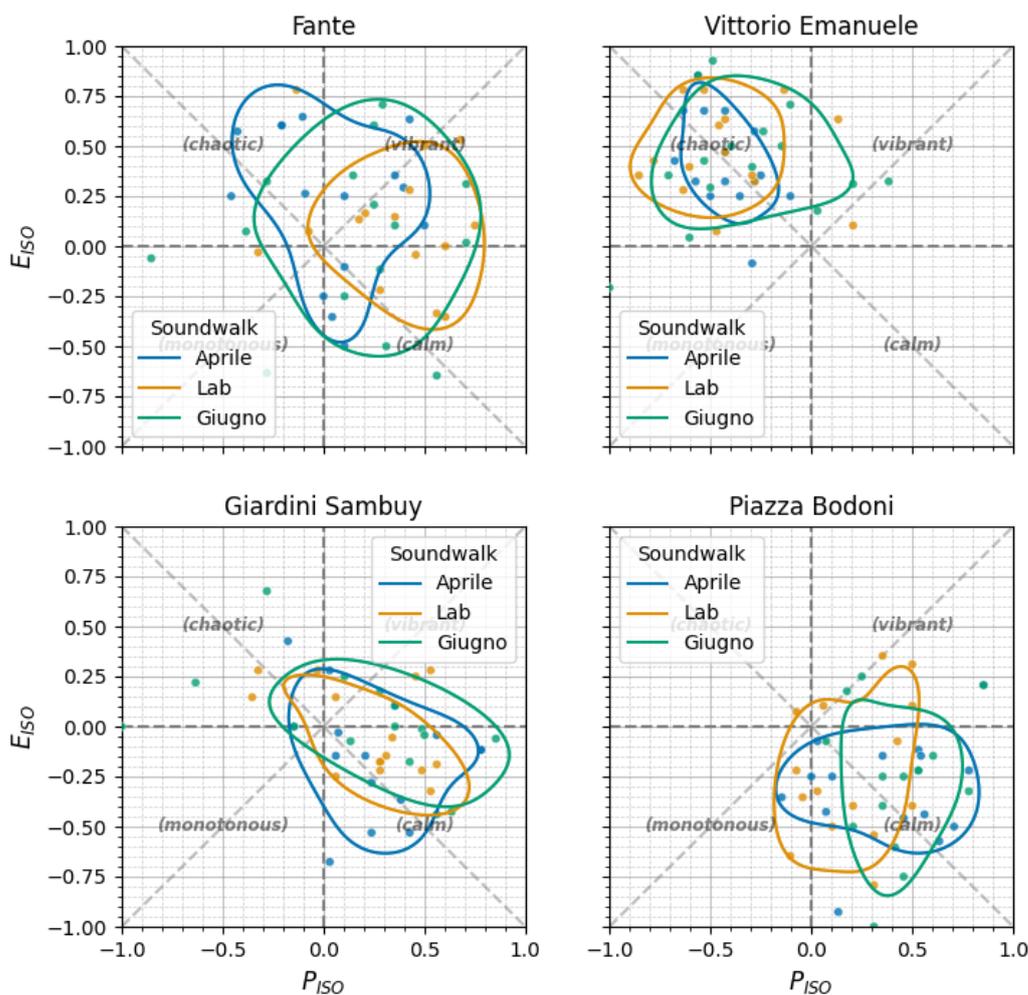


Figura 60: grafici comparativi tra soundwalk di aprile, soundwalk di giugno e caso di laboratorio

Tra i cambiamenti più evidenti colti da un'analisi dei grafici troviamo la percezione della fermata Giardini Sambuy, più orientata verso il quadrante degli ambienti vivaci, e di quella di Vittorio Emanuele, che è stata definita sempre caotica, ma con una concordanza meno forte rispetto a quella fornita dai soggetti della passeggiata di aprile. Le altre due fermate mostrano caratteri analoghi a quanto è stato già osservato in precedenza: anche per il secondo gruppo Piazza Bodoni rimane la fermata più calma, mentre Fante si conferma essere sul campo una fermata nel complesso a carattere neutro, orientata verso l'eventfulness.

### 3.6.1: ANALISI STATISTICHE DI CONFRONTO TRA I DUE GRUPPI DI SOGGETTI

I risultati ottenuti dalle analisi dei dati soggettivi dei due gruppi di partecipanti sono stati confrontati mediante un test statistico di Kruskal-Wallis. Il test è stato effettuato due volte: tra le valutazioni dei due gruppi in campo e tra le valutazioni del primo gruppo in laboratorio e quelle del secondo in campo. Per ogni fermata sono state considerate eventuali differenze significative nella percezione quantificata dagli otto attributi PAQ.

Nell'analizzare le valutazioni dei due gruppi in campo sono emerse differenze significative solo nella fermata Fante (tabella 23), specificatamente per gli attributi *Calmo* e *Vivace*: in generale, i soggetti del secondo gruppo hanno apprezzato maggiormente il soundscape di tale fermata, poiché un aumento del valore di entrambi gli attributi corrisponde ad uno spostamento positivo sull'asse della pleasantness. Questa constatazione risulta simile a quanto osservato nel capitolo 3.5.3 nella differenza percettiva del primo gruppo tra ascolto in situ e ascolto in laboratorio, e potrebbe costituire un'altra conferma del disturbo attribuito in quel caso alla musica presente nell'ambiente, che era invece assente nella seconda soundwalk.

Test di Kruskal-Wallis FANTE: Gruppo1 (Field) vs Gruppo2 (Field)

Attributo	Statistic	p-value	Significativo
CAOTICO	1.016	0.31	
DISTURBANTE	0.879	0.35	
MONOTONO	0.265	0.61	
STATICO	0.285	0.59	
CALMO	3.987	0.05	*
PIACEVOLE	2.464	0.12	
VIVACE	4.919	0.03	*
DINAMICO	0.466	0.49	

Tabella 23: test di Kruskal-Wallis, confronto tra gruppo 1 e gruppo 2 in campo per la fermata Fante

Confrontando invece i responsi del primo gruppo in laboratorio con quelli del secondo gruppo in situ, sono emerse differenze significative in tre fermate su quattro: in Fante per l'attributo *Vivace* (tabella 24), in Giardini Sambuy per l'attributo *Monotono* (tabella 25) e in Piazza Bodoni per l'attributo *Piacevole* (tabella 26). La fermata Fante perde quindi la differenza significativa per l'attributo *Calmo*, e questo rimane in linea con quanto osservato nell'analisi della percezione di tale fermata in laboratorio (capitolo 3.5.2): il cambiamento percettivo legato alla musica potrebbe aver avvicinato i due gruppi nella valutazione.

Test di Kruskal-Wallis FANTE: Gruppo1 (Lab) vs Gruppo2 (Field)

Attributo	Statistic	p-value	Significativo
CAOTICO	0.450	0.50	
DISTURBANTE	0.712	0.40	
MONOTONO	0.285	0.59	
STATICO	0.066	0.80	
CALMO	0.008	0.93	
PIACEVOLE	1.806	0.18	
VIVACE	6.254	0.01	*
DINAMICO	1.588	0.21	

Tabella 24: test di Kruskal-Wallis, confronto tra gruppo 1 in laboratorio e gruppo 2 in campo per la fermata Fante

Le differenze significative riscontrate in Giardini Sambuy e Piazza Bodoni potrebbero invece essere legate al consistente aumento della percezione di alte frequenze nel passaggio tra situazione in campo e in laboratorio, già segnalato nel capitolo 3.5.1. Il primo gruppo, rispetto al secondo, ha infatti valutato in laboratorio Giardini Sambuy come più monotona e Piazza Bodoni come meno piacevole, e questo è in linea sia con la già segnalata maggiore presenza percepita della fontana nei giardini, causata probabilmente dalle alte frequenze enfatizzate, sia con il maggior peso percettivo dei suoni delle grate del garage sotterraneo di piazza Bodoni.

Test di Kruskal-Wallis GIARDINI SAMBUY: Gruppo1 (Lab) vs Gruppo2 (Field)

<b>Attributo</b>	<b>Statistic</b>	<b>p-value</b>	<b>Significativo</b>
CAOTICO	0.206	0.65	
DISTURBANTE	1.120	0.29	
MONOTONO	4.218	0.04	*
STATICO	0.039	0.84	
CALMO	0.002	0.97	
PIACEVOLE	0.169	0.68	
VIVACE	1.082	0.30	
DINAMICO	0.526	0.47	

Tabella 25: test di Kruskal-Wallis, confronto tra gruppo 1 in laboratorio e gruppo 2 in campo per la fermata Giardini Sambuy

Test di Kruskal-Wallis PIAZZA BODONI: Gruppo1 (Lab) vs Gruppo2 (Field)

<b>Attributo</b>	<b>Statistic</b>	<b>p-value</b>	<b>Significativo</b>
CAOTICO	1.614	0.20	
DISTURBANTE	2.984	0.08	
MONOTONO	2.142	0.14	
STATICO	0.105	0.75	
CALMO	2.249	0.13	
PIACEVOLE	5.170	0.02	*
VIVACE	0.187	0.67	
DINAMICO	0.706	0.40	

Tabella 26: test di Kruskal-Wallis, confronto tra gruppo 1 in laboratorio e gruppo 2 in campo per la fermata Piazza Bodoni

Questi risultati offrono una conferma statistica di quanto già osservato dai grafici di Soundscapy, e ci dicono che l'esperimento in laboratorio in particolare ha causato il sorgere di differenze significative nella valutazione del soundscape delle quattro fermate, differenze molto meno riscontrate nel confronto tra le due valutazioni in situ. Questi cambiamenti della risposta percettiva sono però solo in parte interpretabili sulla base di ipotesi legate ai soli dati acustici, e necessitano la considerazione di fattori psicologici, come nel caso della fermata Fante.

## 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

In questa tesi, mediante il metodo soundscape per l'analisi di spazi sonori, è stato confrontato il paesaggio sonoro di quattro luoghi nella città di Torino in due condizioni differenti: ascolto in campo e riproposizione degli aspetti visuali e sonori di tali luoghi in laboratorio. Per fare ciò, è stato condotto un confronto tra dati oggettivi (parametri psicoacustici) e soggettivi (valutazioni percettive tramite questionario fornite da 15 soggetti) acquisiti in due casi: durante una soundwalk nel mese di aprile 2025 a Torino e tramite una replica fedele di tale soundwalk nell'Audio Space Lab del Politecnico di Torino. La ricerca si poneva l'obiettivo di verificare se potessero sorgere correlazioni dirette tra i parametri psicoacustici analizzati ed eventuali cambiamenti della risposta percettiva in laboratorio, nonché di osservare cosa emergesse nel confronto tra un'analisi soundscape in situ ed una sua riproposizione in laboratorio nella specificità del contesto italiano. Per supportare potenziali ipotesi in seguito al confronto e giustificare l'eventuale presenza di differenze significative, è stata svolta un'ulteriore comparazione con un secondo gruppo di soggetti, il quale ha fornito le valutazioni percettive solo in situ.

La ricerca ha evidenziato come nel replicare in un laboratorio le condizioni ambientali volte alla valutazione di un soundscape vi sia una correlazione diretta tra alterazioni dei descrittori oggettivi del paesaggio sonoro (parametri psicoacustici) e risposta percettiva dei soggetti. La valutazione in laboratorio degli ambienti in esame da parte dei partecipanti all'esperimento si è dimostrata nel complesso in linea con quanto valutato in situ, con alcune differenze legate in parte alla resa acustica nel nuovo contesto. Il laboratorio Audio Space Lab del Politecnico di Torino ha infatti influito parzialmente su tali valutazioni, generando un'alterazione del contenuto spettrale che ha portato ad una maggiore rilevanza delle componenti ad alta frequenza nella riproduzione audio. Oltretutto, nonostante ogni scena sonora sia stata riprodotta tramite un formato Ambisonics del terzo ordine per migliorare la resa immersiva a livello spaziale ed incidere positivamente sulla validità ecologica [35,36], è stata comunque avvertita dai soggetti una differenza nella collocazione spaziale delle fonti sonore, coerentemente con lo studio di Hong et al. precedentemente citato [29]. Le differenze significative evidenziate nella comparazione tra le due situazioni sono comunque imputabili anche a fattori di natura psicologica, come nel caso della percezione dell'elemento musicale in uno dei luoghi in esame. Inoltre, l'utilizzo di un visore HMD per aspirare al massimo grado di validità ecologica seguendo i risultati di Jo e Jeon [33] non ha impedito la presenza di distrattori legati al video, che hanno reso in alcuni casi i soggetti spettatori di loro stessi; quest'ultima condizione è comunque generalmente evitata nelle riproposizioni in laboratorio del metodo soundscape, come è stato esaminato nel capitolo 2.4, ed è dipesa dalla scelta esplicita di voler ripresentare in laboratorio la stessa passeggiata sonora effettuata in situ, in ogni suo aspetto.

L'estensione dei risultati con l'inclusione di un ulteriore gruppo di soggetti ha mostrato valutazioni in linea con quanto ottenuto dall'esperimento di confronto tra situazione in situ e laboratorio. Per quanto riguarda l'influenza del contesto culturale, sono segnalabili poche alterazioni consistenti legate al caso italiano: i dati soggettivi ottenuti sono in linea con la generale percezione del soundscape da parte di soggetti europei evidenziata da Aletta et al. [37], come mostrato dalla correlazione diretta tra minori valori di pleasantness e suoni del traffico, e dall'associazione di soundscape vivaci ad una maggiore presenza di suoni umani. È da segnalare tuttavia un peso dell'incertezza semantica legata all'attributo PAQ "Statico", meno forte di altri nell'identificare univocamente una condizione di carattere sonoro. La ricerca ha comunque nel complesso confermato i risultati ottenuti in letteratura dalle indagini sulla validità ecologica della riproposizione del metodo soundscape in laboratorio. In accordo con le ricerche di Lu e Lau, una maggiore validità ecologica potrebbe essere raggiunta con poche ulteriori accortezze, ad esempio introducendo la possibilità di tracciamento dei parametri fisiologici dei partecipanti, o migliorando il più possibile la qualità del video per raggiungere un grado di realismo maggiore, ai fini dell'aumento della veridicità.

In futuro, il laboratorio Audio Space Lab potrebbe anche servirsi maggiormente degli strumenti offerti da VR e AR, configurandosi come un utile strumento a disposizione dell'ateneo per la valutazione di soundscape simulati o riprodotti in condizioni di laboratorio, svincolando tali operazioni dalla necessità di organizzare apposite soundwalk in situ.

# BIBLIOGRAFIA

1. Southworth MF. *The Sonic Environment of Cities*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology; 1967.
2. Schafer RM. *The Book of Noise*. Vancouver: Milburn & Co. Ltd; 1968.
3. Schafer RM. *The New Soundscape: A Handbook for the Modern Music Teacher*. Vancouver: Berandol Music; 1968.
4. Schafer RM. *The Tuning of the World*. Vancouver: Random House Inc; 1977.
5. Porteous J, Mastin JF. Soundscape (Victoria, British Columbia, Canada). *J Archit Plan Res*. 1985;169-186.
6. Truax B. Genres and techniques of soundscape composition as developed at Simon Fraser University. *Organised Sound*. 2002;5-14.
7. Schulte-Fortkamp B. The meaning of annoyance in relation to the quality of acoustic environments. *Noise Health*. 2002;13-18.
8. Raimbault M, Dubois D. Perceptual judgements about urban soundscapes. In: *Acta Acustica* (Stuttgart. 2003. p. 89.
9. Raimbault M, Lavandier C, Bérengier M. Ambient sound assessment of urban environments: Field studies in two French cities. *Appl Acoust*. 2003;1241-1256.
10. Arras F. Soundscape perception in Cagliari, Italy. In: *Acta Acustica* (Stuttgart. 2003. p. 63,.
11. Zhang M, Kang J. Towards the Evaluation, Description, and Creation of Soundscapes in Urban Open Spaces. *Environ Plan*. 2007;68-86.
12. Yang W, Kang J. A cross-cultural study of the soundscape in urban open public spaces. In: *Proceedings of the Tenth International Congress on Sound and Vibration*. 2003.
13. Kang J, Aletta F, Gjestland TT, Lex AB, Botteldooren D, Schulte-Fortkamp B, et al. Ten questions on the soundscapes of the built environment. *Build Environ*. 2016;284-294.
14. Kang J. Urban sound planning - A soundscape approach. In: *Acoustics 2019: Sound Decisions, Moving forward with Acoustics*. London; 2020.
15. Puglisi GE, Shtrepi L, Masoero MC, Astolfi A. Evaluating soundscape in the Italian language: Validation of the translation of the English standardized perceptual attributes of the ISO/TS 12913-2:2018 and comparison with other Romance languages. *Appl Acoust*. 2024;222, n. 110050.
16. Zwicker E, Fastl H. *Psychoacoustics: Facts and Models* (terza edizione). Berlin: Springer Verlag; 2007.
17. Mitchell A, Oberman T, Aletta F, Erfanian M, Kachlicka M, Lionello M, et al. The Soundscape Indices (SSID) Protocol: A Method for Urban Soundscape Surveys—Questionnaires with Acoustical and Contextual Information. *Appl Sci*. 2020;
18. Gerzon MA. *The Design of Precisely Coincident Microphone Arrays for Stereo and Surround Sound*. In: 50th Audio Engineering Society. London; 1975.
19. Gerzon MA. *Practical Periphony*. In: 65th Audio Engineering Society Convention. London; 1980.
20. Brunswik E. *Perception and the Representative Design of Psychological Experiments*. Berkeley-Los Angeles: University of California Press; 1956.

21. Bronfenbrenner U. Toward an experimental ecology of human development. *Am Psychol.* 1977;32:513-531.
22. Luccio R. *Ricerca e analisi dei dati in psicologia.* Bologna: Il Mulino; 2005.
23. Baroni MR. *Psicologia ambientale.* Bologna: Il Mulino; 1998.
24. Guastavino C, Katz BFG, Polack JD, Levitin D, Dubois D. Ecological validity of soundscape reproduction. In: *Acta Acustica united with Acustica.* 2004.
25. Davies WJ, Bruce NS, Murphy JE. Soundscape reproduction and synthesis. *Acta Acust.* 2014;285-292.
26. Tarlao C, Steele D, Guastavino C. Assessing the ecological validity of soundscape reproduction in different laboratory settings. *PLoS ONE.* 2022;17(6).
27. Kang J. *Urban Sound Environment.* London: Taylor and Francis; 2007.
28. Yang M, Heimes A, Vorländer M, Schulte-Fortkamp B. Comparison of subjective evaluations in virtual and real environments for soundscape research. *J Acoust Soc Am.* 2024;3715-3729.
29. Hong YJ, Bhan L, Zhen-Ting O, Ooi K, Woon-Seng G, Kang J, et al. Quality assessment of acoustic environment reproduction methods for cinematic virtual reality in soundscape applications. *Build Environ.* 2019;149:1-14.
30. Maffei L, Masullo M, Pascale A, Ruggiero G, Romero VP. On the validity of immersive virtual reality as tool for multisensory evaluation of urban spaces. *Energy Procedia.* 2015;78:471-476.
31. Maffei L, Masullo M, Pascale A, Ruggiero G, Romero VP. Immersive virtual reality in community planning: Acoustic and visual congruence of simulated vs real world. *Sustain Cities Soc.* 2016;27:338-345.
32. Puyana-Romero V, Lopez-Segura L, Maffei L, Hernández-Molina R, Masullo M. Interactive Soundscapes: 360°-Video Based Immersive Virtual Reality in a Tool for the Participatory Acoustic Environment Evaluation of Urban Areas. *Acta Acust United Acust.* 2017;103:574-588.
33. Jo HI, Jeon JY. Perception of urban soundscape and landscape using different visual environment reproduction methods in virtual reality. *Appl Acoust.* 2021.
34. Spooner DM, Pachana NA. Ecological validity in neuropsychological assessment: A case for greater consideration in research with neurologically intact populations. *Arch Clin Neuropsychol.* 2006;327-337,.
35. Lu Y, Lau SK. Examining the ecological validity of VR experiments in soundscape and landscape research. *Comput Hum Behav.* 2025;162.
36. Lu Y, Lau SK. The ecological validity of laboratory experiments in soundscape and landscape research: A systematic review and meta-analysis. *Appl Acoust.* 2025.
37. Aletta F, Oberman T, Mitchell A, Erfanian M, Kang J. Soundscape experience of public spaces in different world regions: A comparison between the European and Chinese contexts via a large-scale on-site survey. *J Acoust Soc Am.* 2023;1710-1734.
38. Galati D, Sciaky R. The representation of antecedents of emotions in Northern and Southern Italy: A textual analysis. *J Cross-Cult Psychol.* 1995;123-140.
39. Giovannini D. *The physiological patterns of reported emotional states» in Experiencing emotion: a cross-cultural study,* Cambridge. Cambridge University Press; 1986. 84–97 p.
40. Gozalo GR, Carmona JT, Morillas JB, Vilchez-Gómez R, Escobar VG. Relationship between objective acoustic indices and subjective assessments for the quality of soundscapes. *Appl Acoust.* 2015;1-20.

41. Mitchell A, Aletta F, Kang J. How to analyse and represent quantitative soundscape data. *JASA Express Lett.* 2022;2:037201.
42. Meng Q, Kang J. Effect of sound-related activities on human behaviours and acoustic comfort in urban open spaces. In: *Science of The Total Environment*. 2016. p. 481-493.
43. Mitchell A, Erfanian M, Soelistyo C, Oberman T, Kang J, Aldridge R, et al. Effects of Soundscape Complexity on Urban Noise Annoyance Ratings: A Large-Scale Online Listening Experiment. *Int J Environ Res Public Health*. 2022.
44. Xingyue F, Tian G, Hedblom M, Naisheng X, Yi X, Mengyao H, et al. Soundscape Perceptions and Preferences for Different Groups of Users in Urban Recreational Forest Parks. *Forests*. 2021;
45. Peron EM, Falchero S. *Ambiente e conoscenza. Aspetti cognitivi della psicologia ambientale*. Roma: La Nuova Italia Scientifica; 1994.
46. Galati D, Sini B, Tinti C, Testa S. The lexicon of emotion in the neo-Latin languages. *Soc Sci Inf.* 2008;205-220.