

Conservatorio Statale di Musica «D. Cimarosa» di Avellino



**DIPARTIMENTO DI NUOVE TECNOLOGIE E LINGUAGGI  
MUSICALI**

SCUOLA DI MUSICA ELETTRONICA

DCSL34 - CORSO DI DIPLOMA ACCADEMICO DI SECONDO LIVELLO IN  
**MUSICA ELETTRONICA**

D.M. n. 14 del 09.02.2018

TESI DI DIPLOMA ACCADEMICO DI II LIVELLO

**Progettazione di installazioni multimodali interattive:  
paesaggio sonoro e realtà aumentata acustica**

Relatore

*Chiar. mo M° Alba F. Battista*

Candidato

*Giuseppe Bergamino*

*Matr. 11462*

ANNO ACCADEMICO 2020/2021



<b>Introduzione</b>	<b>7</b>
<b>Capitolo 1. IL PAESAGGIO SONORO</b>	<b>9</b>
1.1 Soundscape ecology	11
1.1.1 Geofonie	11
1.1.2 Biofonie	12
1.1.3 Antrofonie	13
1.1.4 La relazione tra geofonie, biofonie e antrofonie	14
1.1.5 Ambiente sonoro di primo e secondo piano	15
1.1.6 Ambiente sonoro Hi-Fi e Lo-Fi	16
1.2 Il paesaggio sonoro nell'estetica musicale	18
1.2.1 Tonica	18
1.2.2 Segnale	19
1.2.3 Impronta sonora	19
1.2.4 Paesaggio sonoro musicale concreto	20
1.2.5 Paesaggio sonoro musicale ibrido	21
1.2.6 Paesaggio sonoro musicale astratto	22
1.3 La comunicazione acustica	23
1.3.1 Il continuum: parlato - musica - paesaggio sonoro	24
1.3.2 Suono - Struttura - Significato	27
1.3.3 Considerazioni sulla comunicazione acustica	28
<b>Capitolo 2. ARCHIVIO SONORO, SOUND MAP e MONTI PICENTINI DIGITALI</b>	<b>29</b>
2.1 Il World Soundscape Project	30
2.2 Il WSP database e altri esempi di archivi sonori	32
2.2.1 Sound map	37
2.3 Il progetto Monti Picentini Digitali	40
2.3.1 GitHub e GitHub Pages	41
2.4 La struttura del sito	42

2.4.1 Home Page	43
2.4.2 Vette	44
2.4.3 Acqua	46
2.4.4 Fauna	47
2.4.5 Flora	49
2.4.6 Uomo	51
2.5 Archivio sonoro interattivo: la sound map dei Monti Picentini	52
2.5.1 La mappa	53
2.5.2 Organizzazione del materiale sonoro	55
2.5.3 L'interfaccia utente	59
2.5.4 La funzione Picentini Mix	57
2.5.5 Creazione di una community collaborativa	58
2.6 Progetti artistici dal vivo	59
2.6.1 La serie di live performances PicentiniMix00	59
2.6.2 Le installazioni multimediali	60
 <b>Capitolo 3. DESIGN E TECNICHE PER LA REALTÀ AUMENTATA ACUSTICA</b>	<b>62</b>
3.1 La realtà aumentata	63
3.1.1 La realtà aumentata acustica	64
3.1.2 L'ascolto binaurale	65
3.1.3 Plug-ins IEM e Reaper	67
3.1.4 Position-Dynamic Binaural Synthesis System	68
3.2 Sviluppo di un modulo Head-Tracker	69
3.2.1 Inertial Measurement Unit	71
3.2.2 Il sensore MPU-9250	73
3.2.3 Implementazione software e test	74
3.3 Tracking della posizione su una superficie	77
3.3.1 Dead reckoning	79
3.3.2 Inertial Navigation System	80
3.3.3 Implementazione INS e tracking Wi-Fi	81
3.4 Scambio dati wireless	85
3.4.1 Creazione di un network locale	87

3.4.2 Audio wireless multicanale	90
<b>Capitolo 4. CINQUE FINESTRE</b>	<b>92</b>
4.1 Monti Picentini Digitali e QR Code	93
4.2 Composizione di paesaggi binaurali per il <i>PDBSS</i>	95
4.2.1 Una finestra sulla vetta	97
4.2.2 Una finestra nel bosco	98
4.2.3 Una finestra sul lago	99
4.2.4 Una finestra sul fiume	100
4.2.5 Una finestra della baita	101
4.3 Design di installazioni interattive in Reaper	102
4.3.1 Gestione dati dei sensori	105
4.4 Il modulo MISMO	106
4.5 La finestra sensorizzata	108
4.6 Allestimento	109
<b>Conclusioni</b>	<b>111</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>114</b>
<b>Sitografia</b>	<b>116</b>



# Introduzione

---

Questo lavoro di tesi si occupa della progettazione e realizzazione di sistemi per fruire interattivamente, secondo criteri improntati sulla multimodalità e sulla soundscape ecology, di paesaggi sonori composti a partire da field recordings naturalistici. A tale scopo sono stati sfruttati due media espressivi artistici: l'installazione web e la realtà aumentata acustica, tramite canali sensoriali di vista, tatto e udito; sia l'apparato tecnologico sviluppato che gli approcci al soundscape indagati sono messi a servizio della personale installazione web *Monti Picentini Digitali*, un progetto di divulgazione naturalistica il cui cardine è la creazione, il popolamento e la manutenzione di un archivio sonoro che raccoglie suoni registrati tra i campani Monti Picentini. Intorno a questa antologia sonora puramente digitale si è ritenuto fondamentale far orbitare iniziative live che divulgino la scienza dell'ecologia acustica, attraverso performances di musica elettronica e installazioni interattive fisiche; a tale scopo, parte del lavoro svolto è finalizzato alla produzione di un'opera esperibile dal vivo attraverso la tecnica della realtà aumentata acustica. Si è scelto pertanto di orientare il primo capitolo sulla trattazione culturale ed estetica del paesaggio sonoro, affrontando l'argomento da prospettive musicali e scientifiche; mentre il secondo riporterà le scelte tecniche e filosofiche che hanno portato alla creazione del sito *Monti Picentini Digitali*, soffermandosi, in particolare, sulla sua sound map interattiva. Negli ultimi due capitoli, con crescente livello di approfondimento, saranno esposti gli approcci tecnici e musicali che si è ritenuto fondamentale adottare per la realizzazione finale dell'installazione fisica multimodale. Infine, verrà descritta *Cinque Finestre*: un'opera in realtà aumentata acustica, che rielabora e raccoglie in un dispositivo interattivo i materiali contenuti dell'archivio sonoro di *Monti Picentini Digitali*.





*“Music is sounds, sounds around us whether we're in or out of concert halls”*

*John Cage —*

Il suono è un fenomeno dato spesso per scontato nella sua accezione più larga: il mondo è costantemente immerso in ambiente acustico ricchissimo di eventi provenienti dalle fonti più disparate e non è automatico riuscire ad attribuire a ciascuna di esse il giusto valore che meriterebbe. L’onnipresenza dei fenomeni acustici fa sì che questi siano usualmente etichettati come unica massa informe, scevra da qualsivoglia informazione degna di attenzione, a cui ci si riferisce lessicalmente - e culturalmente - come *rumore di fondo*. Questa tendenza alla non discriminazione sonora, alla cofosi selettiva, rispecchia il diffuso prediligere del *sentire* a discapito dell’*ascoltare*.

Esistono, ovviamente, molti approcci che indagano approfonditamente il fenomeno sonoro, seppur da prospettive diverse: dallo studio fisico del moto vibratorio propagato in un mezzo, all’arte della musica intesa come successione di eventi acustici volontariamente prodotti e organizzati nel tempo. Tali discipline analizzano il comportamento sonoro in particolari situazioni e ambienti controllati, che siano questi un laboratorio, un luogo in cui è necessario un trattamento acustico o una sala da concerto. Certo è quindi che il suono, nella sua vasta complessità fisica e possibilità comunicativa, abbia bisogno di più prospettive di analisi per essere apprezzato in tutte le sue sfaccettature e non sorprende che negli ultimi decenni la ricerca in campo acustico e musicale stia tendendo sempre di più alla multidisciplinarietà, integrando arte e scienza, musica e tecnologia.

Un interessante punto di vista è quello di indagare i fenomeni sonori nella propria capacità di caratterizzazione di un ambiente, creando connessioni percettive, nella misura in cui suoni ed eventi acustici riescano a influenzare positivamente o negativamente un determinato luogo e identifichino i legami tra tutte le forme di vita che vi si trovano.

Da queste considerazioni, il compositore e ambientalista Raymond Murray Schafer coniò il termine di *soundscape* (paesaggio sonoro), inteso come ambiente acustico percepito dall'uomo in un determinato contesto<sup>1</sup>. Tale definizione, nella sua antropocentricità, pone enfasi sul modo in cui un paesaggio sonoro possa esistere certamente come fenomeno fisico, ma ha valore fintantoché sostenuto da costrutti percettivi umani. Per quanto questa affermazione possa apparire sotto molti aspetti limitante, va osservato come il paesaggio sonoro sia stato considerato in prima battuta da musicisti e compositori come fonte per ispirazione e materiale sonoro, quindi in un aspetto che non può prescindere la presenza di un'intelligenza umana.

A partire dagli anni Ottanta, il *soundscape* desta l'interesse di un numero crescente di discipline e, come spesso accade, i vari campi di studio hanno attribuito valore leggermente differente al termine di paesaggio sonoro, definendolo con specifica coerenza all'interno dei propri ambiti di competenza. Psicologi, antropologi, fisici, ingegneri, architetti e biologi cominciano a integrare il paesaggio sonoro nelle proprie ricerche, ma è da un altro compositore canadese che proviene una ulteriore osservazione fondamentale. Barry Truax, nel suo famoso trattato sulla comunicazione acustica, definisce il *soundscape* come il mezzo che utilizzano tutte le forme di vita per comprendere l'ambiente in cui si trovano e per mediare le proprie relazioni<sup>2</sup>. Il paesaggio sonoro cessa così di essere ontologicamente vincolato alla presenza umana e acquista ulteriori virtù, soprattutto da un punto di vista naturalistico ed ecologico.

Ed è proprio dalle scienze naturali che proviene la definizione che l'autore di questo lavoro di tesi ritiene più pregnante di significato: il *soundscape* può essere considerato come un tipo di linguaggio *pronunciato* da uno specifico ambiente attraverso informazioni acustiche, identificative per il contesto in cui si svolge la vita, dove la comunicazione sonora rappresenta uno degli strumenti semiotici utilizzati dagli organismi nei processi cognitivi attivi e passivi<sup>3</sup>.

Oltre che per scopi artistici, quindi, *ascoltare* il *soundscape* può essere una pratica scientificamente valida per identificare la qualità della vita degli esseri, umani e non,

---

<sup>1</sup> Schafer, R. Murray (1977). *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*

<sup>2</sup> Truax, Barry (2001). *Acoustic Communication*. Ablex Publishing Corporation. pp. 11.

<sup>3</sup> Farina, Almo (2014). *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer, Netherlands.

che abitano un luogo: si possono così identificare sia eventuali fonti di disturbo date dall'inquinamento acustico, che catalogare ogni sorgente sonora degna di essere preservata. La pratica di monitoraggio, catalogazione, studio scientifico e preservazione di un paesaggio sonoro ricade nel vasto ambito di ricerca della *soundscape ecology*.

### 1.1 Soundscape ecology

Come si è visto, il suono è una componente fondamentale per la maggior parte degli ecosistemi terrestri e acquatici perché definisce il contesto all'interno del quale gli organismi interagiscono e svolgono le proprie funzioni vitali. La *soundscape ecology*<sup>4</sup> è la scienza che studia queste relazioni acustiche e analizza le connessioni tra paesaggio sonoro, animali, eventi geologici e componente umana; questo campo di studi coinvolge tutte le discipline che riconoscono la necessità di investigare pattern e processi sonori provenienti da qualsiasi sorgente biologica o ecologica.

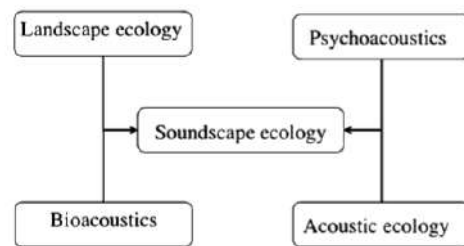


Figura 1.1 Schema multidisciplinarietà.  
(Almo Farina (2014). *Soundscape ecology*.)

Dal punto di vista della *soundscape ecology*, il paesaggio sonoro è il risultato di una miscela di suoni diversi in posizioni diverse e tra loro positivamente o negativamente concorrenti. Offre un primo interessante approccio di catalogazione descrittiva degli eventi che caratterizzano un *soundscape*<sup>5</sup>, distinguendoli in base alla sorgente fisica che li ha prodotti.

#### 1.1.1 Geofonie

Le geofonie sono rappresentate da quell'insieme di suoni prodotti da agenti naturali non biologici come fenomeni atmosferici (vento, pioggia, grandine, neve, fulmini), fenomeni geologici (terremoti, frane, eruzioni, smottamenti) e fenomeni legati al moto

<sup>4</sup> Truax, Barry (1978). *Handbook for Acoustic Ecology*, A. R. C Publications, Vancouver.

<sup>5</sup> Krause, Bernie (2015). *Voices of the Wild*, Yale University Press.

dell'acqua (fiumi, cascate, onde, maree). Solitamente questa categoria sonora rappresenta il tappeto sul quale tutti gli altri eventi possono miscelarsi, sovrapporsi o mascherarsi.

Sebbene tali fenomeni acustici possano essere esperiti nella stragrande maggioranza degli ambienti, le geofonie sono fortemente influenzate dal carattere geologico e climatico del luogo in analisi: la morfologia di una regione, con valli, monti, specchi d'acqua, boschi e le condizioni meteorologiche annuali già possono restituire la peculiare immagine sonora di una zona.

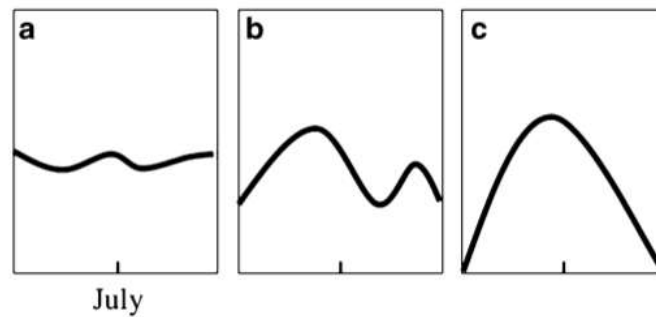
### **1.1.2 Biofonie**

Il termine biofonia<sup>6</sup> è stato coniato nel 1998 dal compositore e naturalista Bernie Krause e definisce il complesso di suoni prodotti da organismi viventi non umani in un dato bioma. In un ambiente terrestre temperato la maggior parte delle biofonie sono prodotte in ordine da uccelli, anfibi, insetti e mammiferi; nelle regioni tropicali le principali sorgenti provengono da insetti e anfibi, seguiti da uccelli e mammiferi. In zone acquatiche interne si avrà la principale incidenza di pesci e insetti, mentre in acque marine vicine alla costa saranno più presenti suoni prodotti da crostacei, pesci e uccelli. Interessante è notare come solo in mare aperto, nei grandi oceani, i mammiferi rappresentano la specie sonora dominante del paesaggio e questi sono tipicamente balene, delfini e orche.

Lo studio delle biofonie permette di avere un'indicazione sulla salute di un ambiente in termini di densità, diversità e ricchezza di popolazione animale, sebbene per ottenere dati acustici scientificamente validi siano necessari più campionamenti in stagioni, condizioni climatiche e ore del giorno diverse. Ad esempio uccelli e anfibi sono più attivi all'alba e al tramonto durante la maggior parte dell'anno e diventano particolarmente musicali in primavera. Altro aspetto molto discriminante è dato dalla latitudine ed elevazione del bioma terrestre in analisi, mentre per ambienti marini sono fondamentali altri parametri come correnti, salinità, profondità, temperatura media e trasparenza dell'acqua.

---

<sup>6</sup> Krause, Bernie (2012). The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places.

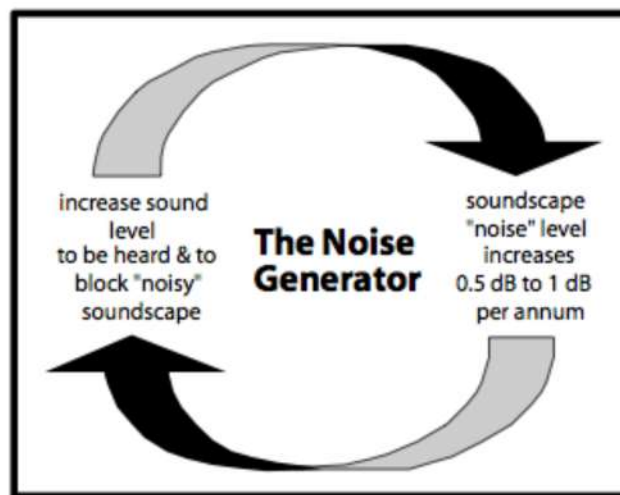


*Figura 1.2 Livelli annuali di biofonie terrestri in funzione della latitudine. (a) Attività sonora costante in ambienti tropicali. (b) In regioni temperate ci sarà fluttuazione con picchi in primavera e autunno. (c) Per latitudini elevate è presente un picco solo in piena estate con drastica riduzione nelle altre stagioni. (Almo Farina (2014). Soundscape ecology.)*

### 1.1.3 Antrofonie

Antrofonìa è un altro termine coniato da Krause e dal suo collega Stuart Gage e definisce tutti quei suoni generati direttamente dall'uomo o da dispositivi che utilizza per svolgere le proprie attività<sup>7</sup>. Le antrofonie sono a loro volta divise in due sottocategorie che distinguono tra suono controllato e generato volontariamente come parlato, teatro, canto e musica e suono caotico e incoerente prodotto da mezzi elettromeccanici. Queste componenti del paesaggio sonoro sono diventate dominanti nella maggior parte della Terra e rappresentano la causa principale di inquinamento acustico, un fenomeno molto dannoso per la salute sia degli uomini che degli animali. Nell'uomo l'esposizione prolungata al rumore può causare atteggiamenti aggressivi, stress, perdita dell'udito, disturbi del sonno e incremento della pressione sanguigna. Per gli animali che utilizzano il suono come principale mezzo comunicativo e di caccia rappresenta una forte fonte di disturbo e porta invariabilmente alla loro scomparsa dal luogo inquinato, per estinzione o migrazione.

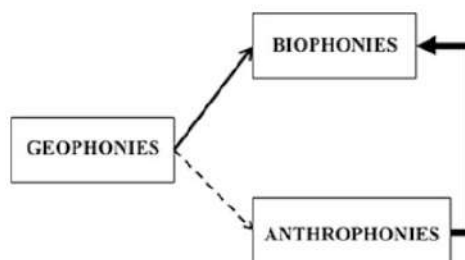
<sup>7</sup> Krause, Bernie (2015). *Voices of the Wild: Animal Songs, Human Din, and the Call to Save Natural Soundscapes*, Yale University Press.



*Figura 1.3 Il loop infinito della generazione di inquinamento acustico. Per incrementare la percettibilità di antroponie se ne aumenta il livello medio annuo di 0.5/1 dB. Questo produce un costante aumento di rumore che domina l'ambiente e danneggia principalmente le biofonie, oltre che la salute umana. (Wrightson K. (2000), Soundscape: The Journal of Acoustic Ecology, Vol. 1)*

#### **1.1.4 La relazione tra geofonie, biofonie e antroponie**

L'interazione tra geofonie, biofonie e antroponie determina legami particolari all'interno dell'ambiente sonoro. Tipicamente, geofonie e antroponie riducono l'espressione delle biofonie in maniera invasiva, tendendo a reprimerla o a modificare drasticamente il modo in cui gli animali emettono suoni.

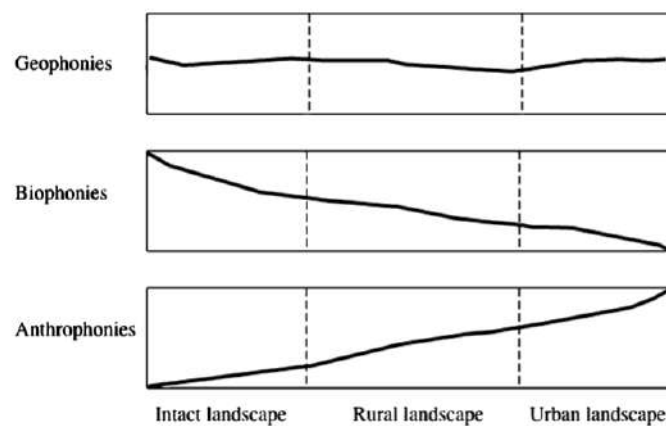


*Figura 1.4 Nel soundscape le geofonie sono la costante sonora che riesce a influenzare notevolmente le biofonie e le antroponie, sebbene queste ultime siano l'elemento di principale impatto e soppressione delle sorgenti acustiche animali. (Almo Farina (2014). Soundscape ecology.)*

Il forte vento o la presenza di una cascata imponente soffocano la comunicazione tra la maggior parte degli uccelli, così come la presenza di una autostrada o un aeroporto riducono la qualità di vita della maggior parte degli esseri che vivono nelle sue vicinanze. Le antroponie, in particolare, sono la più grave forma di inquinamento

acustico negli ambienti marini e rappresentano, dopo i rifiuti plastici, la peggior minaccia per i grandi cetacei.

In generale, la presenza di insediamenti umani o di forti eventi climatici diminuisce la moltitudine di eventi prodotti dalle biofonie e quindi esplicitamente lede la biodiversità e la salute di un ambiente. Mentre per le geofonie l'uomo può essere solo in parte ritenuto responsabile, sebbene il cambiamento climatico e gli eventi atmosferici catastrofici siano antropogenici, è fondamentale prendere atto che determinate antropofonie siano distruttive per l'ambiente tanto quanto l'emissione di rifiuti o di qualsiasi altro prodotto di scarto della civiltà.



*Figura 1.5 Grafici qualitativi che riportano i livelli sonori delle fonie in relazione a una maggiore presenza umana. Come ci si aspetta, le geofonie risultano pressoché invariate mentre le biofonie riducono drasticamente. (Almo Farina (2014). Soundscape ecology.)*

### 1.1.5 Ambiente sonoro di primo e secondo piano

Gli eventi sonori hanno caratteristiche quantitative (pressione sonora, frequenza) e qualitative (timbro, percettibilità) e la variazione spaziale e temporale di questi attributi definisce un gradiente sonoro dinamico all'interno di un paesaggio. Da questo punto di vista le informazioni acustiche proprie di un soundscape possono essere individuate su due livelli distinti e prescindono dalla natura della sorgente: sono definite dai suoni in primo piano (foreground), temporalmente e spazialmente imprevedibili, e dai suoni in secondo piano (background) dalla natura più ciclica. Foreground e background sono termini che fanno riferimento alla posizione, energia e qualità spettrali di una sorgente sonora rispetto all'ascoltatore: tipicamente i suoni in secondo piano sono rappresentati

da geofonie e antropofonie e nel caso di ambienti naturali riescono ad essere un'impronta sonora molto caratterizzante (onde del mare, vento tra alberi, cascate, fiumi). Molti animali utilizzano questi suoni di background come marker caratteristico dell'ambiente in cui vivono al fine di orientarsi. I pesci pelagici per esempio utilizzano i suoni tipici delle barriere coralline per ritrovarle dopo un lungo periodo in mare aperto, così come molti uccelli migratori riescono a evitare le grosse autostrade e gli aeroporti nei propri spostamenti annuali grazie a una memoria sonora.

I suoni in primo piano, per loro natura, sono utilizzati principalmente come trigger e veicolo comunicativo, influenzano notevolmente il comportamento animale soprattutto dal punto di vista sociale, sia per accoppiamento che per marcare il territorio, e in generale hanno un ruolo fondamentale nella definizione delle comunità acustiche, umane e non.

#### **1.1.6 Ambiente sonoro Hi-Fi e Lo-Fi**

L'ultimo parametro che si ritiene interessante riportare dalla scienza della soundscape ecology è di tipo qualitativo e mette in stretta relazione l'ambiente acustico con la sua percezione. Un paesaggio sonoro è definito *Hi-Fi*<sup>8</sup> quando ogni sua componente è chiaramente distinguibile dalle altre senza effetti significativi di mascheramento; al contrario diventa *Lo-Fi*<sup>9</sup> quando la sovrapposizione di eventi è tale, sia per frequenze che per ampiezze, che risulta complesso discernere tra le singole sorgenti<sup>10</sup>. Queste caratteristiche non sono necessariamente frutto di un ambiente con più o meno inquinamento acustico: un ruscello montano, per esempio, è una fonte sonora ad ampio spettro che riduce la possibilità di poter apprezzare tutti gli altri suoni in primo e secondo piano che fornirebbero più informazioni sul paesaggio sonoro in cui ci troviamo.

Da un punto di vista dell'informazione un ambiente Hi-Fi possiede un rapporto di qualità tra segnale e rumore, quindi anche i suoni più tenui riescono a essere percepiti chiaramente; in generale un bosco è più Hi-Fi di una città, la notte più del giorno e tra i

---

<sup>8</sup> Dall'inglese High - Fidelity, in italiano alta fedeltà

<sup>9</sup> Dall'inglese Low - Fidelity, in italiano bassa fedeltà

<sup>10</sup> Schafer, R. Murray (2004). *Audio Culture: Readings in Modern Music*. New York, NY: Continuum International Publishing Group. pp. 29–38.



vari fenomeni meteorologici la neve più della pioggia per la sue qualità fonoassorbenti. Un' altra caratteristica non trascurabile propria di un ambiente Hi-Fi è il netto miglioramento nella localizzazione della sorgente sonora, che sia essa in primo piano o sullo sfondo, così come la possibilità di ascoltare eventi sonori molto distanti.

E' interessante notare come un ambiente denso di eventi sonori non sia necessariamente etichettabile come Lo-Fi: nonostante possa esserci un elevato numero di sorgenti, una foresta vergine possiede verosimilmente un grado di biofonia ricchissimo, ma ogni specie vocalizzante si muove in uno specifico range spettrale e risulta quindi distinguibile. Questo fenomeno prende il nome di differenziazione acustica di nicchia<sup>11</sup> e suggerisce come le specie animali che vivono nello stesso ambiente si siano evolute sonoramente per massimizzare l'efficacia della comunicazione intraspecifica, minimizzando l'emissione in porzioni di spettro già occupate da altre biofonie o geofonie.

In un paesaggio sonoro Lo-Fi, invece, i segnali acustici singoli sono oscurati da una popolazione di suoni troppo densa e caotica, riducendo identità, localizzazione, prospettiva e distanza. In teoria dell'informazione si direbbe che c'è cross-talk, diafonia, tra i canali e spesso questo è sia causa che effetto di inquinamento acustico: una sorgente in un ambiente Lo-Fi necessita di essere molto *amplificata* per essere percepita alzando il livello medio di energia acustica dell'ambiente.

Non deve stupire che quanto più ci si sposta verso aree fortemente urbanizzate c'è una maggiore e marcata transizione da ambienti Hi-Fi a Lo-Fi, motivo per cui la predominanza del sentire sull'ascoltare - sottolineata all'inizio di questo capitolo - è anche conseguenza dei luoghi in cui abitiamo, oltre che delle nostre abitudini.

In definitiva la soundscape ecology propone modelli e parametri utili alla comprensione della complessità propria del paesaggio sonoro, sia dal punto di vista di distinzione delle sorgenti (geofonie, biofonie, antropofonie) che della qualità e quantità sonora (primo e secondo piano, Lo-Fi e Hi-Fi). Seppur fondamentali, queste osservazioni provengono dalle scienze ecologiche e mirano a definire determinati aspetti del soundscape perlopiù da un punto di vista naturalistico. Nel paragrafo successivo verrà descritto un approccio

---

<sup>11</sup> Krause, Bernie. (2008). "Anatomy of the Soundscape: Evolving Perspectives," Journal Aud. Eng. Soc. Vol 56.

più artistico che, con ulteriori categorizzazioni, definisce il paesaggio sonoro in un'ottica funzionale al linguaggio musicale.

## **1.2 Il paesaggio sonoro nell'estetica musicale**

Il termine *soundscape* può fare anche riferimento a una registrazione, performance o composizione in cui i suoni sono organizzati per ricreare la sensazione di trovarsi in un particolare ambiente sonoro, che sia esso costituito da suoni concreti o generati<sup>12</sup>.

La composizione di paesaggi sonori è principalmente una forma propria della musica elettroacustica e muove, in prima battuta, dalla *musique concrète* e dalle concezioni estetiche del compositore francese Pierre Schaeffer: manipolare eventi registrati e trovati nell'ambiente riduceva l'astrattismo che dominava la musica strumentale e favoriva il suono nella sua natura più pura, oltre che la pratica dell'ascolto<sup>13</sup>. La musica concreta ricerca materiale nel mondo acustico per ottenere strutture musicali attraverso la ricombinazione di suoni, modificandone parametri come altezza, timbro, velocità, iterazione. Questo approccio alla composizione è fortemente focalizzato sull'oggetto sonoro in sé più che sulla totalità di eventi che definiscono un paesaggio e sebbene il risultato all'ascolto spesso possa risultare analogo, è importate osservare come la forma musicale del *soundscape* sia definita da parametri e basi estetiche piuttosto differenti.

In questo caso è il compositore canadese Murray Schafer a codificare<sup>14</sup> una serie di termini utili alla comprensione della prassi compositiva del paesaggio sonoro: *keynote*, *sound signal* e *soundmark*, rispettivamente tradotti in italiano come tonica, segnale e impronta sonora.

### **1.2.1 Tonica**

Nella terminologia musicale classica, la tonica indica sia la prima nota di una scala che la chiave in cui è scritto un brano, in questo caso non è un elemento necessariamente udibile ma caratterizza la percezione del *colore* di una composizione; può variare nell'evoluzione del discorso musicale ma ritornerà ciclicamente a essere presente. E

---

<sup>12</sup> LaBelle, Brandon (2006). *Background Noise: Perspectives on Sound Art*. Continuum International Publishing Group. pp. 198, 214.

<sup>13</sup> Pierre Schaeffer (1966). *Traité des objets musicaux*, Parigi, Seuil.

<sup>14</sup> Schafer, R. Murray (1969). *The new soundscape: a handbook for the modern music teacher*. Berandol Music.

proprio per questo motivo è utilizzata anche da Schaffer: la tonica nel soundscape è quell'insieme di suoni che non sono necessariamente ascoltati coscientemente, ma determinano la costante sonora, quasi il bordone, che più riesce a caratterizzare uno specifico ambiente.

### **1.2.2 Segnale**

I segnali sono suoni in primo piano, uditi coscientemente perché riescono facilmente a emergere dalla tonica, sia per qualità timbriche che energetiche. Rifacendosi alla terminologia della soundscape ecology, questi eventi appartengono al paesaggio foreground e sono tanto più percepibili quanto più l'ambiente sonoro, sia esso reale o composto, ha qualità Hi-Fi.

### **1.2.3 Impronta sonora**

L'impronta sonora è un segnale che riesce inequivocabilmente a definire una determinata area, esiste solo in quel luogo e proprio per questa sua unicità possiede un valore elevatissimo. Il termine inglese soundmark deriva dal suo corrispettivo visivo landmark, la lingua italiana non offre una traduzione adeguata se non in parte come *punto di riferimento*. Così come un noto monumento può essere bastevole per rimandare a una città (Colosseo - Roma, Tour Eiffel - Parigi), un'impronta sonora può essere tanto descrittiva per un luogo (verso del muflone - Sardegna), un'area geografica (canto dell'Ara Verde - Foresta Amazzonica) o una cultura (richiamo del muezzin - Islam).

L'aspetto interessante di questa suddivisione è che attribuisce un valore non solo estetico agli elementi di un paesaggio sonoro, ma di preziosità. Una sorgente sonora preziosa dovrebbe mettere nella posizione di apprezzarne il peso, quindi di proteggerla e preservarla. In più, rispetto alle categorie proposte dalla soundscape ecology, non discrimina i suoni a partire dalle sorgenti (geofonie, biofonie o antropofonie) ma da un punto di vista di percezione e cultura umana, ovviamente più utile per fini compositivi.

Toniche, segnali e impronte sonore sono elementi efficaci sia se intesi come strumenti per analizzare un soundscape reale che come linee guida per la generazione di paesaggi sonori musicali, cioè ottenuti a partire da suoni concreti e/o elettronici.

#### 1.2.4 Il paesaggio sonoro musicale concreto

A partire dalle esperienze di Pierre Schaeffer, i suoni *trovati* nell'ambiente sono integrati sempre più spesso nelle composizioni, ma è dal francese Luc Ferrari che proviene il primo utilizzo, nel 1970, di registrazioni concrete in un brano che può essere definito come il capostipite del soundscape<sup>15</sup>. Lo stesso Ferrari sintetizzerà il suo processo compositivo con queste parole:

*“[...] ho lasciato il microfono sul davanzale e tutte le notti, dalle 4 alle 6 del mattino, ho registrato<sup>16</sup>”*

Nasce così *Presque Rien, Numéro 1*, un brano della durata di 20 minuti che offre uno spaccato sonoro della vita di un piccolo villaggio di pescatori in Croazia. Il compositore utilizza materiali registrati nelle varie sessioni di field recording come delle diapositive fotografiche, organizzandoli *semplicemente* nel tempo e agendo in minima misura sull'editing dei nastri.

Un altro esempio notevole di paesaggio sonoro concreto ci è offerto dal compositore e naturalista Bernie Krause con la sua installazione immersiva *The great Animal Orchestra*<sup>17</sup>, poi diventata album nel 2019. Qui Krause offre al pubblico una porzione del suo vastissimo archivio sonoro di registrazioni in ambienti naturali incontaminati, dalla foresta amazzonica, alla barriera corallina australiana fino ai più remoti boschi dell'Alaska. L'approccio compositivo del lavoro è stato quello di editare in minima parte i suoni catturati in natura e proporli in sequenza rispetto alla loro posizione geografica.

---

<sup>15</sup> Roads, Curtis (2001). *Microsounds*. Cambridge: MIT Press. p. 312.

<sup>16</sup> <https://www.maison-ona.com/catalog-0059ONA>

<sup>17</sup> <https://www.fondationcartier.com/en/exhibitions/le-grand-orchestre-des-animaux>

Dallo stesso compositore proviene anche *Distant Thunder*, del 1988, un album che racchiude un'unica lunga registrazione di una tempesta in Belize, stato dell'America Centrale. In questo caso le condizioni del soundscape erano tanto particolari quanto piacevoli e non è stato necessario apportare alcun editing invasivo sulla registrazione, che come si è detto è una singola take. Lo stesso Krause afferma in proposito, nelle note presenti sul disco:

*“Registrato in Belize durante un dolce passaggio di cellule meteorologiche cumuliformi a una certa distanza. Mai rumoroso o invadente, l'evento è durato poco più di un'ora, la pioggia e un leggero brontolio mi hanno quasi cullato fino al sonno, è stato tanto calmante e rassicurante. Era chiaramente il modo in cui la Natura mostrava un viso mite<sup>18</sup>”*

### **1.2.5 Il paesaggio sonoro musicale ibrido**

Nel paragrafo precedente gli esempi proposti erano caratterizzati da paesaggi minimamente editati, ma le vaste possibilità timbriche e sonore del soundscape si prestano con efficacia alla manipolazione elettronica. È il caso dell'album *Islands* (1996) di Barry Truax, dove il compositore offre un viaggio sonoro tra più continenti come *The great Animal Orchestra*, ma - a differenza di Krause - le sue registrazioni sono fortemente modificate attraverso processi di stretching, granularizzazione, comb-filtering e innesti orchestrali. Il risultato è un soundscape composto principalmente da antofonie normalmente invasive che però acquistano, grazie al mezzo elettronico, un aspetto più rilassato e sognante. Lo stesso Truax denomina il lavoro *Islands* - Isole - come probabile auspicio a una dimensione più circoscritta e meditativa di cui necessiterebbero gli ambienti sonori antropogenici.

Un altro interessante spunto di riflessione è offerto da Åke Parmerud con il suo lavoro del 1997 *Grain of Voices*: il brano utilizza voci umane e suoni ambientali fortemente manipolati da processi di granularizzazione e time-stretching. Parmerud intraprende un viaggio attraverso molti stati europei e ottiene più di 20 ore di materiale da field recordings, che condensa con maestria in 30 minuti di musica. Il risultato è anch'esso

---

<sup>18</sup> <https://www.discogs.com/release/7937246-Bernie-Krause-Distant-Thunder>

un viaggio, sonoro, in una vastità di timbri e sonorità che compongono un paesaggio ibrido tra il fortemente concreto e il puro astratto<sup>19</sup>.

### 1.2.6 Il paesaggio sonoro musicale astratto

Questa ultima categoria racchiude esempi di brani che restituiscono la percezione di trovarsi in un soundscape, ma non utilizzano affatto suoni raccolti nell'ambiente: il paesaggio sonoro, se così può essere definito in questi casi, era presente più nella mente dei compositori, sia come sorgente da cui trarre ispirazione che come immagine da riportare all'ascolto.

Ne è un esempio la raccolta *Images I e II* per pianoforte (1901 - 1905) di Claude Debussy, dove ogni brano rimanda a una specifica suggestione visiva trasposta in musica. Tra queste spicca la composizione dal titolo sinestesico *Cloches à travers les feuilles* (Campane attraverso le foglie), che offre l'incredibile percezione di passeggiare sotto degli alberi, attraverso le cui fronde riecheggiano echi di campane lontane. Pare che sia stato l'amico Louis Laloy a suggerire questa idea al musicista, raccontandogli come nel giorno di Tutti i Santi, quasi fino al Giorno dei morti, in un paese del Giura,<sup>20</sup> le campane suonassero dall'alba al tramonto e che i rintocchi si rincorressero di villaggio in villaggio passando attraverso i boschi<sup>21</sup>.

Uno spunto di riflessione analogo, ma più recente, è dato dalla composizione *Agua de Amazônia* (1993) di Philip Glass, dove ogni sezione è ispirata e dedicata ai principali corsi d'acqua della foresta Amazzonica. Ogni brano porta il nome di un fiume e riesce a ricreare ambientazioni acquatiche e fluide, anche grazie alle particolari percussioni dell'ensemble Uakti, collettivo con cui è stata composta l'opera.

Infine si ritiene interessante riportare il brano *Snowforms* (2018) di Raymond Murray Schafer: il compositore osserva i cumuli di neve che si formano di fronte alla finestra della sua fattoria di Monteagle Valley (Canada) e ne fa degli schizzi che poi interseca con un pentagramma per ottenere una partitura per coro. L'andamento delle voci è mobile e morbido, in un quasi continuo glissando alternato ascendente o discendente e il

---

<sup>19</sup> [https://electrocd.com/en/oeuvre/12951/%C3%85ke\\_Parmerud/Grains\\_of\\_Voices](https://electrocd.com/en/oeuvre/12951/%C3%85ke_Parmerud/Grains_of_Voices)

<sup>20</sup> Catena montuosa al nord delle Alpi che delinea il confine tra Francia e Svizzera.

<sup>21</sup> Stephen Walsh (2018), Debussy. A Painter in Sound, Faber & Faber, Londra.

richiamo a un paesaggio innevato è molto efficace, come d'impatto è la stessa partitura con linee bianche su fondo azzurro.



Figura 1.6 Estratto dalla partitura grafica di *Snowforms*.  
(R. Murray Schafer (2018))

### 1.3 La comunicazione acustica

Nei paragrafi precedenti sono stati riportati approcci al soundscape che indagano - separatamente - l'argomento sia da un punto di vista naturalistico che musicale; ora si ritiene necessario proporre una nuova prospettiva che integra entrambe le discipline in un unico discorso: la teoria della comunicazione acustica, possibilmente valida sia per la scienza che per l'arte.

Il termine *acoustic communication*<sup>22</sup> è coniato da Barry Truax nell'omonimo libro del 1985 con l'intenzione di trovare un'espressione che fosse quanto più generale possibile nell'identificare gli eventi sonori con taglio sia percettivo che naturale e al fine di applicare i concetti della comunicazione nel campo dello studio sonoro.

Per comunicazione si intende il processo e le modalità di trasmissione di un'informazione di qualsiasi tipo da un'entità all'altra, attraverso lo scambio di un

<sup>22</sup> Truax, Barry (1985), *Acoustic Communication*, Ablex Publishing Corporation, New Jersey.

messaggio elaborato secondo le regole di un determinato codice condiviso<sup>23</sup>. La comunicazione non può esistere se non in presenza di un soggetto ricevente e va intesa quindi sinteticamente come processo e modalità di trasmissione e ricezione di informazioni.

Nell'ottica della comunicazione acustica, uno dei valori principali non risiede tanto nella presenza di una entità captante, la maggior parte dei suoni avvengono a prescindere da un rapporto di invio/ricezione, ma nel contesto in cui un evento prende vita. Decontestualizzare un suono dal suo ambiente, come nel caso della musica concreta, è deleterio per la sua comprensione: lo stridere di un falco in una montagna ha un valore diverso rispetto allo stesso suono sentito nella stazione centrale di una grande metropoli. Oltre all'aspetto geografico, è interessante valutare come un evento sonoro possa assumere significati diversi anche considerando il periodo storico in cui questo viene ascoltato, il soffio di un capodoglio 200 anni fa indicava una fonte di reddito per qualsiasi cacciatore umano alla ricerca di grasso, oggi è principalmente causa di meraviglia per tutti gli appassionati di mammiferi marini.

Indipendentemente dalle epoche storiche differenti, le abitudini di ascolto creano di certo delle relazioni molto soggettive tra ambiente e ascoltatore, non è scontato che due individui posti nello stesso paesaggio sonoro riescano a percepire gli stessi suoni o quantomeno a dar loro valore equipollente. La comunicazione acustica cerca proprio di prescindere quanto più possibile dalla soggettività e mira a definire come il comportamento del suono, l'ascoltatore e l'ambiente siano interconnessi tra loro in un unico sistema, non considerandoli come unità singole del meccanismo comunicativo.

### **1.3.1 Il continuum: parlato - musica - paesaggio sonoro**

Parlato, musica e paesaggio sonoro: Truax definisce questa terna come *continuum*, i cui elementi seguono questo preciso ordine di lettura in base alle loro peculiarità.

Il primo motivo di questa successione è il repertorio sonoro di ogni termine: il linguaggio possiede un numero relativamente ristretto di fonemi (per la lingua italiana

---

<sup>23</sup> Vigini, Giuliano (1985), Glossario di biblioteconomia e scienza dell'informazione, Editrice Bibliografica, Milano.



sono 35, dialetti esclusi<sup>24</sup>), le possibilità sonore della musica sono ovviamente vastissime e se si pensa al paesaggio sonoro il repertorio diviene pressoché illimitato.

Un altro aspetto da considerare è il livello decrescente di restrizioni nella struttura sintattica: al fine di creare un'informazione compiuta e comprensibile, seppur in alcuni casi fraintendibile, il parlato necessita di determinate e ristrette combinazioni tra i fonemi che se trasgredite sono facilmente individuabili in un tempo istantaneo. La musica può possedere regole più o meno restrittive, soprattutto se si pensa a determinati stili con canoni estetici fortemente codificati (contrappunto, valzer, musica pop); un soggetto istruito nell'ascolto di un determinato genere musicale riesce in breve tempo a giudicare se i suoni sono stati organizzati correttamente nel tempo sia *orizzontalmente* che *verticalmente*. Questa considerazione può apparire giustamente limitante per un linguaggio artistico e risulta più digeribile se non si considera da un punto di vista di organizzazione melodico/armonica (per la tonalità), ma nell'ottica del più moderno approccio di analisi della partitura, cioè nella conduzione strutturale, energetica e timbrica. In questo ordine di lettura, il paesaggio sonoro è ovviamente l'elemento con restrizioni nulle, ciò che accade è legato a combinazioni tanto numerose da poter sembrare spesso caotiche o quantomeno casuali.

La terza caratterizzazione del continuum risiede nella densità temporale di informazioni compiute: il parlato ha il livello massimo di densità perché il susseguirsi di fonemi strutturalmente ben organizzati (in media 5 al secondo) crea rapidamente parole e frasi il cui contenuto è presto palesato. La musica rappresenta un caso intermedio, sebbene un virtuoso possa emettere molti più suoni al secondo rispetto alla media del parlato, l'informazione finale è diluita in un'arcata temporale spesso molto ampia. Se si considera un periodo temporale di 10 secondi, si può facilmente immaginare di poter ricevere un'informazione compiuta da un parlato, mentre per un brano musicale potremmo ascoltare eventi che vanno da una densissima linea melodica, a un singolo accordo, al silenzio; tale intervallo - provocatoriamente ridotto - pone l'attenzione su come per un paesaggio sonoro il tempo necessario alla sua comprensione non può che

---

<sup>24</sup> Basile G., Casadei F., Lorenzetti L., Schirru G., Thorton A. (2010), *Linguistica generale*, Carocci Editore, Roma, pp. 128.

essere di gran lunga maggiore: in un ambiente naturale potremmo acquisire *informazioni comunicative* solo dopo ore, giorni o stagioni. Tale aspetto è fondamentale per apprezzare l'importanza della creazione di archivi sonori, vitali sia per completezza di descrizione di un determinato ambiente, sia per implicazioni di monitoraggio scientifico; successive sezioni di questo lavoro di tesi analizzeranno più approfonditamente il valore di tali raccolte.

Finora sono state descritte tre caratteristiche di questa terna cioè repertorio sonoro crescente, restrizioni della struttura sintattica decrescenti e densità di informazione per unità di tempo decrescente. L'aspetto che emerge dal considerare tali caratteristiche è come la loro combinazione possa determinare un effetto dal punto di vista del significato: il livello semantico. Sebbene il linguaggio possa avere derivazioni ambigue più o meno volontarie, un enunciato può avere un valore decisamente referenziale e specifico, in particolare se posto in un contesto. La musica ha significati più evanescenti e non palesi o addirittura potrebbe non averne affatto al di fuori di sé, ma essere semanticamente valida solo nei propri confini temporali, quindi in un contesto piuttosto specifico. È interessante notare come il piano semantico sia strettamente correlato al contesto quanto più ci si sposta dal parlato al paesaggio sonoro, una parola o una frase sono comprensibili anche come entità singole (si pensi al caso dello slogan), mentre ciò non accade facilmente per la musica (se non per un logo musicale) ed è sicuramente impossibile apprezzare il significato di un soundscape analizzandone un frammento: il suo valore semantico risiede nella stretta relazione tra ogni singolo elemento e nel legame che questo ha col tutto. Un suono ambientale, sia esso in primo piano o sullo sfondo, una tonica o un soundmark, acquisisce maggiore significato attraverso la sua esistenza nel contesto in cui accade, quindi nella sua relazione con il paesaggio. L'oggetto sonoro di Pier Schaeffer è un'entità singola che restituisce un significato acustico valido solo per se stesso, mentre quanto è posto all'interno del suo contesto *naturale* acquisisce significato semantico e diventa un evento sonoro, la cui caratteristica è quella di poter comunicare.

Il senso del continuum è che nel suo essere un modello così drasticamente semplificato, permette di confrontare le peculiarità di più elementi per palesare le relazioni su cui si fonda la comunicazione acustica. È interessante notare anche come il senso di lettura della terna, da destra a sinistra o viceversa, permette una facile ibridazione dei termini che si trovano lungo questa linea immaginaria: utilizzare fonemi del parlato come elementi sonori musicali o riportare aspetti propri del paesaggio sonoro all'interno dei linguaggi compositivi. Non a caso - negli ultimi decenni - la composizione contemporanea ha fatto propri molti termini tipici del soundscape come figura, sfondo, ambiente, texture e spazialità; viceversa, vari vocaboli utilizzati per il paesaggio sonoro sono presi in prestito dalla musica, primo fra tutti tonica. In più, come si è visto, la tecnologia dell'ultimo secolo ha permesso di catturare suoni ambientali rendendoli disponibili alla composizione, sia come elementi di contorno che come oggetti sonori fondamentali alla conduzione di un brano, fino ad arrivare alla creazione di soundscape concreti, ibridi o astratti.

### **1.3.2 Suono - struttura - significato**

Il continuum mette in relazione i vari sistemi della comunicazione acustica e Truax osserva come, nonostante le differenze tra i vari elementi, si possa ricavare un unico modello capace di descrivere le caratteristiche fondamentali di ognuno di essi passando attraverso il piano semantico; si introduce così una nuova terna: suono, struttura e significato. Al livello più basso di ogni sistema (parlato, musica, soundscape), è presente una componente sonora con delle caratteristiche di organizzazione interna e attraverso l'analisi di questa struttura organizzativa si riesce a dedurre il senso, cioè la struttura ha un ruolo di mediazione tra suono e significato.

Nel parlato si utilizza più comunemente il termine sintassi che struttura per indicare l'ordine macroscopico delle unità linguistiche, mentre per la musica questo vocabolo indica generalmente uno schema organizzativo temporale che può o meno seguire regole e andamenti codificati. Per il soundscape la struttura include sia gli elementi dell'ambiente sonoro sia le loro relazioni che un livello più realistico dato dal contesto in cui gli eventi accadono. In effetti la terna *suono - struttura - significato* ha senso

compiuto per il soundscape solo se si aggiunge il termine *ambiente*, quindi la situazione reale in cui si sviluppa il processo suono/significato.

### **1.3.3 Considerazioni sulla comunicazione acustica**

Ora che si sono definiti gli strumenti minimi utili a comprendere in generale la comunicazione acustica e in particolare il soundscape, rimane da indagare in che misura si riesca a parlare di struttura e significato per un paesaggio sonoro (non musicale), sia esso naturale o antropogenico. La posizione dell'autore di questo lavoro di tesi è che struttura - e quindi progettazione - non siano esclusive proprie della mente umana. Un sistema ecologico sano, dove tutti gli elementi che lo compongono si trovano in perfetto equilibrio tra loro, può essere sia ammirato per la sua bellezza e armonia che apprezzato per le sue qualità strutturali di organizzazione. Come si è visto nel primo paragrafo di questo capitolo, l'ecologia acustica studia l'autonomo bilanciarsi dei suoni presenti in un ambiente, nonostante la vastità di elementi fisici e biologici che lo caratterizzano. La stabilità, anche sonora, a cui tendono gli ambienti naturali dipende da una pletora di fattori che esulano abbondantemente dalle competenze di questo lavoro di tesi, ma si ritiene che l'arte e la musica possano comunque contribuire alla soundscape ecology sia in parte fornendo nuove prospettive di analisi, ma soprattutto come strumenti di divulgazione per la sensibilizzazione di un pubblico sempre più vasto.

Il prossimo capitolo approfondirà il tema di arte e scienza impegnate per la tutela naturalistica di un soundscape e verrà proposto un personale tentativo di *prendersi cura* del paesaggio sonoro di una ristretta area montuosa della provincia di Avellino, i Monti Picentini.

*“While a picture may be worth a thousand words,  
a soundscape is worth a thousand pictures”*

*Bernie Krause —*

Come ogni disciplina scientifica che faccia ricerca sul campo, anche la soundscape ecology ha la necessità di raccogliere, elaborare e analizzare dati per trarre informazioni utili alla comprensione e salvaguardia di un ambiente. L'avvento della tecnologia digitale ha notevolmente facilitato questo processo grazie a schede di memoria sempre più piccole ma capienti e registratori portatili compatti; rimane però relativamente aperta la questione sulla scelta degli strumenti adatti per la gestione e fruizione di questa notevole mole di dati sonori dopo la loro raccolta nell'ambiente. Con una fotocamera è possibile catturare le caratteristiche salienti di un panorama creando l'impressione immediatamente evidente di ciò che è il luogo; un microfono non funziona nella stessa maniera: riesce tanto a rilevare piccoli dettagli quanto suggestioni macroscopiche, con il vantaggio che il suono, rispetto alla luce, viaggia oltre i grandi<sup>25</sup> ostacoli fisici per diffrazione e non è rilegato al solo punto di vista dell'obiettivo fotografico. Lo svantaggio - se così si può definire - è che per ricavare un'impressione sonora descrittiva per il paesaggio è necessario un tempo di ascolto attento, non c'è l'immediatezza delle arti visive: un soundscape è composto da eventi *ascoltati* nel tempo, non da oggetti macroscopicamente *osservati*. Per ottenere un'immagine sonora convincente e illustrativa di un luogo sono necessarie anche centinaia di registrazioni, in stagioni e anni differenti. Ciò comporta un notevole impegno temporale ed economico per una campagna di field recording e grande dedizione e pazienza per l'analisi del materiale raccolto. Un altro aspetto non trascurabile è la prospettiva storica: è relativamente semplice ottenere materiale che riesca a descrivere l'evoluzione visiva nei secoli di un luogo attraverso mappe, disegni, descrizioni

---

<sup>25</sup> Con dimensioni paragonabili o minori rispetto alla lunghezza d'onda.

testuali e antiche fotografie. Sfortunatamente il suono non possiede questo lusso. Si può risalire con certezza all'incremento demografico e all'espansione urbanistica di una città, ma è solo negli ultimi decenni che è possibile conoscere l'aumento annuale in decibel dell'inquinamento acustico; conosciamo la forma di molti animali oramai estinti, ma è stata persa per sempre la possibilità di ascoltarne i versi. Poter *ascoltare il passato* ha enormi implicazioni artistiche, naturalistiche, scientifiche e culturali.

Per tutte queste ragioni, si comprende come l'importanza di raccogliere in un *luogo* quanti più campioni sonori rilevanti e utili alla descrizione di un paesaggio, sia fondamentale al fine di avere memoria storica e culturale, possibilità di analisi di dati e fonti per ispirazioni artistiche. Tutte queste premesse sono alla base della creazione di archivi sonori.

## **2.1 Il World Soundscape Project**

Sul finire del 1960, Raymond Murray Schafer, in collaborazione con l'università Simon Fraser, fonda il gruppo di ricerca *World Soundscape Project* (WSP) con lo scopo di portare avanti la scienza della neonata soundscape ecology e creare una raccolta di suoni antropici e naturali che rischiavano di estinguersi a causa del rapido mutamento della società e delle foreste canadesi. Una delle prime produzioni del team fu il *Vancouver Soundscape* (1973) che raccoglieva una serie di registrazioni ambientali delle toniche e impronte sonore della città; spesso durante queste *takes* lo stesso Schafer era solito commentare le caratteristiche del paesaggio con lo scopo di divulgare l'importanza dell'ecologia acustica<sup>26</sup>. Il progetto ebbe un discreto successo e l'anno successivo altri due membri del WSP, Peter Huse e Bruce Davis, intrapresero un viaggio attraverso lo Stato raccogliendo campioni sonori di diversi ambienti, finalizzando il lavoro in una serie radiofonica di 10 puntate chiamata *Soundscapes of Canada*<sup>27</sup>. Il materiale ottenuto non destò particolare successo nella comunità scientifica, ma risulta particolarmente interessante come primo approccio metodologico alla registrazione e alla sua analisi.

---

<sup>26</sup> <https://www.sfu.ca/~truax/vanscape.html>

<sup>27</sup> <https://www.sfu.ca/~truax/canada.html>

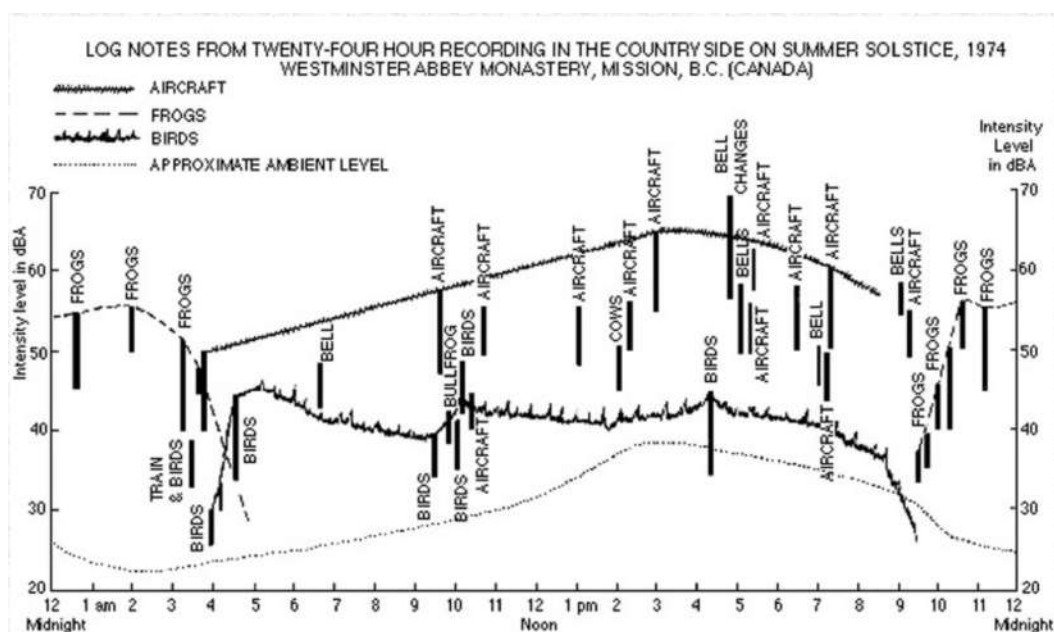


Figura 2.1 Grafico di analisi degli eventi sonori accaduti durante una registrazione estiva del Soundscape of Canada.  
(<https://www.sfu.ca/~truax/canada.html>)

Dopo queste prime sperimentazioni, il WSP suscita crescente interesse internazionale sia in ambito scientifico che musicale, grazie anche a una serie di seminari nelle principali città europee e ad una campagna di field recording che nel 1975 porta alla produzione di *Five Village Soundscape*. Il lavoro racchiude i paesaggi sonori e le relative analisi acustiche di cinque piccoli villaggi in Italia, Francia, Germania, Scozia e Svezia, tutte aree rurali in cui gli ambienti avevano un soundscape ancora ben preservato. Nel 2009 Barry Truax, con un gruppo di ricercatori finlandesi, rivisiterà questi cinque luoghi per analizzare il notevole mutamento sonoro che in trenta anni hanno subito queste aree a causa della massiccia urbanizzazione. Nel 1996 il WSP propone una rivisitazione del Vancouver Soundscape, questa volta con un taglio più musicale, invitando a lavorare sul materiale raccolto compositori elettroacustici da tutto il mondo. Il progetto ha risonanza internazionale e riporta il World Soundscape Project all'attenzione della comunità artistica e scientifica, ma non solo: con la digitalizzazione dell'archivio e la sua pubblicazione sul web viene a crearsi una comunità mondiale di appassionati di field recording che cominciano a popolare il catalogo con suoni provenienti da ogni parte del globo. Da questo punto di vista si ritiene che il WSP sia stato uno dei più rilevanti gruppi di studio e divulgazione del soundscape, tanti altri centri di ricerca hanno sensibilmente contribuito a questa disciplina, primo fra tutti l'italiano Tempo

Reale, ma è fondamentale osservare come Schafer, Truax e i loro colleghi siano i pionieri del soundscape nel suo respiro più multidisciplinare e soprattutto come *atto sociale*.

## 2.2 WSP database e altri esempi di archivi sonori

Saranno di seguito analizzati diversi archivi sonori di interesse sia per le scelte di archiviazione che di interfaccia.

Il database completo<sup>28</sup> del World Soundscape Project è visitabile solo con credenziali facilmente ottenibili contattando via mail Barry Truax<sup>29</sup>, ma una sua porzione degli anni Settanta risulta accessibile liberamente<sup>30</sup>. L'archivio è strutturato come una biblioteca sonora in cui le registrazioni sono consultabili con filtri che le suddividono per data, area geografica e sorgenti sonore principali.

### Vancouver Soundscapes

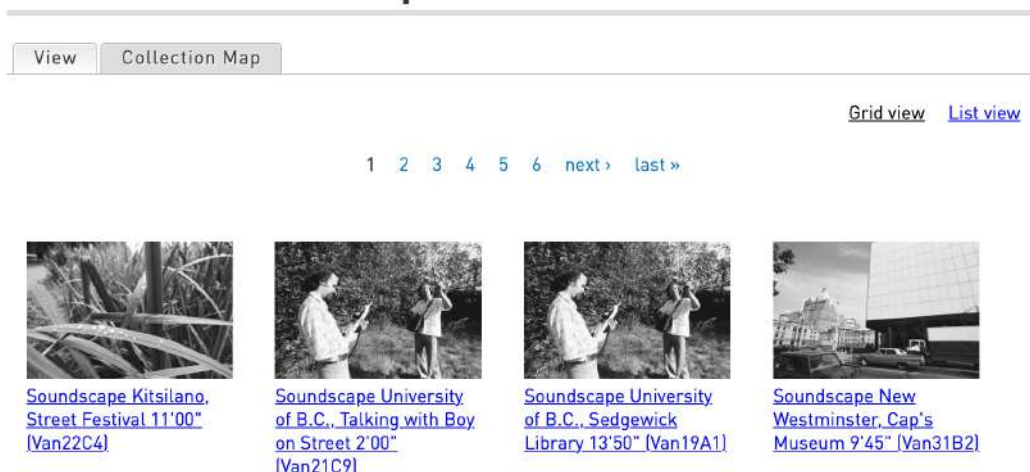


Figura 2.2 Porzione della pagina principale di consultazione del Vancouver Soundscape  
(<https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/vancouver-soundscapes>)

Cliccando su una delle voci viene aperta una pagina dedicata alla registrazione che contiene il player del file audio, la durata, la sua descrizione testuale, una foto indicativa del sito di acquisizione, la sua posizione su una mappa e molte altre informazioni utili alla comprensione di ciò che si sta ascoltando.

<sup>28</sup> <https://www.sfu.ca/sonic-studio/WSPDatabase/>

<sup>29</sup> [truax@sfu.ca](mailto:truax@sfu.ca)

<sup>30</sup> <https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/>



▼ [Details](#)

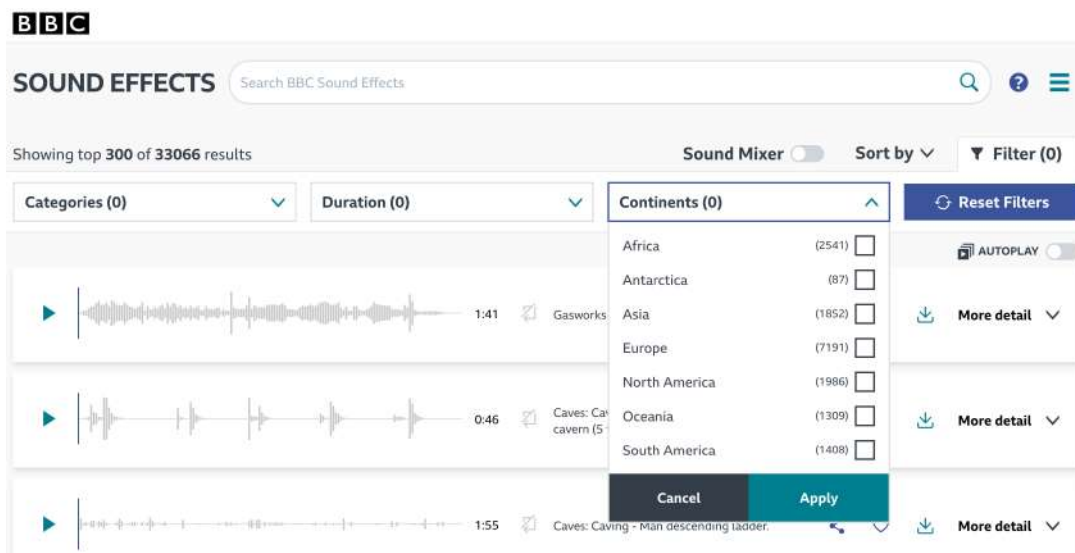
Title	Soundscape Vancouver Island, Strathcona Lodge, outdoor ambience 9'50" (Van42C4)
Date	March 14, 1973
Creator	World Soundscape Project
Description	Disturbance in left channel. Recordist in conversation. Recording Context: Environmental ambience ; Private ; Outdoor The locations indicated on the map may be approximate, depending on log/archival data available. A soundscape recording.
Physical location	Campbell River; Vancouver Island; Canada
Publisher	Greencoast Media
Note	Soundscape recording on tape with stereo Nagra. Digitized. Contact <a href="mailto:mvdroume@sfu.ca">mvdroume@sfu.ca</a> for more information about this collection
Subject	<a href="#">Dog</a> <a href="#">Rain</a> <a href="#">Trucks</a> <a href="#">Cars</a> <a href="#">Conversation</a> <a href="#">Recording equipment</a>
Type of resource	sound recording-nonmusical
Creative commons	Creative Commons Attribution-NonCommercial
Rights	None required for research not involving human subjects. Note: recordings in this collection are archival. Confidentiality does not apply as this was not a research project with human subjects. However, some recordings may contain human voices. Please use respectfully, and where needed obtain your own research ethics for secondary documentary research.

Figura 2.3 Esempio dei dettagli descrittivi associati a ogni registrazione del Vancouver Soundscape (<https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/vancouver-soundscapes>)

La tecnologia web ha facilitato notevolmente sia la consultazione di archivi storici che la creazione di nuove raccolte sonore provenienti da ogni parte del mondo, spesso proposte da grandi enti televisivi o radiofonici che hanno così la possibilità di preservare il loro storico di produzione.

È il caso dell'archivio sonoro della BBC<sup>31</sup>, che raccoglie più di trentamila registrazioni provenienti da programmi radio, televisivi e soprattutto dalla Natural History Unit, collezione di suoni acquisiti durante le riprese cinematografiche di documentari naturalistici in tutto il mondo. Uno dei suoi suoni storicamente più preziosi è una registrazione su cilindro di cera del 1889, di Ludwig Koch, probabilmente il primo documento sonoro mai prodotto che ritrae un ambiente naturale; altri field recording di rilievo documentaristico provengono da nomi noti come David Attenborough, David Toombs e Nigel Tucker. La collezione è navigabile agilmente grazie a filtri suddivisi per durata del sample, continente di registrazione e principali soggetti sonori ritratti. A differenza del database del WSP, i suoni sono ascoltabili per categoria in un'unica pagina, rendendo immediata la navigazione, ma sono riportate molte meno informazioni sul luogo di registrazione; si evince chiaramente che è un archivio principalmente composto da *foleys* piuttosto che da soundscapes, già solo osservando la barra di ricerca con la dicitura *Sound Effects*.

<sup>31</sup> <https://sound-effects.bbcrewind.co.uk/>



*Figura 2.4 Pagina principale dell'archivio sonoro della BBC  
(<https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/vancouver-soundscapes>)*

Un archivio sonoro di questa entità rappresenta un patrimonio storico e naturalistico dal valore inestimabile, sebbene si ritenga personalmente che una copertura geografica tanto vasta e informazioni così scarse sulle registrazioni non siano caratteristiche che facilitino la fruizione né da un punto di vista della soundscape ecology né in un'ottica di produzioni artistiche: considerando la mole di dati presenti, è molto più probabile imbattersi casualmente in suoni di certo interessanti, ma che non corrispondono agli eventi che si stanno cercando volontariamente.

Molto più coerente è stata - in questo senso - la scelta progettuale dell'Archivio di Stato Italiano e della Biblioteca Nazionale, che nel digitalizzare i propri materiali multimediali li ha resi facilmente accessibili attraverso un sito internet<sup>32</sup> ben organizzato nella sua macrostruttura. Le registrazioni sono esclusivamente provenienti dal territorio italiano e coprono un'arcata temporale di circa mezzo secolo. La suddivisione principale dei nastri è per regione di appartenenza con sottocategorie relative ai diversi fondi sonori che hanno aderito alla rete. Una mappa sviluppata in ambiente Google permette di accedere ai singoli file per area geografica, i locatori però sono posti a spirale nello stesso punto e non sono riportati nomi o indicazioni che permettono di differenziarli, rendendo la fruizione delle registrazioni decisamente lenta e macchinosa.

<sup>32</sup> <http://www.archiviosonoro.org/>

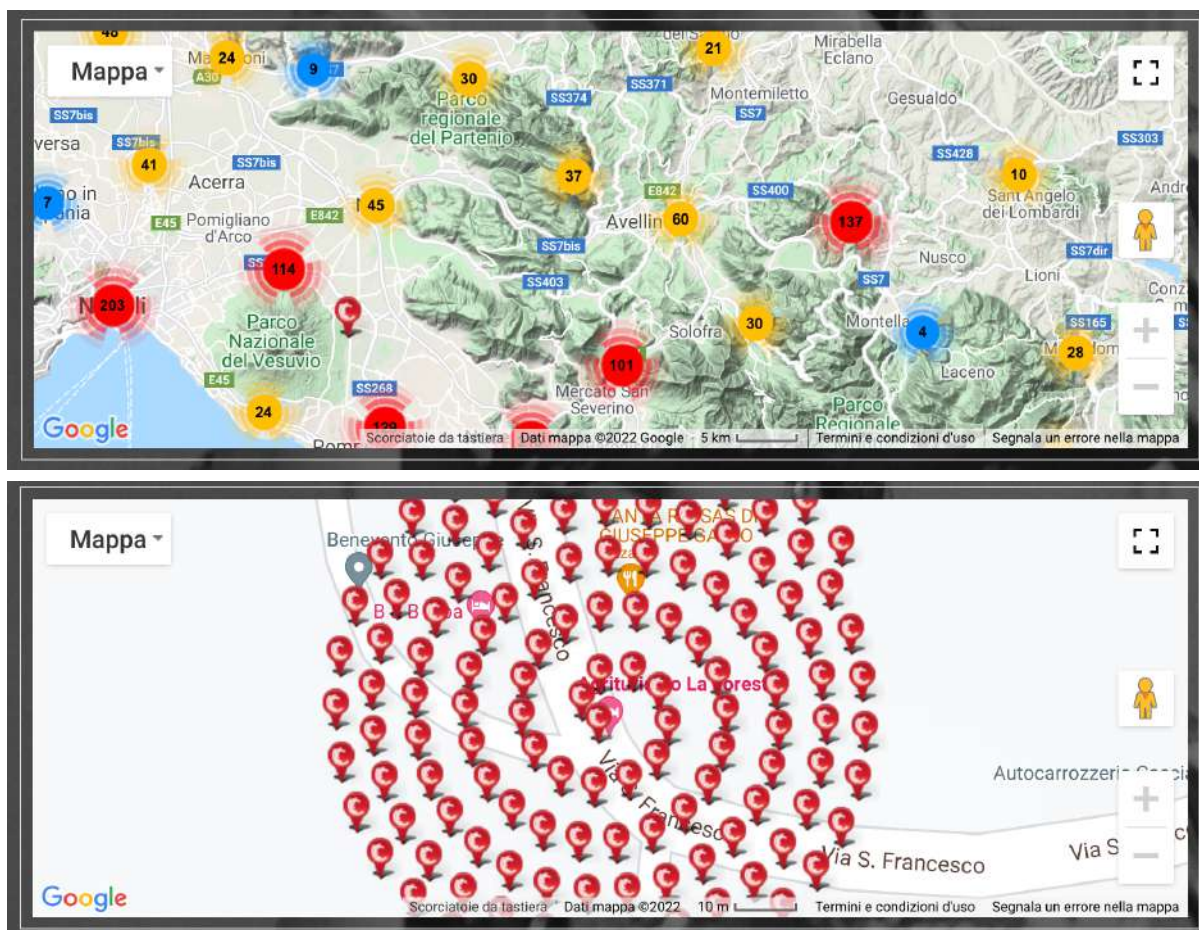


Figure 2.5 Due screenshots dalla sezione campana del sito ArchivioSonoro LaRete.  
 (<http://www.archiviosonoro.org/archivio-sonoro/archivio-sonoro-campania.html>)

Superato questo scoglio iniziale si accede alla pagina dedicata al nastro specifico, dove è presente una sua buona descrizione testuale e un player che contiene un estratto di 40 secondi, ma non risulta immediatamente chiara la modalità con cui sia eventualmente possibile accedere alla registrazione completa, nonostante ne sia riportata la durata originale.

Dal materiale proposto è palese che l'intento dell'archivio sia di tipo etnologico e musicologico: la collezione comprende, per varietà e numero di nastri, in larga parte musiche popolari, riti religiosi, canti liturgici e interviste a passanti durante eventi pubblici sacri o profani, nonché racconti di folclore locale; un patrimonio dal valore notevole che però ha memoria storica esclusivamente per le antrofonie.



*Figura 2.6 Esempio di pagina dedicata a una singola registrazione della rete ArchivioSonori, con player e descrizione del nastro.  
(<http://www.archiviosonoro.org/archivio-sonoro/archivio-sonoro-campania/>)*

Ultimo esempio di archivio sonoro che si ritiene interessante riportare in questo paragrafo è rappresentato dal campano *Napolisoundscape*<sup>33</sup>. Qui sono interessanti le scelte di dedicarsi a un'area geografica così circoscritta e di palesare nel manifesto del progetto una dedizione al soundscape che prescinde dalle sue componenti di geofonie, biofonie e antropofonie. *Napolisoundscape* nasce nel 2013 nelle aule di Musica Elettronica del conservatorio San Pietro a Majella e questo giustifica - probabilmente - l'attenzione maggiore che si è posta al suono in sé piuttosto che alla sua descrizione testuale. Il sito si presenta con un aspetto minimalista ma funzionale e la sezione di fieldrecordings comprende circa una trentina di registrazioni urbane della durata media di 10 minuti, con un player e un abbozzo di informazioni geografiche deducibili dal nome del file. Il download dei campioni in formato non compresso è possibile previo contatto mail con i responsabili del progetto<sup>34</sup>.

Gli archivi sonori fin qui presentati propongono una notevole varietà di materiali e approcci differenti nella loro organizzazione, si ritiene però che nessuno di questi riesca a offrire fino in

<sup>33</sup> <https://www.napolisoundscape.com/index.php>

<sup>34</sup> [info@napolisoundscape.com](mailto:info@napolisoundscape.com)

## Napolisoundscape

Home	Track	Note	Play
Field Recordings			
Napoli	ns09.3	staz. marittima msc partenza 'splendida'	04:43 / 11:01
Others			
News/Writings	ns10.0	staz. Centrale di Napoli center	00:00 / 10:01
Link			
About Us	ns10.1	staz.Centrale Binario 12-13	00:00 / 04:39
Contact			
	ns11.0	p.zza Dante vs via Toledo_2	00:00 / 10:04
	ns11.1	p.zza Dante vs via Pessina	00:00 / 10:02

Pages :

<< 1-2-3-4-5 >>

© 2014-Napolisoundscape

Figura 2.7 Pagina dedicata alle registrazioni presenti nell'archivio Napolisoundscape.  
(<https://www.napolisoundscape.com/napoli.php?p=4>)

fondo e in maniera soddisfacente una fruizione completa dei suoni che contengono, o per interfacce poco agili o per scarsità di informazioni riportate. Da questo punto di vista esistono strumenti che si reputano essere più validi per una rappresentazione sonora di un'area, primo tra tutti la sound map.

### 2.2.1 Sound map

Una sound map è una forma di media locativo che mette in relazione un luogo e le sue rappresentazioni sonore, geolocalizzando le registrazioni su una mappa e spesso associandole a un player con metadati facilmente consultabili come data, tecnica microfonica, sorgenti principali, fotografia del sito, spettrogramma e descrizione testuale. Esistono molte tipologie di sound map, differenti per obiettivo e struttura, ma lo scopo di questo capitolo non è solo quello di analizzare archivi sonori esistenti; per bontà di sintesi e completezza di informazione verrà stilata una lista di quelli che si reputano personalmente più rilevanti: MilanoSonora<sup>35</sup>, LondonSoundSurvey<sup>36</sup>, MapaSonoroDeMexico<sup>37</sup> e Glasgow3DSoundMap<sup>38</sup>. La sound map che l'autore di questo lavoro di tesi pensa essere la più completa in assoluto per ricchezza di suoni, approccio filosofico e interfaccia è quella proposta dal progetto *Radio*

<sup>35</sup> <http://www.albesteiner.net/milanosonora/>

<sup>36</sup> <https://www.soundsurvey.org.uk/index.php/survey/soundmaps/more/38/35>

<sup>37</sup> <https://mapasonoro.cultura.gob.mx/>

<sup>38</sup> <http://www.glasgow3dsoundmap.co.uk/soundmap.html>



*Aporee*<sup>39</sup>, avviato nel 2000 dall'artista e programmatore tedesco Udo Noll<sup>40</sup>. La mappa è sviluppata intorno all'ambiente web fornito da Google Maps e riporta dei cerchi rossi tanto più grandi quanto maggiore è il numero di registrazioni presenti in una determinata zona; l'archivio è densamente popolato grazie a una community di appassionati molto attiva, chiunque può aggiungere i propri suoni previa lettura delle norme<sup>41</sup> di upload.



*Figura 2.8 Interfaccia principale della soundmap Radio Aporee.*  
(<https://aporee.org/maps/>)

La scala di risoluzione della mappa va da unità di 1000 chilometri fino a uno zoom di 20 metri, necessario per poter accedere a una registrazione specifica. Ogni spot rosso ha un player dedicato incorporato nella mappa, per cui non bisogna accedere a pagine differenti per ascoltare il campione; oltre al tasto di play e stop, sono presenti informazioni geografiche, titolo della registrazione, autore, data, descrizione e tasto per il download in formato MP3. Come richiesto nella sezione che spiega le norme di caricamento, nella maggior parte dei casi le descrizioni testuali comprendono un breve report del contesto di acquisizione sonora e dell'attrezzatura audio utilizzata. È presente sulla mappa anche una funzione *search*, molto efficiente, che possiede dei filtri di categoria per data, luogo di registrazione o materiale sonoro che si desidera ascoltare.

Integrate nella sound map, sono presenti una serie di funzioni satellite che rendono l'esperienza del sito molto immersiva e personalizzabile: è possibile creare un proprio mix in tempo reale o lasciare che sia un algoritmo a farlo autonomamente attraverso lo strumento

<sup>39</sup> <https://aporee.org/maps/>

<sup>40</sup> <https://zkm.de/en/person/udo-noll>

<sup>41</sup> <https://quietamerican.org/links.html>

*geomixer* che organizza randomicamente - in una successione infinita - paesaggi sonori scelti in base a parole chiave immesse dall'utente. Uno degli aspetti più interessanti di questo progetto risiede nella sua natura di lavoro collaborativo, una sola persona riuscirebbe molto difficilmente a raccogliere in poco più di vent'anni circa 58000 campioni in 5000 luoghi diversi della Terra; in più la community ha spesso deciso di auto-organizzarsi in modo che alcuni utenti riuscissero a monitorare acusticamente un singolo spot nel tempo. Soprattutto nella città di Berlino - dove il progetto è nato e ha riscontrato maggiore successo - esistono punti in cui è possibile trovare fino a 300 registrazioni effettuate nelle stesse coordinate, in stagioni e orari differenti, rendendo Radio Aporee uno strumento molto valido nell'ambito della soundscape ecology urbana.



*Figura 2.9 Esempio di accesso a un suono contenuto nella soundmap Radio Aporee. In questo caso si può ascoltare una registrazione effettuata su una spiaggia polinesiana, a Bora-Bora.*  
(<https://aporee.org/maps/?loc=54113&m=satellite>)

Nonostante le varie funzioni di personalizzazione della sound map e la notevole potenza e stabilità di Radio Aporee, si è scelto per questo lavoro di tesi di sviluppare autonomamente una installazione web che ospita sia un archivio personalmente progettato che una raccolta di informazioni naturalistiche e suggestioni artistiche provenienti da una più specifica area geografica.

### 2.3 Il progetto Monti Picentini Digitali

Nel 2021 il progetto Monti Picentini Digitali nasce a iniziativa dello scrivente come installazione multimodale web da cui sono derivate opere fisiche interattive. L'obiettivo è di utilizzare, attraverso più media artistici, il soundscape come veicolo di tutela e sensibilizzazione naturalistica verso un insieme di monti campani: i Picentini.

I Monti Picentini sono un gruppo dell'Appennino meridionale e ricoprono un'area calcareo-dolomitica di circa 62.000 ettari tra le provincie di Avellino e Salerno. Sono delimitati a nord dai Monti del Partenio, a ovest dai Monti Lattari, a est dall'Alta Irpinia e a sud dalla valle del fiume Sele.

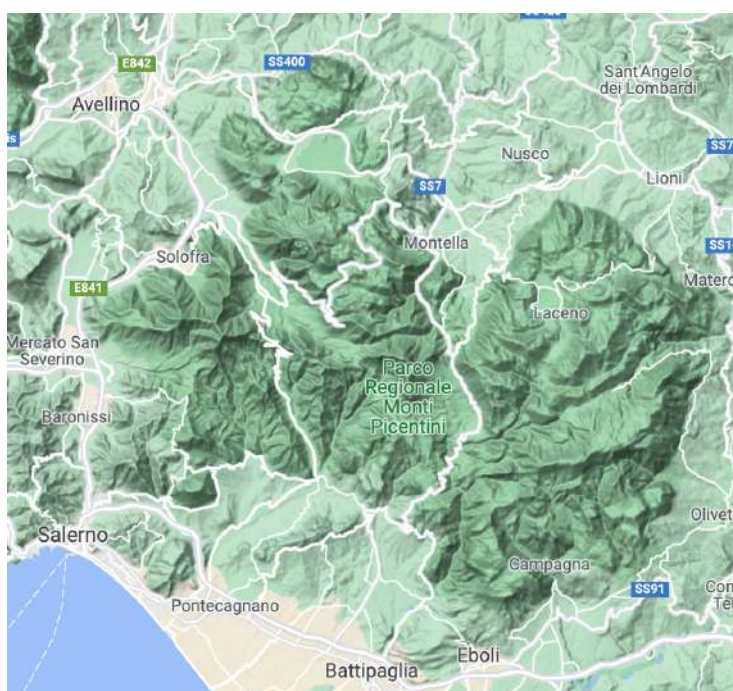


Figura 2.10 Area dei Monti Picentini, diventata Parco Regionale nel 1995  
(<https://www.google.com/maps>)

Vari sono i motivi per cui si è scelto di focalizzare l'attenzione sullo studio dei paesaggi sonori di questa zona, primo fra tutti un notevole valore affettivo che personalmente si prova verso questi monti. Uno degli obiettivi principali del progetto è proprio quello di divulgare a un pubblico più vasto il patrimonio naturalistico di questa terra e di infondere consapevolezza sulla necessità di preservarlo: attraverso la *narrazione sonora* del paesaggio si reputa possibile far emergere il valore sociale e culturale delle singole sorgenti acustiche, che siano esse geofonie, biofonie o antropofonie, toniche, segnali o impronte sonore. In più ad oggi (gennaio 2022), l'autore di questo lavoro di tesi non è riuscito a reperire informazioni su



archivi sonori che si occupino della memoria acustica di questa zona e si è quindi ritenuto fondamentale avviarne uno con carattere pubblico.

Da qui è nata la necessità di creare uno spazio web in cui trovare non solo una sound map specificamente progettata per i Monti Picentini, ma anche informazioni naturalistiche che permettono di apprezzare e conoscere quest'area montuosa, con la speranza che sempre più persone decidano di fruirne - con rispetto - dal vivo.

Oltre che strumento divulgativo e artistico, come si è visto nei paragrafi precedenti, un archivio sonoro è anche fonte di dati fondamentale per studi scientifici di carattere ecologico: sebbene non ci siano capacità e spinti interessi personali in queste discipline, ci si augura che in futuro i suoni raccolti possano rappresentare una minima base informativa utile per ricerche naturalistiche più specifiche.

### **2.3.1 GitHub e GitHub Pages**

Il progetto *Monti Picentini Digitali* nasce con intenti sia artistici che divulgativi, ma soprattutto *open source*: si è deciso di rendere visibili, scaricabili e modificabili tutti i materiali presenti sul sito, dalle registrazioni audio ai codici sorgente di gestione dell'archivio; qualora dovesse risultare una struttura funzionale per progetti altrui, sarebbe interessante favorire la creazione di una rete di tante piccole sound maps che si prendano cura dei suoni di specifiche aree geografiche. In questa ottica, la scelta del servizio di hosting è ricaduta automaticamente su GitHub<sup>42</sup> per le sue qualità di software sharing e gestione interna di repositories attraverso pull-requests pubbliche. Altro vantaggio non indifferente risiede nella possibilità gratuita di trasporre le cartelle dei progetti su pagine web graficamente personalizzabili e pubblicamente accessibili attraverso il servizio GitHub Pages<sup>43</sup>. Questo ha una gestione interna di compatibilità con i browsers e i loro continui aggiornamenti e dedica uno spazio cloud personale ai possessori dei progetti, garantendo all'archivio durata nel tempo anche senza investimenti economici e costanti manutenzioni. L'unico svantaggio attualmente riscontrato nell'utilizzo di questo sistema (nella versione non a pagamento) è nel limite massimo di dimensioni del singolo file caricabile, che non può eccedere i 25 MB<sup>44</sup>: per

---

<sup>42</sup> <https://github.com/>

<sup>43</sup> <https://pages.github.com/>

<sup>44</sup> Questo limite è aumentato a 2 GB nella versione Pro.

un codice è una cifra decisamente sufficiente, ma un file audio non compresso (Stereo, 16 bit, 44.1 kHz) è vincolato a durare poco più di 2 minuti. Per gli sviluppi futuri del progetto ci si augura di poter investire in un dominio privato con server sufficientemente capienti per ospitare tutto il materiale che verrà prodotto.

## 2.4 La struttura del sito

Monti Picentini Digitali è stato pensato più come contenitore di materiali multimediali e interattivi che come vetrina di un progetto da fruire passivamente, il taglio che si voluto dare al lavoro è auspicabilmente più prossimo a una macro-installazione web che a un sito internet inteso nella sua accezione canonica. Strutturalmente è stato organizzato seguendo un approccio idealmente museale, o quantomeno pensando di allestire varie stanze nell'ottica che siano visitabili in successione assecondando un certo *fil rouge*. Si è scelto di presentare il sito con una pagina principale che contiene le informazioni di massima del progetto e da cui partono percorsi concatenati che accompagnano i fruitori verso aree dai contenuti diversi. In generale, però, il cardine attorno a cui ruota il sito è la sound map interattiva, metaforicamente il pezzo di *maggior rilievo* della collezione; tutte le altre *sale* sono *allestite* per farne apprezzare meglio il significato e contengono materiale artistico, informativo e di divulgazione naturalistica.

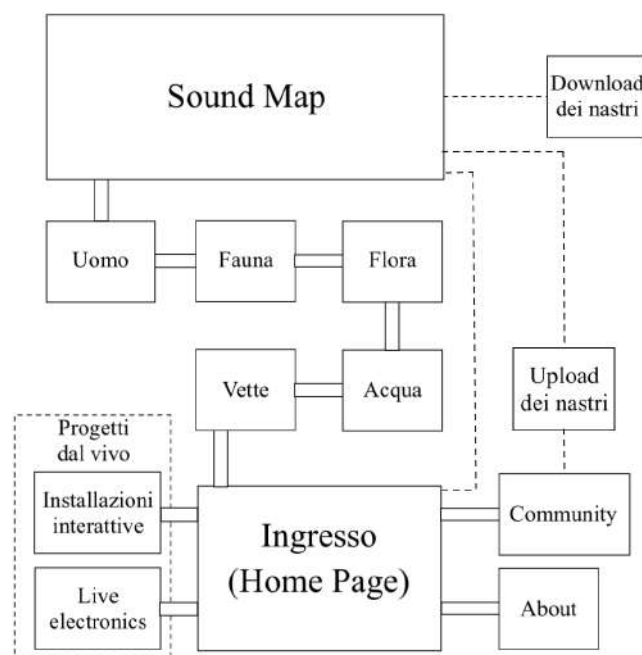


Figura 2.11 Architettura del sito Monti Picentini Digitali

Si è ritenuto interessante sfruttare le potenzialità grafiche integrate in p5.js sviluppando per molte sezioni del sito degli sketch che si è definito *frammenti digitali*: ciascuno di essi è un piccolo ecosistema audio-video creato per restituire una suggestione artistica coerente con le informazioni riportate nella sezione in cui ci si trova. Ogni frammento è basato su algoritmi generativi, quindi con risultati sempre leggermente differenti per ogni visita della stanza, ma con una propria macro linea estetica costantemente rispettata. Si è voluto introdurre questa componente sia per dare un accompagnamento multimediale, mai statico, al percorso, che per creare un'astrazione artificiale, soprattutto sonora, che mediasse tra l'entità puramente digitale del progetto e i suoni esclusivamente concreti presenti nella sound map. Da un punto di vista molto personale e sicuramente non palese, i frammenti digitali sintetizzano in semplici algoritmi le ben più vaste e raffinate complessità visive e sonore degli ecosistemi naturali a cui si può pensare, con un notevole grado di astrazione, come delle enormi strutture generative.

#### 2.4.1 Home page

La pagina principale del sito, l'ideale ingresso dell'installazione web, tenta di sintetizzare in poche righe la matrice artistica del lavoro e propone i vari percorsi che si possono scegliere per fruire del progetto.

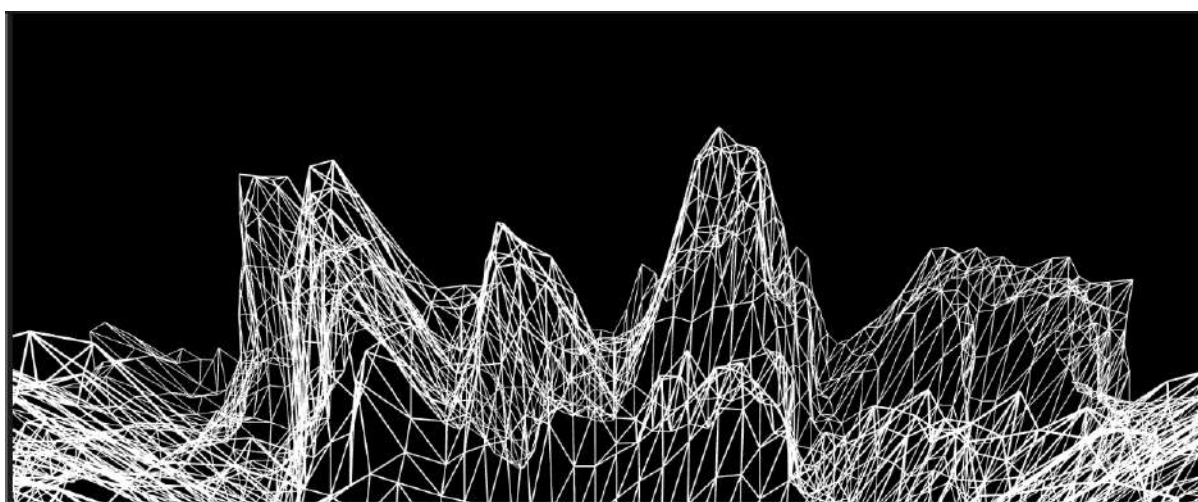


Figura 2.12 Frammento digitale Orosintesi

Da subito si è scelto di proporre il primo frammento digitale *Orosintesi* che rappresenta, con una grafica essenziale, un infinito volo d'uccello tra montagne generative. Come è stato fatto per molti altri frammenti, l'algoritmo che si è voluto indagare artisticamente è basato sul

rumore di Perlin<sup>45</sup>: un reticolo di gradienti randomici il cui prodotto scalare viene interpolato per ottenere valori con cui riempire una griglia, tipicamente con escursione continua nell'intervallo compreso tra 0 e 1. Questo tipo di rumore è stato sviluppato dal matematico Ken Perlin nel 1983 come strumento software utile alla produzione di textures procedurali dall'aspetto molto complesso ma al contempo naturale. In ambiente p5.js è presente *noise()*<sup>46</sup>, un generatore di spazio di Perlin a 3 dimensioni accessibile tramite coordinate x, y e z accettate in argomento dalla funzione.

Nel caso di Orosintesi si è prima creata una mesh triangolare su un piano x, y e quindi si è fatta *scorrere* sotto questa griglia la funzione *noise()* associandola alla coordinata z di ogni vetrice della mesh. Il risultato è un paesaggio procedurale sempre diverso, infinitamente generativo e ottenuto con poche linee di codice.

```
movimento -= vel_movimento;
perlin_x = 0;

for (let i = 0; i < colonne; i++) {
  rumore_perlin[i] = [];
  perlin_y = movimento;

  for (let j = 0; j < righe; j++) {
    rumore_perlin[i][j] = map(noise(perlin_x, perlin_y), 0, 1, - altezza * 2, altezza);
    perlin_y += incr_perlin;
  }
  perlin_x += incr_perlin;
}

for (let j = 0; j < righe - 1; j++) {
  beginShape(TRIANGLE_STRIP);

  for (let i = 0; i < colonne; i++) {
    vertex(i * scala, j * scala, rumore_perlin[i][j]);
    vertex(i * scala, (j + 1) * scala, rumore_perlin[i][j + 1]);
  } //fine for colonne
  endShape();
} //fine for righe
```

Figura 2.13 Porzione principale dell'algoritmo di generazione grafica di Orosintesi

## 2.4.2 Vette

Questa è la prima *stanza* sul percorso verso la sound map, qui sono raccolte informazioni sull'orografia dei Monti Picentini e sono riportati nomi e altezze delle vette principali. Si è scelto di organizzare le sezioni con un verso di lettura spaziale dall'alto verso il basso e

<sup>45</sup> <https://web.archive.org/web/20071013155720/http://noisemachine.com/talk1/index.html>

<sup>46</sup> <https://p5js.org/reference/#/p5/noise>

idealmente assecondando la successione geofonia, biofonia, antropofonia: dopo Vette seguiranno le stanze Acqua, Flora, Fauna e Uomo.

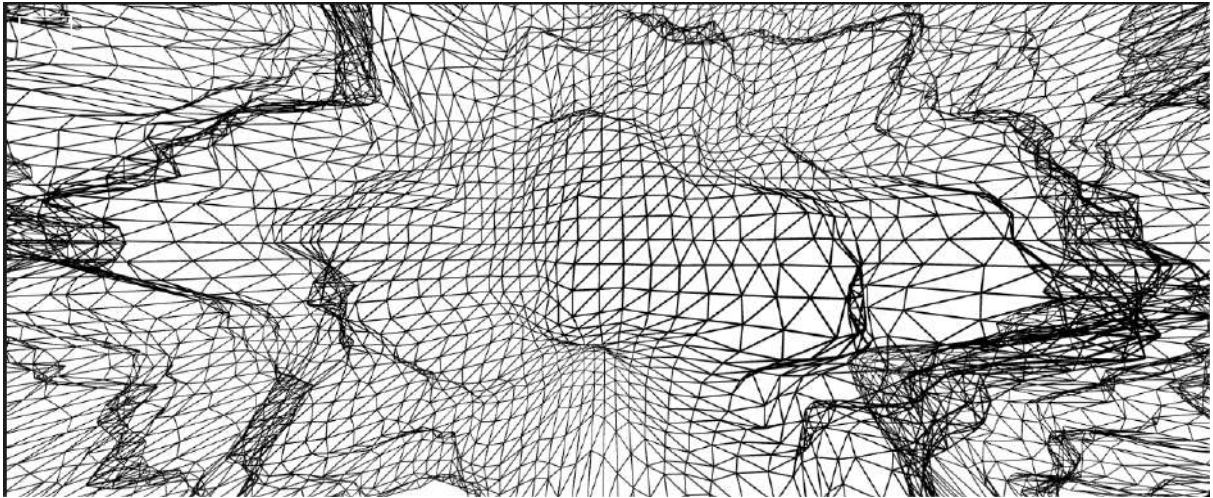


Figura 2.14 Frammento digitale Nuvole

Il frammento digitale che caratterizza questa sezione è *Nuvole*, una massa bianca in costante movimento ottenuta con un approccio al rumore di Perlin simile a quello adottato per Orosintesi, ma con l'aggiunta di un algoritmo di sintesi sonora. La componente audio generativa è un altro aspetto che si è voluto aggiungere al percorso verso la sound map, immaginando le 5 sezioni come una forma musicale pentapartita in cui *Nuvole* fa da introduzione con un lento bordone ad ampio spettro. L'algoritmo genera rumore rosa con la funzione `p5.Noise('pink')` e lo scolpisce collegandolo a un banco composto da 6 filtri passabanda da 200 a 1400 Hz. Le frequenze dei filtri rimangono costanti mentre viene variato il fattore Q di ogni banda con un mapping sulla coordinata z del valore del rumore di Perlin che sta gestendo la componente grafica. Utilizzare gli stessi valori di Perlin, rimappati, per audio e video garantisce un'automatica coerenza tra i materiali generati e snellisce notevolmente il codice JavaScript.

```
for (let i = 0; i < numero_filtri; i++) {  
  let amp_perlin = rumore_perlin[i * salto_filtro][floor(righe * 0.5)];  
  banco_filtri[i].freq(freq_filtro + freq_filtro * i);  
  let reso = map(amp_perlin, 0, 1, 20, 1);  
  banco_filtri[i].res(reso);  
  banco_filtri[i].amp( amp_perlin );  
}
```

Figura 2.15 Sezione del codice di *Nuvole* deputata alla gestione audio generativa. Non si è riportato l'algoritmo grafico perché risulta simile a quello già citato per Orosintesi

### 2.4.3 Acqua

Questa sezione contiene informazioni sul vastissimo patrimonio idrico dei Monti Picentini e riporta le principali sorgenti, i corsi d'acqua, gli inghiottitoi e le precipitazioni medie annue.

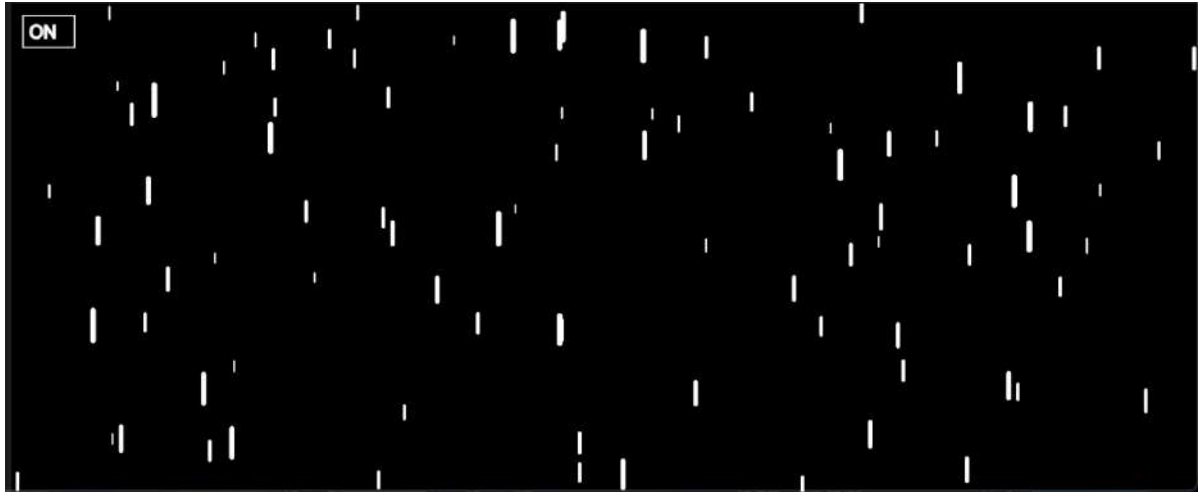


Figura 2.16 Frammento digitale Pioggia

Il frammento digitale di questa stanza è *Pioggia*: utilizza grafiche minimaliste e suoni glitch per proporre una versione fortemente stilizzata dell'omonimo fenomeno atmosferico. In questo sketch si è sperimentato con la struttura *class* tipica dei linguaggi derivati *C*: la goccia virtuale ha caratteristiche generate randomicamente all'interno delle proprietà della classe e un piccolo modello fisico gestisce accelerazione e velocità di ogni evento. Il sistema tende a moltiplicare nel tempo le gocce fino a ottenere un temporale digitale.

```
class goccia{
  constructor() {
    this.x = random(0, width); //partenza gocce X
    this.y = random(-200, -100); //partenza gocce Y

    this.macro = random(0, 20); //mappature macro
    this.vel_caduta = map(this.macro, 0, 20, 0, 2);
  }

  pioggia() {
    this.y = this.y + this.vel_caduta; //incr Y di caduta

    let acc_caduta = map(this.macro, 0, 20, 0, 0.08);
    this.vel_caduta = this.vel_caduta + acc_caduta; //accello l'incremento Y di caduta

    if (this.y > height) { //riporto la goccia sopra
      this.x = random(0, width);
      this.y = random(-600, -100);
      this.vel_caduta = random(1, 10);

      if (numero_gocce < numero_gocce_max) { //aggiungo rnd una nuova goccia
        if (random(0, 1) > (0.7 + 0.25 * numero_gocce/numero_gocce_max)) {
          numero_gocce++;
        }
      }
    }
  }
} //chiudo pioggia()
```

Figura 2.17 Gestione della classe goccia, con il suo costruttore e con la definizione dell'evento pioggia()



La generazione sonora è ottenuta manipolando 4 samples precomposti messi in play quando la goccia, un segmento bianco, arriva alla fine dello schermo. Una serie di *getter* dichiarati nella classe permettono di acquisire informazioni sulla posizione, velocità e grandezza delle gocce così da elaborare i suoni coerentemente con il modello fisico creato.

```
for(let i = 0 ; i < numero_gocce; i++) {  
    gocce[i].pioggia();  
    gocce[i].disegna();  
  
    if (gocce[i].ypsilon >= (height - gocce[i].lunghezza)) {  
        let freq = map(gocce[i].ics, 0, width, 0.8, 2.4);  
  
        campione[i].rate(freq);  
        campione[i].pan(map(gocce[i].ics, 0, width, -1, 1));  
        campione[i].setVolume((1/(constrain(numero_gocce, 1, 50) + 1)) * gocce[i].grandezza);  
  
        if (campione[i].isPlaying() == false) {  
            campione[i].play();  
        }  
    }  
}
```

Figura 2.18 Gestione della generazione grafica e sonora del frammento digitale Pioggia

#### 2.4.4 Flora

La terza *stanza* riporta informazioni sulla flora tipica dei Monti Picentini e propone alcuni esempi di particolarità vegetali presenti nella zona, come il caso della pianta carnivora del genere *Pinguicula* e dell'areale di *Pinus Nigra*.

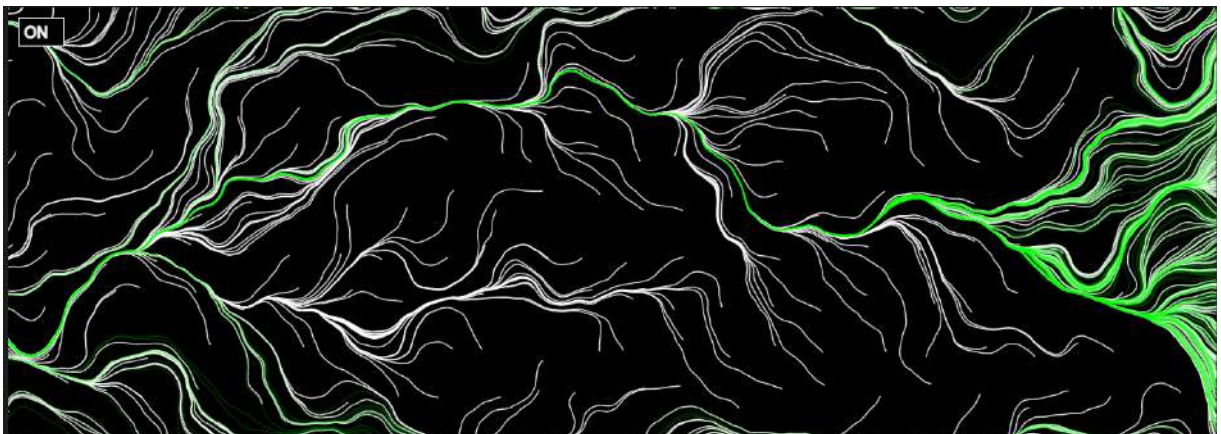


Figura 2.19 Frammento digitale Radici

Il frammento digitale della sezione è *Radici*, un altro esperimento sonoro e grafico derivato dal rumore di Perlin: in questo caso si è cercato di ottenere un'immagine che richiamasse sia le radici vegetali che i neuroni cerebrali, rifacendosi idealmente al concetto di interconnessione tra le entità biologiche. La componente visiva è generata creando una griglia equispaziata di vettori bidimensionali della grandezza di un pixel bianco, le coordinate di

questi punti sono utilizzate per accedere a valori di uno spazio di Perlin 2D, poi sfruttati ricorsivamente per variare l'angolo del versore del corrispettivo vettore. Il risultato è un morbido moto di punti che dopo un certo tempo tende a creare pattern prossimi a un sistema radicale, in realtà ciò che si vede sono le curve dei gradienti del rumore di Perlin. Appena tutti i vettori giungono circa sulle stesse traiettorie, viene introdotta una leggera variazione randomica nelle loro posizioni e dal bianco virano al verde brillante, come se della linfa passasse nelle radici digitali; questo è il primo frammento in cui è abbandonato il bicromatismo bianco e nero.

```
for (let i = 0; i < punti.length; i++) {
  let X = punti[i].x;
  let Y = punti[i].y;

  if (X < -5) {
    punti[i].set(width, random(height));
  }

  if (Y < -5) {
    punti[i].set(random(width), height);
  }

  if (X > width + 5) {
    punti[i].set(0, random(height));
  }

  if (Y > height + 5) {
    punti[i].set(random(width), 0);
  }

  let rumore = noise(X * scala_perlin, Y * scala_perlin); //perlin bidimensionale
  let angolo_mov = map(rumore, 0, 1, 0, PI * mult_pl[i]);
  let vett_ruota = createVector(cos(angolo_mov), sin(angolo_mov)); //versore con inclinazione random

  punti[i].add(vett_ruota);

  point(punti[i].x, punti[i].y, 0);
} // fine generazione grafica
```

*Figura 2.18 Gestione della generazione grafica di Radici*

Si è optato di utilizzare una sintesi additiva per la generazione sonora di questo frammento: a un certo numero di punti scelti casualmente è associato un oscillatore sinusoidale con frequenza (80 - 400 Hz) costantemente proporzionale alla coordinata y del vettore e ampiezza mappata rispetto alla coordinata x. Quando appaiono le venature verdi le frequenze saltano alla sesta successiva e viene applicata sul master audio una mandata di riverbero 100% *wet*.

```
for (let i = 0; i < numero_osc; i++) {

  let ampiezza = map(punti[i * salta_punti].x, 0, width, 0.3, 1);
  frequenza[i] = map(punti[i * salta_punti].y, 0, height, 400 * freq_mult, 80);
  osc[i].freq(frequenza[i], 0.1);
  osc[i].amp(ampiezza);

}
```

*Figura 2.19 Gestione della generazione sonora di Radici*



### 2.4.5 Fauna

Questa sezione descrive la fauna tipica dei Picentini parlando di mammiferi (lupo e altri canidi), uccelli (principalmente rapaci), crostacei (gamberi e granchi di fiume), alcuni insetti, rettili e anfibi. Tra questi ultimi si è scelta la salamandra come animale rappresentativo della *stanza* sia perché molto presente nei corsi d'acqua più puri di queste montagne che per le sue peculiarità estetiche: la sua pelle - liscia e lucente - è tipicamente nera e cosparsa di macchie gialle, usate come segnale identificativo di non commestibilità per scongiurare l'attacco di eventuali predatori<sup>47</sup>; gli schemi delle macchie sono unici per lo specifico esemplare e variano nel rapporto giallo/nero in base alla latitudine in cui vive l'animale.



Figura 2.20 Frammento digitale Pelle di Salamandra

Il frammento digitale *Pelle di Salamandra* è un omaggio grafico e sonoro ai pattern colorati di questi anfibi, si è cercato di simulare attraverso il rumore di Perlin una pelle nera con macchie gialle in continua metamorfosi, come a mimare la presenza di infinite salamandre artificiali. In questo caso è stato usato uno spazio di rumore tridimensionale tagliato longitudinalmente da un piano (x, y) su cui sono presenti dei piccoli cerchi gialli equispaziati, con l'intenzione di ottenere un effetto *ledwall*. Viene fatto *scorrere* il rumore di Perlin attraverso questi punti e se il suo valore nella specifica coordinata [x, y, z] supera lo 0.65 il *led* diventa giallo, altrimenti rimane nero. Come per il frammento *Pioggia*, anche in questo caso si è scelta una componente sonora costituita da samples precomposti: sono stati selezionati 6 estratti sonori dall'archivio che si sta sviluppando - tutti contenenti biofonie - ed è stato scritto un algoritmo in modo che fossero manipolati in tempo reale dallo sketch per ottenere un effetto simile alla

---

<sup>47</sup> Aposematismo

sintesi granulare. Ogni campione è associato a un certo numero di macchie gialle, la cui maggiore o minore presenza determina un generale aumento o diminuzione di volume; altri parametri come panning e pitch sono variati in modo randomico pur mantenendo coerenza con l'evoluzione grafica del frammento.

```
background(0);
x_off = 0;
y_off = 0;

for (let y = 0; y < height; y+= 10) {

  x_off += x_increment;
  y_off = 0;
  punto[y] = [];

  for (let x = 0; x < width; x+= 10) {

    valore_noise = noise(x_off, y_off, z_off);

    strokeWeight(4); //larghezza punto

    if (valore_noise >= 0.65) {
      stroke(255, 200, 0);
      punto[y][x] = 1;
    }

    else {

      stroke(0);
      punto[y][x] = 0;
    }

    y_off += y_increment;
    point(x, y); //disegno punto
  }
} // fine for grafica

z_off += z_increment;
```

Figura 2.21 Gestione della generazione grafica di Pelle di Salamandra

```
//-----sintesi sonora -----//

let somma = 0;

for (let y = 0; y < height; y+= 10) {
  for (let x = 0; x < width; x+= 10) {
    somma = somma + punto[y][x];
  }
}

let somma_max = (width * height) * 0.01;
ampiezza = map(somma, 0, somma_max, 0, 1);

for (let i = 0; i < numero_sample; i++) {
  campione[i].setVolume(ampiezza * 0.25);

  if (ampiezza < 0.2) {
    campione[i].pan(random(-1, 1));
  }

  if (random(10) > 5) {
    campione[i].rate(random(0.3, 5));
  }

  if (campione[i].isPlaying() == false) {
    campione[i].loop();
  }
}
```

Figura 2.22 Gestione della generazione sonora di Pelle di Salamandra

#### 2.4.6 Uomo

Qui si chiude il percorso verso la sound map interattiva e vengono date informazioni sull'ente Parco Regionale dei Monti Picentini, sulle popolazioni che vivono nella zona, sui comuni in cui si trovano le principali montagne e sulle grandi opere infrastrutturali come acquedotti e captazioni. Questa sezione è attualmente presente nel sito per contestualizzare meglio le antrofonie spesso presenti nei paesaggi, un'intenzione futura potrebbe essere quella di includere nel progetto una porzione dedicata a registrazioni di racconti, storie popolari e canti: una campagna di field recording più dedicata all'Uomo che alla Natura, ma che riguarda comunque questi monti nella misura in cui sono riusciti a plasmare le popolazioni che ospitano.

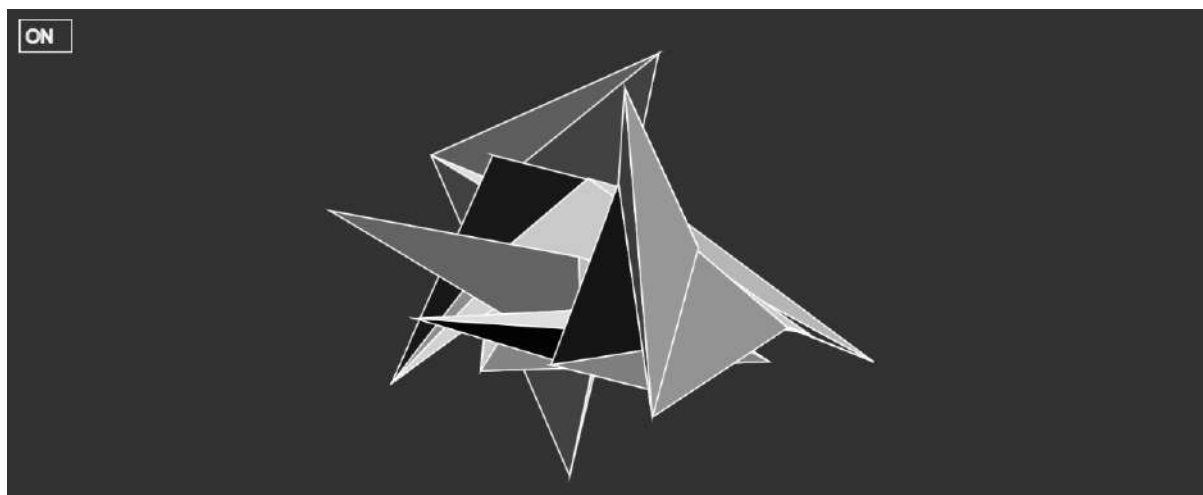


Figura 2.23 Frammento digitale Origami

Il frammento proposto è stato chiamato *Origami* ed è una semplificazione digitale - continuamente mutevole - della pratica di cui porta il nome. In un primo momento si era cercato di ottenere un segno grafico in qualche modo simile a un virus o a un corpo tagliente, ottenendo però una connotazione fin troppo negativa per questa sezione. Si è quindi virato verso un *organismo* meno aggressivo e più pacifico, pur mantenendo una certa spigolosità e colori in scala di grigio, liberamente ispirato al romanzo *Flatlandia*<sup>48</sup>. L'algoritmo che gestisce la componente visiva è piuttosto semplice: vengono generati una serie di punti che si muovono randomicamente, questi sono accoppiati per ottenere segmenti concatenati a loro volta uniti in gruppi di 3 per arrivare a un insieme di triangoli. A ciascun triangolo è associata, in base al suo colore, una forma d'onda classica modulata in frequenza dagli oscillatori

<sup>48</sup> E. Abbott Abbott (1884), *Flatland: A Romance of Many Dimensions*.

relativi ai triangoli immediatamente adiacenti, mentre l'indice di modulazione è proporzionale all'area occupata dal triangolo modulante. Il risultato è una somma di fasci inarmonici in sintesi FM, con frequenze costantemente modificate dal cambio di posizione delle singole figure geometriche e con timbri tanto più aspri quanto maggiore è lo spazio complessivo occupato.

Tutti questi frammenti digitali, con le relative informazioni naturalistiche, sono pensati per non essere fruiti esclusivamente attraverso consultazione privata dal sito web: saranno presenti sotto forma di QR Code fisici ogniqualvolta che il progetto Monti Picentini Digitali vivrà in contesti dal vivo grazie a live electronics e installazioni interattive.

Con questa sezione si chiude il primo percorso del sito e alla fine della pagina è presente un link per accedere alla sound map interattiva.

## **2.5 Archivio sonoro interattivo: la sound map dei Monti Picentini**

La personale campagna di registrazione tra questi monti comincia nella primavera 2015, con l'iniziale curiosità di voler sperimentare l'utilizzo di materiale concreto in composizioni elettroacustiche sia live che acustiche. Con il passare del tempo è nato l'interesse verso una minore manipolazione elettronica di queste registrazioni a favore di una ricostruzione degli ambienti più *naturale*, seppur con decisa presenza di elementi digitali. Probabilmente è stata la pandemia scatenata dal virus Covid-19 a far virare il progetto verso una dimensione che riuscisse ad approssimare quanto più possibile una riproducibilità fedele di questi soundscapes: l'impossibilità di poter passeggiare in montagna ha fatto emergere una certa necessità di trovarsi in quei luoghi e personalmente si è trovato che il suono fosse il palliativo più efficace. Da qui si è prestata maggiore attenzione alla qualità delle registrazioni e si ampliato il parco microfoni con nuovi dispositivi - acquistati o autocostruiti - tra cui quello che si ritiene essere il più efficace e immersivo è un *headset* binaurale personalmente progettato e prodotto con stampa 3D.

Nella creazione dell'archivio è fortemente presente questo approccio estetico al soundscape: l'iter tipico prevede l'individuazione di uno spot che si reputa acusticamente interessante, viene adottata una tecnica microfonica stereo consona (mediamente binaurale con aggiunta di microfono centrale cardioide) e si avvia la registrazione dichiarando data, ora, tecnica utilizzata, condizioni meteorologiche, latitudine e longitudine del luogo. Ci si allontana dal

recorder per non inquinare con la propria presenza il sito, soprattutto per non influenzare le biofonie, registrando per un minimo di 10 minuti. In fase di archiviazione e catalogazione si è scelto di intervenire quanto meno possibile con la post-produzione delle registrazioni, tipicamente cercando di utilizzare solo equalizzatori e accenni di editing nella scelta di un estratto lungo 2 minuti da inserire nella sound map.

### 2.5.1 La mappa

Durante la fase progettuale dell'archivio online si è posta particolare attenzione sulla scelta dello strumento grafico più utile per restituire una rappresentazione sonora dei Monti Picentini e tra le numerose opzioni disponibili, le più valide sono risultate essere le librerie Mappa.js<sup>49</sup> e Leaflet<sup>50</sup> utilizzate in ambiente Thunderforest<sup>51</sup>.

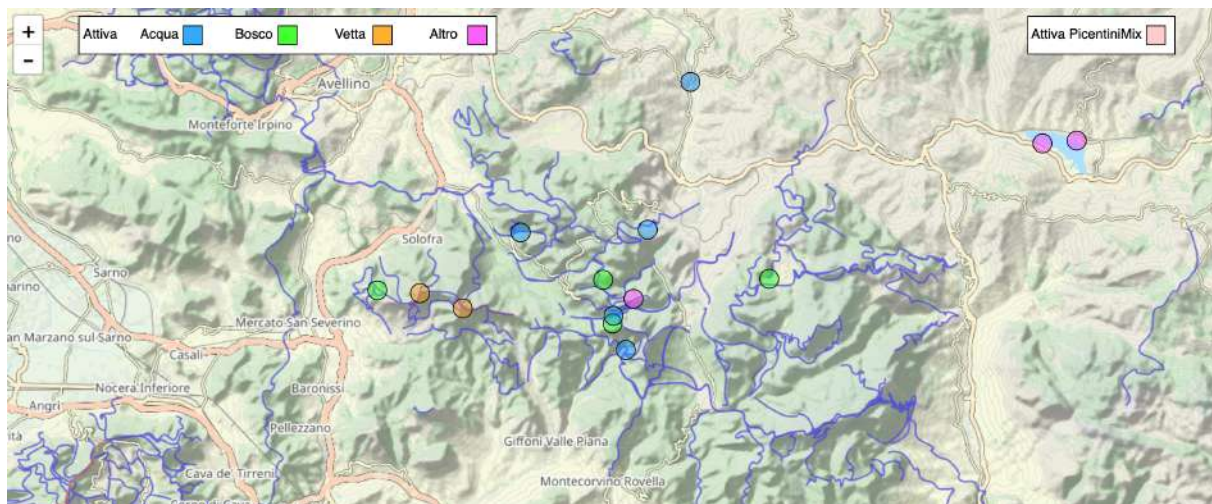


Figura 2.24 Sound map del progetto Monti Picentini Digitali

Dopo aver importato le librerie nel file HTML che contiene il body dello script, sono disponibili le funzioni di importazione della mappa, di interfaccia di navigazione e di conversione delle informazioni di latitudine e longitudine in pixel rispetto al canvas. È così possibile creare una mappa con la funzione *new Mappa('Leaflet')* e personalizzarla attraverso un set di opzioni per scegliere posizione iniziale all'apertura, zoom e stile grafico.

La voce *style* necessita di un riferimento a link esterno per accedere a pacchetti di files *png* che permettono di ricostruire la mappa in tempo reale ogni volta che ci si sposta al suo

<sup>49</sup> <https://mappa.js.org/>

<sup>50</sup> <https://leafletjs.com/>

<sup>51</sup> <https://www.thunderforest.com/>



interno. Questo insieme di immagini è contenuto in server dedicati ed è possibile acquisirle, come in questo caso, tramite API personali e informazioni specifiche di zoom, latitudine, longitudine  $\{z, x, y\}$ : lo sketch assembla istantaneamente questo puzzle di files dando l'impressione che ci sia un'unica grande mappa esplorabile a piacimento.

```
const options = {  
  lat: 40.777,  
  lng: 15.006,  
  zoom: 10,  
  style: "https://tile.thunderforest.com/outdoors/{z}/{x}/{y}.png?  
apikey=376fcc0bed384422babc4c6085f83930"  
}
```

In particolare si è scelto un pacchetto gratuito (Outdoors) offerto da Thunderstorm perché riporta le curve isometriche delle zone montuose e offre la possibilità di integrare la grafica con le informazioni tipicamente presenti nelle mappe dell'Istituto Geografico Militare Italiano<sup>52</sup> come: nome e altezza delle vette e colline, sentieri noti, sorgenti, fiumi, grotte, varchi e valichi. Le curve di livello facilitano la lettura dell'orografia della zona, allo zoom massimo sono discretizzate fino a un massimo di 10 metri di dislivello, mentre i riferimenti dati dai nomi delle zone permettono un migliore orientamento geografico.

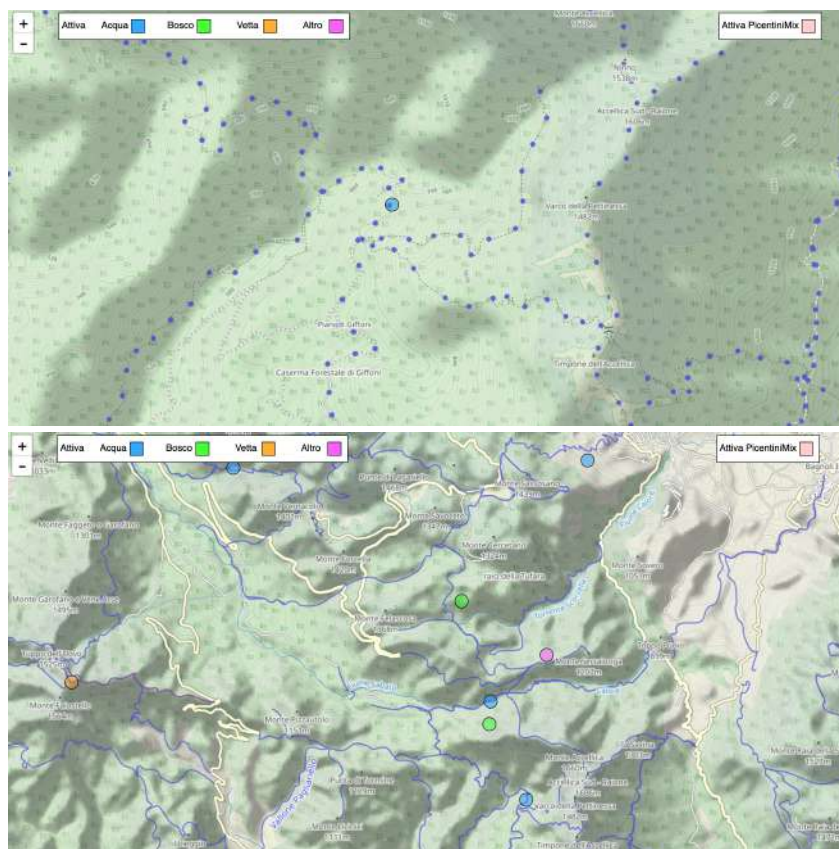


Figure 2.25 Particolari della mappa che riportano curve isometriche e nomi.

<sup>52</sup> <https://www.igmi.org/>

Si è personalizzata ulteriormente la mappa aggiungendo i maggiori sentieri registrati dal CAI<sup>53</sup> (Club Alpino Italiano) trovati in vari archivi digitali (tratto in blu nella figura precedente).

### 2.5.2 Organizzazione del materiale sonoro

La sound map - per le limitazioni di GitHub di cui si è parlato - contiene registrazioni in formato compresso *mp3* (CBR 320) della durata massima di 2 minuti, archiviate nello spazio web del progetto. Per facilitare lettura, manutenzione e aggiunta di materiale sonoro nel tempo si è scelto di creare una struttura dati che mantenesse nello stesso *luogo* sia il file audio che i metadati con le informazioni sulla registrazione; attualmente questo avviene aggiungendo di volta in volta nuove linee di codice allo sketch, ma l'intenzione futura è quella di sviluppare un'apposita sezione del sito per l'upload delle registrazioni e delle note relative. Si è creata quindi una classe JavaScript *luogo* il cui constructor accetta in argomento: latitudine, longitudine, nome che si è dato al file, luogo di registrazione, data, tecnica microfonica, descrizione, etichetta, livelli di fonie e autore.

```
class luogo {  
  constructor(x, y, n_file, n_luogo, datazione, mic, note, color, fonie, autore) {  
    this.x = x  
    this.y = y  
    this.n_file = n_file  
    this.n_luogo = n_luogo  
    this.datazione = datazione  
    this.mic = mic  
    this.note = note  
    this.color = color  
    this.fonie = fonie  
    this.autore = autore  
  }  
}
```

Grazie alla creazione di questo *object* è semplice gestire tutti i metadati perché risultano facilmente accessibili durante l'esecuzione del codice attraverso dei *getter* dichiarati successivamente nella classe. In più, per aggiungere una nuova registrazione con le relative informazioni è solo necessario dichiarare una costante di *luogo* con questa tupla ordinata:

```
const pizzo_san_michele = new luogo(40.799159, 14.844128, 'pizzol.mp3', 'Pizzo San Michele', '03.09.2016 16:05',  
'XY 120°', 'Vento e grilli di fronte al santuario', 'vetta', '5 2 1', 'Giuseppe Bergamino');
```

La penultima voce, nell'esempio '5 2 1', utilizza una scala da 0 a 5 per indicare rispettivamente i livelli di geofonie, biofonie e antropofonie presenti nella registrazione.

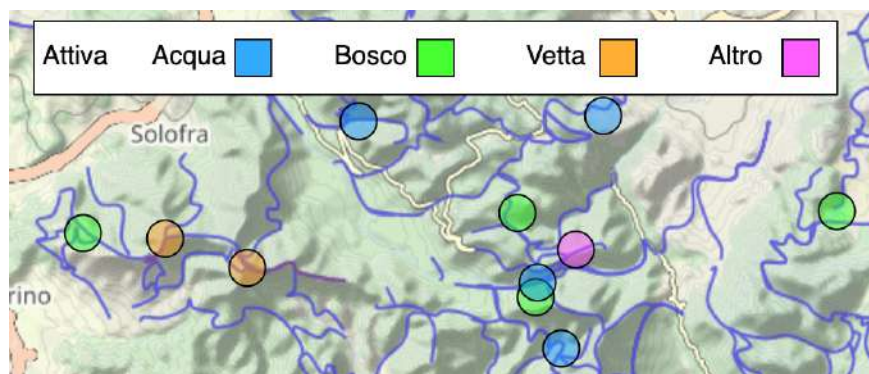
---

<sup>53</sup><https://www.cai.it/>

Si è scelto di associare a ogni file anche un'etichetta grafica, definita all'interno della classe con la voce *color*, che organizza il materiale in 4 macro categorie (Acqua - Bosco - Vetta - Altro), queste rendono le varie tipologie di registrazioni visivamente distinguibili sulla mappa grazie a colori diversi degli spot e facilitano la scelta di ciò che si vuole ascoltare durante l'esplorazione dell'archivio.

### 2.5.3 L'interfaccia utente

Sulla mappa è stata implementata un'interfaccia grafica interattiva che permette di accedere a una serie di funzioni scritte all'interno del codice JavaScript dell'archivio. Ogni registrazione è raffigurata da un cerchio e la sezione grafica in alto spiega il senso dei colori a loro associati che - come si è detto - sono rappresentativi delle 4 macro categorie. La legenda funge anche da filtro: per eliminare o aggiungere una o più categorie è sufficiente cliccare sui quadrati colorati associati a ogni etichetta; così è possibile - per esempio - concentrarsi solo sui suoni di Acqua, qualora non si fosse interessati al resto. Questa funzione diventa particolarmente interessante se utilizzata contestualmente all'algoritmo PicentiniMix, di cui si parlerà a breve.



*Figura 2.26 Particolare della sezione di attivazione delle macro categorie. In questo caso risultano essere tutte e 4 attive.*

Durante la navigazione della sound map, se con il mouse, o con il dito nel caso di cellulare, si passa su uno dei cerchi colorati, viene aperta una finestra nella parte inferiore dello schermo che contiene le informazioni relative alla registrazione. Cliccando sul cerchio questo aumenterà il proprio diametro e l'alfa del colore, mettendo in play il file audio, mentre interagendo nuovamente verrà messo in stop.

Durante la riproduzione del campione è possibile scaricarlo in formato audio non compresso (.wav) cliccando sul rettangolo *DOWNLOAD* nell'angolo superiore della finestra.



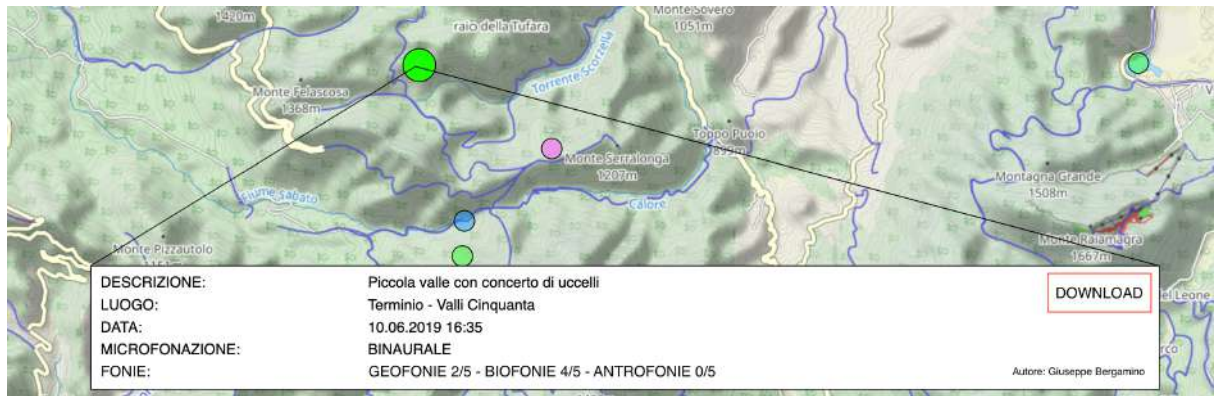


Figura 2.27 Particolare della finestra con le informazioni sulla registrazione

#### 2.5.4 La funzione PicentiniMix

La personale passione per la musica generativa ha portato allo sviluppo di un algoritmo in grado di organizzare autonomamente, secondo una logica attualmente randomica, il play dei campioni audio presenti sulla sound map.

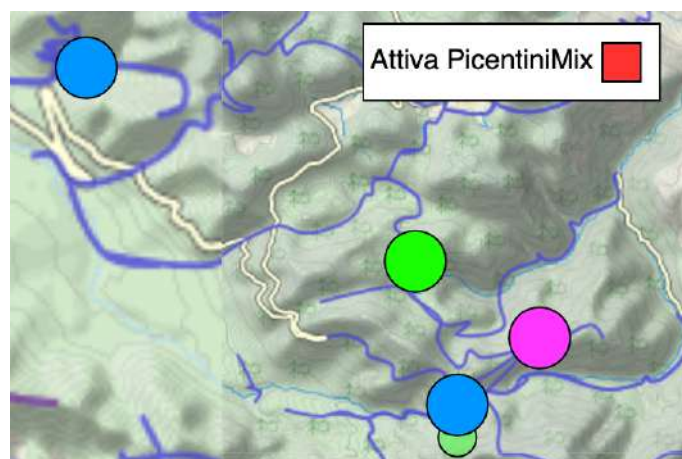


Figura 2.28 Particolare grafico della funzione PicentiniMix

L'utente può decidere di attivare la funzione *PicentiniMix* cliccando sul quadrato rosso posto nell'angolo in alto a destra della mappa, in questo modo il software avrà la possibilità di lanciare ciclicamente e in una successione più o meno rapida fino a quattro tracce. Durante l'esecuzione della funzione l'archivio non perde la sua componente interattiva: è comunque possibile mettere in play altri campioni o fermare l'esecuzione di quelli scelti dall'algoritmo se non dovessero risultare piacevoli nel mix. In questo caso è utile sfruttare anche la sezione di filtri Acqua - Bosco - Vetta - Altro, deselezionando eventuali categorie sonore che non si ritengono interessanti all'ascolto.

```

//-----gestione picentini mix-----//
if (box[4] == true) {
    if ((tracce_mix_attive < max_tracce_mix) && (tempo_traccia > durata_traccia * 0.1)) {
        //-----randomizzatore scelta tracce-----//
        indice_traccia = int(random(numero_luoghi));
        if (checkbox[indice_traccia] == true && play_suono[indice_traccia] == false) {
            play_suono[indice_traccia] = true;
            tracce_mix_attive++;
            nuova_traccia = suoni[indice_traccia];
            tempo_traccia = nuova_traccia.currentTime;
            durata_traccia = nuova_traccia.duration;
        }
    }
} //fine if PicentiniMix attivo
else {
    tracce_mix_attive = 0;
    tempo_traccia = 1;
    durata_traccia = 0;
}

```

*Figura 2.29 Algoritmo di gestione della funzione PicentiniMix*

### 2.5.5 Creazione di una community collaborativa

Monitorare acusticamente un'area geografica vasta come i Monti Picentini richiede un impegno temporale non indifferente ed è molto difficile per una sola persona riuscire a ottenere più di una trentina di registrazioni all'anno, si ritiene quindi fondamentale cercare di favorire lo sviluppo di una comunità di appassionati che possa contribuire al popolamento della sound map. Ad ora qualsiasi utente iscritto a GitHub può aggiungere registrazioni all'archivio sfruttando la gestione interna delle pull-requests del sito, l'iter però è relativamente macchinoso e richiede una certa dimestichezza con l'ambiente Git. Si sta attualmente sviluppando un algoritmo di upload dei campioni che sia facilmente accessibile all'interno della sezione grafica della mappa: con un click sulle coordinate dove si desidera aggiungere un suono viene aperta una finestra che permette di caricare il file con le sue informazioni in formato testuale. L'utente può decidere di rimanere anonimo o indicare il proprio nome, che poi comparirà nelle informazioni della registrazione sotto la voce *autore*. L'idea è quella di mantenere la community attiva anche grazie a una sezione del sito dedicata allo scambio di suoni, foto, video, sentieri ed esperienze naturalistiche fatte nei Monti Picentini. In questa area blog sarà presente una guida per i neofiti del field recording e vari tutorials per costruire microfoni: un'opzione che si sta tenendo in considerazione è di regalare ai più interessati un certo numero di set microfonici stereo con piccole ed economiche capsule electrete, dotati di circuito di amplificazione a batteria 9 Volt e già predisposti per il collegamento al cellulare; in parallelo verrà integrata nel progetto un'app che, geolocalizzando il dispositivo, permetterà il caricamento diretto della registrazione sulla

mappa. Questi sono tutti passaggi futuri che si ritengono fondamentali per un buon sviluppo di Monti Picentini Digitali come strumento di divulgazione e sensibilizzazione all'ascolto di paesaggi sonori: si pensa che coinvolgere attivamente il fruitore attraverso una community collaborativa sia il mezzo più diretto per far apprezzare fino in fondo il patrimonio naturalistico che ci circonda e di cui siamo chiamati con crescente impellenza a prenderci cura.

## **2.6 Progetti artistici dal vivo**

Monti Picentini Digitali nasce come entità web ma ha la volontà di esistere anche senza il filtro dello schermo di un computer o di un cellulare, per questo motivo è stata dedicata un'intera sezione del sito a una serie di progetti satellite che portano i suoni contenuti nell'archivio in contesti dal vivo, attraverso performances di live electronics e installazioni multimediali interattive. Gli scopi sono in linea con quelli già dichiarati nei paragrafi precedenti, con l'aggiunta della personale opinione per cui il contatto diretto con le persone resti comunque il mezzo più efficace per diffondere un'idea o dei valori. Non si ritiene personalmente di possedere particolari capacità oratorie e la via comunicativa più naturale che viene da scegliere è quella che passa attraverso il suono, la musica e l'installazione d'arte.

### **2.6.1 La serie di live performances PicentiniMix00**

Lo sviluppo della funzione PicentiniMix per la sound map ha reso evidenti - per l'autore di questo lavoro di tesi - le possibilità generative e musicali di brevi estratti di paesaggi sonori sovrapposti e organizzati nel tempo. Da qui è nata l'idea della serie di liveset *PicentiniMix00*, dove i materiali contenuti nell'archivio sono più o meno elaborati digitalmente per farli convivere con altri suoni di natura esclusivamente elettronica. Il primo della serie, *PicentiniMix01* appunto, è stato proposto il 2 ottobre 2021 al Casino del Principe di Avellino, durante la manifestazione *U[s]* dove sono stati performati 5 livesets personali di musicisti elettronici del Conservatorio Cimarosa, con improvvisazione finale collettiva.

*PicentiniMix01* è un live electronics a carattere improvvisativo della durata media di 15 minuti dove si è scelto di riprodurre un viaggio sonoro non antropocentrico, cioè immaginando che ciò che viene diffuso sia quello che potrebbe essere percepito da un uccello, un insetto o una foglia che discendono dalla vetta di una montagna fino al sottobosco.

L'azione della discesa è forse quella meno apprezzata dalla mente umana: spesso tende a mirare alla vetta come unico obiettivo e centro di interesse, dimenticando che la montagna vive soprattutto grazie all'ecosistema che pulsa alle sue pendici. Il ruolo dell'elettronica è quello di accompagnare nella discesa il protagonista non umano, a volte sottolineando con morbidezza peculiarità sonore del paesaggio, altre interferendo in maniera più o meno distruttiva con le registrazioni concrete. Il significato di questi processi è lasciato volutamente aperto: le immagini non vogliono palesare la narrazione, ma sono il tentativo di riprodurre una percezione al limite tra il naturale e l'artefatto di un ambiente al cui interno ognuno può perdere o trovare ciò che preferisce.

Sul sito sono presenti due video che riprendono l'esecuzione del live in luoghi diversi, con le dovute differenze scaturite dal carattere improvvisativo del set. L'intenzione è quella di aggiungere con una certa costanza sempre nuovi elementi nella serie *PicentiniMix00* per avere possibilità di scegliere tra esecuzioni diverse e variare con frequenza i materiali attinti dall'archivio.

## **2.6.2 Le installazioni multimediali**

Come accade per un concerto dal vivo, si ritiene che l'installazione d'arte possieda un enorme potere comunicativo e per questo motivo si è scelto di sviluppare anche delle opere multimediali fisiche che propongano i suoni presenti in Monti Picentini Digitali. Grazie all'esperienza lavorativa acquisita negli anni in questo campo si è raggiunta una certa dose di consapevolezza rispetto a questa forma espressiva e si ritiene che improntare il design di un'installazione sull'interattività riesca a veicolare meglio il messaggio per cui essa è stata creata, poiché il rapporto che viene a crearsi tra opera e fruitore diventa più intimo e coinvolgente. Quando il pubblico ha la percezione palese che una sua azione può influenzare il comportamento del sistema multimediale con cui si sta interfacciando, pone molta più attenzione ai suoni in cui è immerso e l'idea fondante dell'opera è più facilmente *visibile*.

La prima installazione multimodale interattiva nata dal progetto Monti Picentini Digitali è chiamata *Cinque Finestre* e sfrutta il concetto di *realtà aumentata acustica* per far esperire ai fruitori i paesaggi sonori presenti nell'archivio.

I prossimi due capitoli di questo lavoro di tesi esporranno le scelte tecnologiche e artistiche su cui è fondata *Cinque Finestre*, in particolare il successivo capitolo affronterà l'argomento dal punto di vista di sensoristica, microprocessore, hardware, software e DSP.

# DESIGN E TECNICHE PER LA REALTÀ AUMENTATA ACUSTICA

---

*“Legge di Hofstadter: Per fare una cosa ci vuole sempre più tempo di quanto si pensi,  
anche tenendo conto della Legge di Hofstadter”*

*Douglas Hofstadter —*

L’installazione artistica sfugge piuttosto agilmente al tentativo di definirla in maniera univoca e omnicomprensiva, personalmente si ritiene che la si può descrivere in generale come una forma d’arte che più che esistere in uno *spazio* preesistente ha la capacità di generarlo o - quantomeno - di manipolare la percezione dell’ambiente in cui è allestita. Storicamente le installazioni sono spesso pensate come grandi opere che inglobano un intero luogo, facendolo diventare parte dell’arte stessa; tipicamente sono un insieme di mixed-media, cioè ibridano materiali e linguaggi diversi passando per pittura, scultura, musica, teatro, performances e coinvolgimento più o meno attivo del pubblico. Un aggettivo che spesso segue il termine di installazione è *site-specific*, che determina la sua unica ragione di esistere per un luogo definito e per quello soltanto: ciò accade quando le dimensioni dell’opera sono tali da renderla intrasportabile o - più spesso - se l’idea motrice del lavoro ha radici tanto profonde nel luogo per cui è stata pensata che non avrebbe senso ontologico altrove.

Con il passare del tempo, e parallelamente al progresso tecnologico, il termine mixed-media è stato sempre più spesso affiancato o sostituito da multi-media, la cui prospettiva è sempre quella di ibridazione tra linguaggi e mezzi, ma suggerisce semanticamente una maggiore fusione di stili e tecniche, soprattutto attraverso lo strumento tecnologico. Questo aspetto proietta frequentemente l’installazione in una dimensione interattiva, ovvero ottenendo il compimento dell’opera solo nel momento in cui uno o più fruitori compiono delle azioni su di essa per modificarne determinate caratteristiche sensoriali. La manipolazione percettiva è spesso il cardine di molte opere multimediali, nella misura in cui il pubblico è tanto coinvolto

dall'ambiente che lo circonda da esserne assorbito e in questi termini ricade un'altra peculiarità di questa forma d'arte: l'immersività. Le installazioni immersive giocano con l'arte della sinestesia e vivono in una zona al limite tra l'*illusione* e la *realtà*, inducendo stimolazioni sensoriali sicuramente artefatte, ma che inducono auspicabilmente il fruitore a esperire l'opera in un'ottica di *naturalizza*.

In questo senso è ora fondamentale introdurre il termine multimodale che - a differenza di multimediale - non focalizza la propria attenzione su tecniche e mezzi utilizzati per giungere a un obiettivo artistico quanto piuttosto sui canali comunicativi e sensoriali adottati per veicolare il messaggio. Come esempi esplicativi, il cinema, la televisione e i social networks possono essere considerati strumenti multimodali, perché sfruttano l'immagine, il suono e il testo per comunicare; la radio - di conseguenza - è un media *monomodale* in quanto la componente acustica è tipicamente l'unico mezzo a sua disposizione.

Muovendo dalle osservazioni - sintetiche e strettamente personali - proposte finora, *Cinque Finestre* può essere auspicabilmente definita come *installazione interattiva multimodale* con l'eventuale aggiunta di *immersiva*. Questo capitolo affronterà gli approcci multimediali (strumentali) e multimodali (comunicativi) che si è ritenuto necessari adottare per la progettazione dell'opera.

### **3.1 La realtà aumentata**

La realtà aumentata, abbreviata con l'acronimo inglese AR<sup>54</sup>, è uno strumento di esperienza interattiva di un luogo fisico, dove determinati aspetti percettivi della realtà vengono potenziati o manipolati attraverso il mezzo tecnologico sfruttando modalità sensoriali multiple come vista, udito, tatto e olfatto. Un sistema AR è quindi esplicitamente multimodale e prevede una stretta relazione tra ambiente e fruitore: entrambe le entità sono spesso monitorate digitalmente per acquisire informazioni sulla reciproca influenza, da qui scaturiscono elaborazioni che mirano a far percepire le manipolazioni esperienziali quanto più fuse possibile con il mondo reale. Idealmente la realtà aumentata dovrebbe avere qualità immersive tanto raffinate da collimare senza soluzione di continuità con l'ambiente fisico, una *forma gestaltica* che può affiancarsi o sovrapporsi alle percezioni sensoriali. In questo senso,

---

<sup>54</sup> Augmented Reality

quanto più il sistema tenderà a generare elementi surrogati o completamente artefatti, tanto più ricadrà nella definizione di realtà virtuale<sup>55</sup>, dove il mondo fisico è totalmente sostituito da una simulazione.

I primi sistemi di realtà aumentata sono stati sviluppati all'inizio degli anni Novanta per scopi militari e solo dopo un decennio sono diventati disponibili sul mercato pubblico, principalmente grazie all'industria del videogioco. Ad oggi esistono vari dispositivi con hardware dedicati che integrano nella propria logica di funzionamento la realtà aumentata, sebbene i progressi nella tecnologia smartphone rendano il cellulare la piattaforma attualmente più utilizzata: la presenza on-board di sensori e fotocamere performanti facilita l'acquisizione di dati, la loro manipolazione digitale e la conseguente aggiunta di livelli artificiali alla realtà.

### **3.1.1 La realtà aumentata acustica**

Personalmente si ritiene che la realtà aumentata diventi uno strumento artisticamente efficace quando il design del sistema tende maggiormente al primo termine piuttosto che al secondo, cioè se il *layer* degli elementi aumentati lascia ampio spazio e respiro al mondo reale. Da questa osservazione muove l'opinione che un coinvolgimento sensoriale massiccio - *tracotantemente* multimodale - rischi di far diventare un'installazione fin troppo immersiva, con il possibile svantaggio di isolare troppo il fruitore dal mondo che lo circonda e favorendo principalmente la visione dell'apparato tecnologico utilizzato, a discapito della percezione dell'idea artistica motrice. Aspetto che diventa ancora più rilevante se, come nel caso di *Cinque Finestre*, è previsto che più di una persona interagisca contemporaneamente con l'opera: una massiccia azione multisensoriale sul singolo rischierebbe di isolarlo dalle azioni e dai gesti degli altri fruitori, a loro volta isolati.

Per questa ragione si è scelto di coinvolgere con modalità aumentate principalmente il senso dell'udito e la capacità di propriocizione a esso collegata, cioè la percezione della posizione del proprio corpo nello spazio rispetto a una o più sorgenti sonore. Accade tipicamente l'inverso in una spazializzazione classica, dove l'attenzione è focalizzata sulla localizzazione di eventi provenienti da elementi fisicamente statici (altoparlanti) e i suoni sono composti in funzione di una prescelta prospettiva acustica, cioè sono gli eventi sonori a spostarsi rispetto

---

<sup>55</sup> Spesso indicata con il termine inglese Virtual Reality (VR).



l'ascoltatore e non viceversa. Questa osservazione muove dalle differenze insite nei termini multimedialità e multimodalità e ha implicazioni sia estetiche - approfondite nel prossimo capitolo - che tecnologiche per quanto riguarda le scelte di sensoristica, elaborazione e riproduzione: l'obiettivo di questa seconda parte del lavoro di tesi sarà quello di sviluppare un sistema in grado di *posizionare* una serie di paesaggi sonori virtuali all'interno di un ambiente reale, permettendo la loro percezione attraverso l'esplorazione fisica dello spazio aumentato digitalmente.

Attualmente le cuffie sono gli unici dispositivi grazie ai quali è facilmente ottenibile una prospettiva sonora strettamente personalizzata rispetto a posizione e orientamento del corpo di ogni fruitore; sebbene si ritengano personalmente un oggetto piuttosto disagiata per una installazione d'arte, si è accettato l'incomodo per assecondare quella che si pensa essere una buona strada verso la realtà aumentata *acustica* (AAR<sup>56</sup>).

### 3.1.2 L'ascolto binaurale

L'ascolto binaurale è una tipologia di diffusione sonora stereo sviluppata per ricreare un panorama acustico tridimensionale grazie all'utilizzo di specifici microfoni o algoritmi DSP, tipicamente prevedendo una riproduzione in cuffia o - più raramente - utilizzando altoparlanti e particolari tecniche<sup>57</sup> che eliminano il cross-talk tra i canali.

Dal punto di vista di acquisizione sonora, una registrazione binaurale si definisce tale quando l'apparato microfonico è progettato per assecondare quanto più possibile gli aspetti fisici che permettono all'udito umano di localizzare una sorgente. La localizzazione acustica può essere descritta attraverso 3 coordinate spaziali: angolo rispetto al piano orizzontale delle orecchie (azimuth), angolo rispetto alla verticale della testa (elevazione) e distanza. L'azimuth è percepito grazie alla differenza temporale di arrivo alle orecchie (effetto di precedenza interaurale), relativa differenza in ampiezza sui due *canali* e smorzamento frequenziale causato dal torso, dalla testa e dal padiglione auricolare. L'elevazione è principalmente distinta grazie alle riflessioni sonore che avvengono nell'orecchio esterno, con i conseguenti sfasamenti e filtraggi. La distanza è avvertita tramite la naturale perdita di ampiezza alle alte frequenze cui è soggetto un fronte d'onda dopo un certo spazio percorso e, nel caso di

---

<sup>56</sup> Acoustic Augmented Reality.

<sup>57</sup> <https://en.wikipedia.org/wiki/Ambiophysics>

ambienti chiusi, grazie al rapporto tra suono diretto e suono riverberato. Per simulare tutti questi aspetti, una registrazione binaurale prevede l'uso di due microfoni (omnidirezionali o cardioidi) distanti 17-19 centimetri l'uno dall'altro e con la capsula circondata dalla riproduzione plastica e anatomicamente accurata di un padiglione auricolare; solitamente le orecchie artificiali sono poste su una *dummy-head*<sup>58</sup> che simula i filtraggi della testa e - in alcuni dispositivi più raffinati - questo aspetto è talvolta migliorato con la presenza di un mezzobusto.



Figura 3.1 *Dummy-head* prodotta dalla Neumann, modello KU100.  
(<https://en-de.neumann.com/ku-100>)

Una Head-Related Transfer Function (HRTF) è una funzione matematica che permette di modellare con una buona approssimazione tutte le caratteristiche uditive legate alla localizzazione sonora. Sinteticamente può essere descritta come la trasformata di Fourier della risposta impulsiva (HRIR<sup>59</sup>) ottenuta mettendo in relazione la posizione fisica di una sorgente rispetto alla testa. Una HRTF è utile per descrivere come un generico segnale, parametrizzato rispetto a contenuto frequenziale e posizione nello spazio, venga filtrato dalle diffrazioni del busto e riflessioni di padiglione auricolare e canale uditivo: la funzione di trasferimento può essere applicata a qualsiasi input per ottenere un output che contenga informazioni spettrali di spazialità. Un modello di questo tipo ha il vantaggio di poter essere implementato in algoritmi di simulazione di ascolto spaziale, quindi particolarmente utili per la codifica binaurale

---

<sup>58</sup> Testa fantoccio.

<sup>59</sup> Head-Related Impulse Response

digitale di una sorgente sonora, rendendo qualsiasi suono - anche se non registrato con tecniche specifiche - posizionabile in uno spazio acustico generato digitalmente.

Questa *sintesi* binaurale diventa uno strumento molto utile nello sviluppo di un sistema di realtà aumentata acustica poiché è possibile ricreare virtualmente in cuffia qualsiasi panorama sonoro, le cui caratteristiche tendono esplicitamente ad assecondare un ascolto *naturale* o quantomeno *plausibile*.

### 3.1.3 Plug-Ins IEM e Reaper

Per questo progetto di tesi si è scelta come risorsa software per la spazializzazione binaurale la libreria<sup>60</sup> offerta gratuitamente dall'austriaco *Institute of Electronic Music and Acoustic*<sup>61</sup> (IEM). Il pacchetto è incentrato sulla codifica di qualsiasi sorgente sonora in Ambisonics (fino al settimo ordine) e comprende una vasta gamma di plug-ins; nello specifico verranno utilizzati: *StereoEncoder*, *RoomEncoder*, *DirectionalCompressor*, *SceneRotator* e *BinauralDecoder*. Un segnale ambisonico del settimo ordine è composto da 64 canali audio e per apprezzare al massimo le potenzialità sonore della libreria si è scelto Reaper come DAW di riferimento, considerate le sue capacità di gestione di bus da 64 canali su singola traccia.

Il routing minimo in Reaper prevede la creazione dei bus da 64 canali per ogni traccia, su cui viene applicato lo *StereoEncoder* che spazializza la sorgente sonora (mono o stereo) in qualsiasi posizione desiderata della sfera ambisonica di settimo ordine. Il segnale che viaggia sul bus della traccia può essere manipolato quindi a piacimento con ogni plug-in IEM o generalmente ambisonico, l'ultimo dei quali sarà uno *SceneRotator*: questo permette, una volta posizionate le sorgenti nello spazio, di farle ruotare mantenendo costanti le distanze relative, cioè variando gli angoli di yaw, pitch e roll<sup>62</sup> del panorama rispetto al punto di ascolto centrale. Infine, ogni traccia verrà sommata sul master dove è presente il plug-in *BinauralDecoder*, ultima elaborazione per passare dalla codifica multicanale Ambisonics alla sua decodifica in riduzione stereo binaurale. Con pochi passaggi si può così costruire un efficace spazializzatore, la cui peculiarità è di avere una catena di effetti dai parametri

---

<sup>60</sup> <https://plugins.iem.at/>

<sup>61</sup> <https://iem.kug.ac.at/en/institute-of-electronic-music-and-acoustics.html>

<sup>62</sup> In italiano rispettivamente imbardata, beccheggio e rollio.

facilmente accessibili per la modifica della percezione, in cuffia, della posizione di una sorgente sonora.

Sebbene il sistema sia versatile, non risulta ancora idoneo per applicazioni di realtà aumentata acustica: anche ricreando un paesaggio sonoro molto raffinato e ricco di eventi mobili nello spazio binaurale, c'è il problema che - ad esempio - un suono posizionato sul lato destro del panorama continuerà a rimanere in quel punto anche se l'ascoltatore ruota la testa in quella direzione. Nel caso di una sorgente fisica reale accade che nell'orientare la testa verso di essa, la si percepisca sempre più come frontale; questa affermazione è decisamente lapalissiana, ma vuole porre l'attenzione sulla necessità di dover monitorare costantemente l'inclinazione della testa del fruitore per modificare, coerentemente con il gesto, il panorama digitale diffuso. In questo risulta molto utile associare i parametri dello *SceneRotator* (Yaw - Pitch - Roll) a dati acquisiti in real-time da specifici sensori posti sulle cuffie, il plug-in è così in grado di ruotare sui 3 assi e in proporzione al punto di vista sonoro reale tutto il materiale posizionato sulla sfera ambisonica, prima che sia codificato in binaurale e proposto all'ascoltatore.

### **3.1.4 Position-Dynamic Binaural Synthesis System**

Un *Position-Dynamic Binaural Synthesis System* (PDBSS) è un apparato che integra sensori, algoritmi di motion capture, elaborazione sonora e sintesi binaurale al fine di ottenere una riproduzione in cuffia dove la percezione delle sorgenti acustiche virtuali è sempre coerente con posizione del corpo e orientamento della testa del fruitore<sup>63</sup>. La tecnica opera su più fronti: vengono monitorati i 6 gradi di libertà (DoF<sup>64</sup>) di un ascoltatore libero di muoversi nello spazio (3 di rotazione e 3 di spostamento), un algoritmo calcola angoli di provenienza e percezione di distanza che dovrebbe avere il suono rispetto al ricevente e una catena di DSP li associa a valori di un modello parametrico di spazializzazione binaurale per il rendering audio in tempo reale.

Acquisire i dati su 6 DoF implica l'utilizzo congiunto di un Head-Tracker per la rotazione della testa e di un sistema di mappaggio volumetrico per lo spostamento del fruitore. Per questo lavoro di tesi si è scelto di snellire il tracking della posizione con solo due gradi di

---

<sup>63</sup>Plinge, A. Schlecht, S.; Thiergart, O.; Robotham, T.; Rummukainen, O.; Habets, E. Six-degrees-of-freedom binaural audio reproduction of first-order ambisonics with distance information. In Proceedings of the Audio Engineering Society Conference: 2018 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality, Redmond, WA, USA, 20–22 August 2018.

<sup>64</sup> Degrees of Freedom

libertà, tralasciando quindi il moto verticale tipicamente associato all'asse z in un sistema cartesiano tridimensionale: l'apparato sensoristico è così ridotto a 5 DoF per agevolare lo sviluppo software e processi di elaborazione, sacrificando un parametro che si ritiene personalmente non vitale per la reale plausibilità della scena sonora sintetizzata.

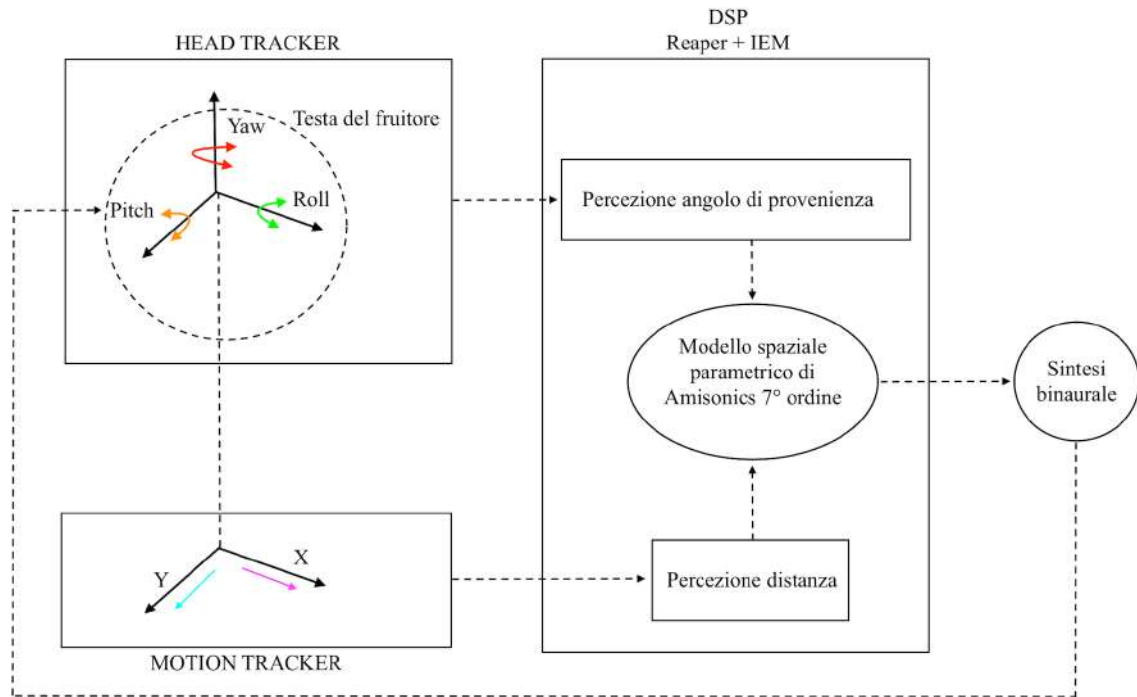


Figura 3.2 Schema esplicativo del personale Position-Dynamic Binaural Synthesis System

### 3.2 Sviluppo di un modulo Head-Tracker

Come si è detto, un Head-Tracker è un dispositivo in grado di monitorare l'inclinazione sui 3 assi della testa e spesso anche il suo spostamento nello spazio (6 DoF). Esistono vari approcci allo sviluppo di questi sistemi, distinguibili in tre macro categorie rispetto all'apparato tecnologico utilizzato: tracking con videocamera, tracking con infrarossi e tracking con sensori inerziali.

L'acquisizione di dati via immagine non necessita di hardware specifici e sfrutta tipicamente la webcam già integrata nei computer o cellulari; tutto il processo elaborativo avviene grazie a software installati all'interno del dispositivo multimediale stesso, con il vantaggio di avere i dati immediatamente a disposizione sulla macchina, ma affaticando la CPU con calcoli piuttosto complessi. Gli svantaggi risiedono nella necessità di un punto di fruizione quasi

totalmente statico e di un'ottima illuminazione ambientale. Esistono vari programmi che offrono questo servizio, tra cui: ViewTracker<sup>65</sup>, FaceTrackNoIR<sup>66</sup>, OpenTrack<sup>67</sup>.

Il tracking a infrarossi sfrutta la combinazione di emettitori a più punti (attivi o riflettenti) posti sulla testa del fruitore e di un ricevitore che ne traccia i movimenti nello spazio, da cui è ricavato un modello di moto a 6 gradi di libertà. Ha sostanzialmente gli stessi pro e contro del mappaggio tramite videocamera, ma non soffre in condizioni di scarsa luminosità ambientale e parte dell'elaborazione digitale è svolta da un hardware dedicato. Di seguito sono riportati alcuni prodotti che utilizzano questa tecnologia: TrackIR<sup>68</sup>, Oculus Quest 2<sup>69</sup>, TrackHat<sup>70</sup>.

Il tracking con sensori inerziali unisce unità di acquisizione di dati a un microprocessore, racchiusi in un dispositivo hardware da applicare sulle cuffie o integrato in esse. Il beneficio principale è che i sensori sono posti nella stessa posizione del sistema meccanico (testa) da monitorare, per cui non c'è alcun condizionamento ambientale esterno, il fruitore è libero di muoversi dove preferisce e il grosso dell'interpretazione dei dati acquisiti è calcolata on-board. Lo svantaggio è che è un dispositivo tipicamente limitato ai 3 gradi di libertà della rotazione della testa, sebbene la sua posizione nello spazio sia ricavabile con ulteriori accorgimenti software e con il potenziamento del pattern di sensori. Esistono sul mercato vari Head-Tracker, tra cui: Waves NX<sup>71</sup>, Quantum 3Axis<sup>72</sup>, X-IO NGIMU<sup>73</sup>.

Per questo progetto di tesi si è deciso di sviluppare autonomamente un modulo di Head-Tracking con sensori inerziali, al fine di assecondare al meglio una serie di personalizzazioni che si ritengono fondamentali per la AAR, ma che non sempre sono presenti in un unico prodotto acquistabile.

---

<sup>65</sup> <https://viewtracker.app/>

<sup>66</sup> <http://facetracknoir.sourceforge.net/home/default.htm>

<sup>67</sup> <https://github.com/opentrack/opentrack>

<sup>68</sup> <https://www.naturalpoint.com/trackir/trackir5/>

<sup>69</sup> <https://www.oculus.com/quest-2/>

<sup>70</sup> <https://www.trackhat.org/>

<sup>71</sup> <https://www.waves.com/hardware/nx-head-tracker>

<sup>72</sup> [https://hobbyking.com/it\\_it/quantum-3-axis-no-drift-head-tracker.html](https://hobbyking.com/it_it/quantum-3-axis-no-drift-head-tracker.html)

<sup>73</sup> <https://x-io.co.uk/ngimu/>

### 3.2.1 Inertial Measurement Unit

L'inerzia meccanica è la proprietà di un corpo che determina la sua resistenza alle variazioni dello stato di moto, quantificata come massa inerziale e descritta in fisica classica dalla prima legge di Newton. Accelerometri e giroscopi sono detti sensori inerziali perché misurano rispettivamente una forza impressa alla massa del sensore (per ricavare l'accelerazione) e la sua velocità angolare (per ricavare la rotazione).

Con Inertial Measurement Unit (IMU) si indica un dispositivo progettato per riportare dati di accelerazione, velocità angolare e orientamento di un corpo nello spazio, usando una combinazione di accelerometri, giroscopi e magnetometri<sup>74</sup>. Una IMU è tipicamente utilizzata nell'industria aeronautica per il monitoraggio dei parametri di yaw, pitch e roll di un veicolo, dedicando a ognuno dei 3 assi principali una tripla dei sensori sopracitati. Storicamente è stata sviluppata a scopo bellico come parte del sistema di navigazione dei missili balistici tedeschi V2; usi più nobili vedono la sua integrazione in tutti i progetti spaziali della NASA *Apollo*, dal 1961 in poi. Dagli anni Sessanta, lo sviluppo di questi dispositivi ha portato a sensori (MEMS<sup>75</sup>) sempre più compatti, performanti ed economici e oggi comunemente integrati - per esempio - in tutti i dispositivi smartphone. Le tecnologie di funzionamento di una IMU miniaturizzata sono basate su principi elettromeccanici molto differenti tra loro, ma nei sensori più comuni:

- un accelerometro sfrutta il paradigma massa-molla, dove un peso microscopico è libero di muoversi in una direzione qualora sia soggetto a una forza, cioè a un'accelerazione. L'oggetto è vincolato a due corpi elastici contrapposti che tendono a riportarlo nel suo stato di quiete; le oscillazioni prodotte da questo accoppiamento meccanico inducono una variazione di distanza tra due pareti metalliche, quindi di capacità elettrica che viene misurata per essere tradotta in valori di accelerazione
- un giroscopio misura la velocità angolare utilizzando l'effetto di Coriolis, dove se una massa che si muove in una certa direzione con una certa velocità è osservata da un sistema di riferimento in moto rotatorio, risulta essere soggetta a una forza inerziale perpendicolare

---

<sup>74</sup> <https://www.xsens.com/motion-capture>

<sup>75</sup> Micro Electro-Mechanical Systems

al suo moto. Anche questa forza viene misurata con una variazione di capacità, poi riportata in gradi/sec.

- un magnetometro misura l'intensità del campo magnetico terrestre sfruttando l'effetto Hall, per cui in un conduttore attraversato da corrente e soggetto a un campo magnetico a esso perpendicolare, è osservabile ai suoi capi una differenza di potenziale elettrico, grandezza monitorabile e interpretabile da un dispositivo elettronico.

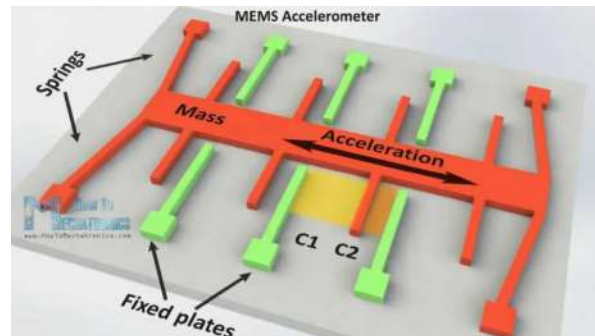


Figura 3.3 Principio di funzionamento di un accelerometro  
(<https://howtomechatronics.com/>)

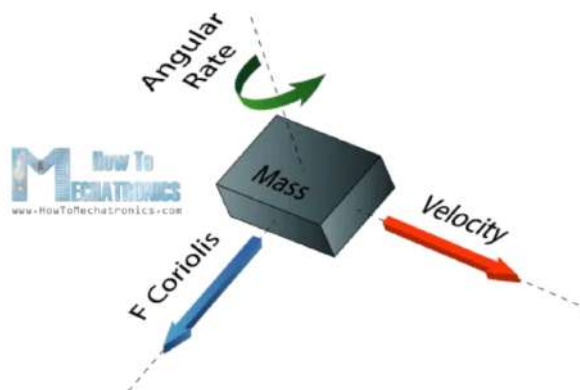


Figura 3.4 Principio di funzionamento di un giroscopio  
(<https://howtomechatronics.com/>)

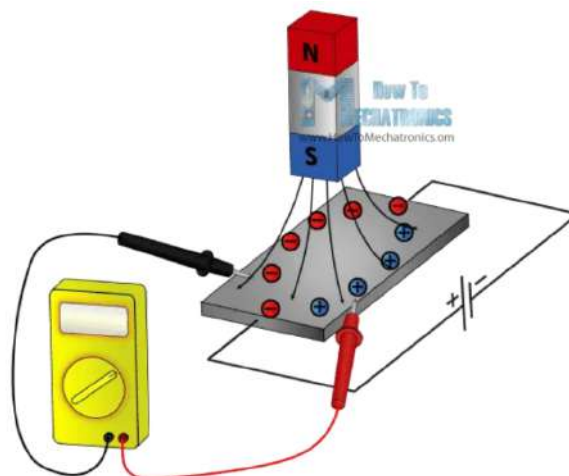


Figura 3.5 Principio di funzionamento di un magnetometro  
(<https://howtomechatronics.com/>)



### 3.2.2 Il sensore MPU-9250

Tra le varie opzioni disponibili sul mercato, la scelta per lo sviluppo di una IMU è ricaduta sul sensore MPU-9250<sup>76</sup> perché integra in una sola board economica moduli di accelerometro, giroscopio (MPU-6500<sup>77</sup>) e magnetometro (AK8963<sup>78</sup>), dedicando questa terna a ognuno dei 3 principali assi di rotazione. Il dispositivo si presta perfettamente per lo sviluppo di un Head-Tracker: attraverso una serie di operazioni software, è possibile trasporre in tempo reale i 9 valori di accelerazione, velocità angolare e intensità magnetica in gradi di inclinazione yaw, pitch e roll. Il chip campiona i valori analogici rilevati con dei convertitori digitali a 16 bit, inviabili in pacchetti da 8 bit attraverso i canali I2C o SPI, ha un clock interno per la sincronizzazione, un sensore di temperatura per la calibrazione, pin di interrupts e un buffer FIFO di 512 byte per la gestione dei dati e dei filtri digitali on-board.

Gyroscope Full Scale Range	Accelerometer Full Scale Range	Magnetometer Full Scale Range
+/- 250 (deg/s)	+/- 2 (g)	+/- 4800 (uT)
+/- 500 (deg/s)	+/- 4 (g)	
+/- 1000 (deg/s)	+/- 8 (g)	
+/- 2000 (deg/s)	+/- 16 (g)	

*Figura 3.6 Range di valori acquisibili dai sensori in funzione della risoluzione  
(<https://invensense.tdk.com/download-pdf/mpu-9250-datasheet/>)*

La peculiarità del MPU-9250 è anche quella di avere integrato un firmware - sviluppato dalla casa madre InvenSense - chiamato Digital Motion Processor<sup>79</sup>, che in questo caso offre: un pre-calcolo sugli angoli di Eulero, 3 tipologie di filtri digitali per i dati, routines di calibrazione per il giroscopio, monitoraggio dell'orientamento e un pedometro.

Questi dati sono agilmente acquisibili grazie alla libreria Arduino *MPU-9250.h*, sviluppata dall'utente GitHub *Hideakitai*<sup>80</sup> a partire dal lavoro di ricerca svolto da Kris Winer<sup>81</sup>, che rende molto meno macchinose le letture dei *registers* e gli accessi alle funzioni built-in.

---

<sup>76</sup> <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/>

<sup>77</sup> <https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/>

<sup>78</sup> <https://dtsheet.com/doc/1236655/akm-ak8963>

<sup>79</sup> <https://invensense.tdk.com/smartmotion/>

<sup>80</sup> <https://github.com/hideakitai/MPU9250>

<sup>81</sup> <https://github.com/kriswiner/MPU9250>

Non verranno spiegati gli algoritmi utilizzati da questa libreria, ma solo elencate le funzioni inerenti all'argomento di questo paragrafo: *getYaw()*, *getPitch()*, *getRoll()*, cioè la tripla di valori in gradi  $[-180^\circ; +180^\circ]$  che riporta l'orientamento della testa del fruitore. Sebbene le funzioni siano ben scritte, è necessaria una certa perizia nella calibrazione del sensore prima che sia utilizzabile, altrimenti le letture dei dati risulterebbero totalmente falsate. È piuttosto semplice misurare gli errori di giroscopio e accelerometro, mentre per tarare il magnetometro bisogna tenere conto dell'influenza di campi generati da altri dispositivi elettronici e soprattutto della declinazione magnetica. Questo è un effetto per cui il Nord magnetico (rilevato dal sensore) non corrisponde al Nord geografico (intersezione tra asse di rotazione e superficie terrestre), cioè definisce l'angolo di scarto che si osserva sul piano orizzontale tra la direzione dell'ago magnetico e la direzione del meridiano del luogo. La declinazione può essere Est o Ovest in funzione delle locali linee di flusso del campo magnetico e, a causa dello spostamento costante del Nord magnetico, varierà annualmente di alcuni decimi di grado. La funzione *setMagneticDeclination()* tara questo scompenso, nel caso in esame si è utilizzato il valore relativo alla città di Napoli, pari a  $3^\circ 54'$  Est<sup>82</sup> (febbraio 2022).

### 3.2.3 Implementazione software e test

Si è scelto di scrivere il software di elaborazione dati dell'Head-Tracker in ambiente Arduino, sfruttando il protocollo I2C per la comunicazione tra sensore e microcontrollore. Una delle funzioni che si è ritenuto fondamentale sviluppare personalmente per questa applicazione è relativa alla compensazione dell'offset generato tra la normale posizione di quiete del sensore e la sua collocazione sulla testa del fruitore: è poco probabile che i valori  $[0, 0, 0]$  degli angoli rimangano tali anche quando il dispositivo è indossato, perché posizione e inclinazione delle cuffie varieranno necessariamente di un minimo, soprattutto nei gradi della direzione dello sguardo sul piano azimutale (yaw). Dopo avere indossato le cuffie, viene lanciata una routine di circa 10 secondi, durante i quali bisogna rimanere quanto più fermi possibile, che calcola gli offset da sottrarre costantemente ai valori acquisiti. In questo modo gli assi di riferimento sono sempre coerenti con la posizione iniziale della testa, aspetto che risulterà fondamentale per il successivo sviluppo del sistema di tracking della posizione.

---

<sup>82</sup> <https://www.magnetic-declination.com/>

```

mpu.setMagneticDeclination(3.54); //declinazione magnetica per Napoli (febbraio 2022)
mpu.setFilterIterations(5); //lunghezza del buffer FIFO del filtro

mpu.setGyroBias(-0.60, +1.34, +0.41); //valori taratura giroscopio
mpu.setMagBias(+133.98, +467.50, -499.34); //valori taratura magnetometro
mpu.setMagScale(+1.00, +1.00, +1.01); // valori di riscaldamento dati magnetometro

```

Figura 3.7 Setting valori tarature e correzione magnetica

```

int i = 0;
const int numero_letture = 20;
const int tempo_lettura_taratura = 500;
float lettura_yaw[numero_letture];
float lettura_pitch[numero_letture];
float lettura_roll[numero_letture];
float somma_letture_yaw = 0.00, somma_letture_pitch = 0.00, somma_letture_roll = 0.00;

while (i < numero_letture) {
    if (mpu.update()) {
        static uint32_t prev_ms = millis();

        if (millis() > prev_ms + tempo_lettura_taratura) {
            lettura_yaw[i] = mpu.getYaw();
            lettura_pitch[i] = mpu.getPitch();
            lettura_roll[i] = mpu.getRoll();

            somma_letture_yaw = somma_letture_yaw + lettura_yaw[i];
            somma_letture_pitch = somma_letture_pitch + lettura_pitch[i];
            somma_letture_roll = somma_letture_roll + lettura_roll[i];

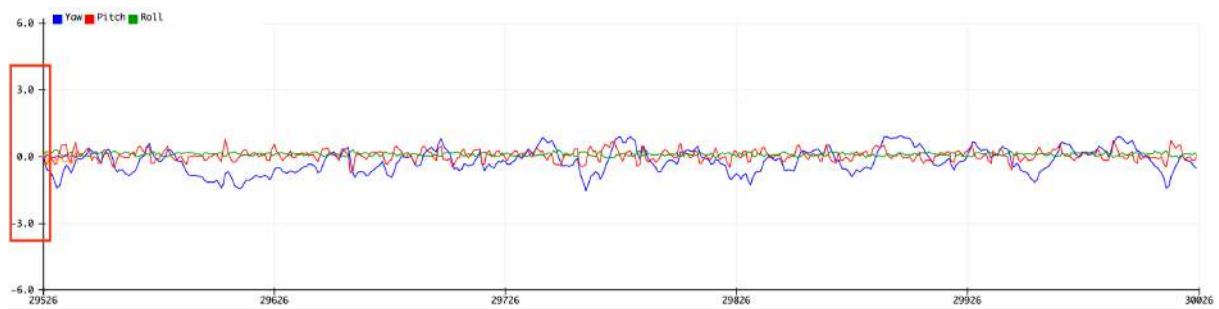
            prev_ms = millis();
            i++;
        } // fine if millis()
    } //fine if mpu.update
} //fine while letture calibrazione

```

Figura 3.8 Algoritmo di calcolo offset della cuffia indossata

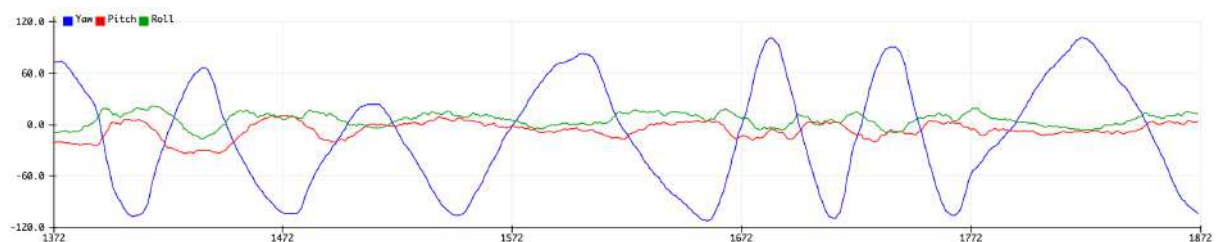
La funzione risultata più efficace con l'aggiunta di un calcolo della media ponderata dei valori acquisiti: il sensore MPU-9250 necessita di un certo tempo di stabilizzazione iniziale per ottenere letture non falsate, si è quindi dato peso temporalmente crescente ai termini dell'espressione. Questa *inerzia numerica* è anche causata dall'utilizzo di un filtro digitale Madgwick<sup>83</sup>, specifico per le quaterne euleriane, la cui finestra di analisi è impostata con *setFilterIterations()*. Si è riscontrato che 5 iterazioni siano il giusto compromesso tra responsività dei dati e rumore presente: in questo caso l'errore generato nelle letture non eccede mai l'intervallo  $[-2.5^\circ; +2.5^\circ]$ ; sebbene migliorabile, si ritiene che un'imprecisione massima di 5 gradi non sia percettivamente significativa in un panorama binaurale.

<sup>83</sup> <https://ahrs.readthedocs.io/en/latest/filters/madgwick.html>



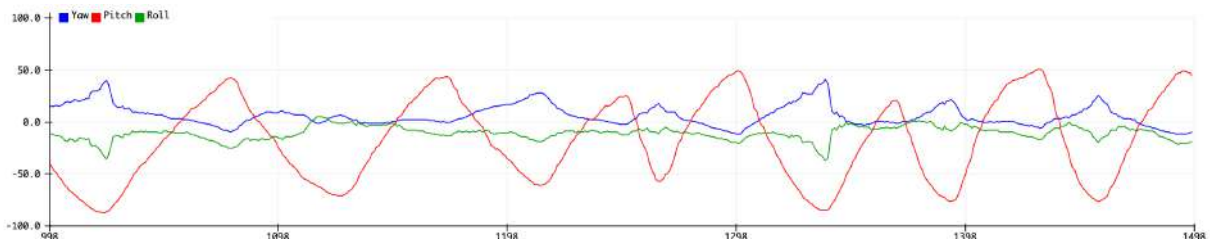
*Figura 3.9 Finestra di letture di yaw, pitch e roll nelle inclinazioni  $[0,0,0]$ . Il sensore è fermo e il rumore non eccede 5 gradi di escursione, visualizzati sull'asse y. L'asse x riporta il tempo in forma di numero di campioni graficati.*

È rilevante notare come i valori del grafico rimangano prossimi allo zero, rumore considerato, nonostante i dati siano relativi a letture riportate dopo circa mezz'ora dalla taratura. Il *drifting* temporale del tracking basato su IMU è spesso uno dei problemi principali da affrontare nel design di questi sistemi: i valori di accelerazione sono costantemente soggetti all'operatore matematico integrale per calcolare velocità e posizione, ogni piccolo errore tenderà quindi a sommarsi nel tempo generando una discrepanza tra informazione letta e inclinazione reale. Un errore nei calcoli sull'accelerometro - per esempio - si accumula linearmente sulla velocità e quadraticamente sulla posizione; in particolare lo yaw (come si nota anche dal plot sopra riportato) è il termine più soggetto a rumore e drift perché ottenuto dalla combinazione dei valori - e degli errori - dell'accelerometro, del giroscopio e del magnetometro<sup>84</sup>. Il grafico dimostra una presenza pressoché nulla di drifting, validando così l'esattezza del processo di taratura e degli offset calcolati. Di seguito sono riportati esempi di movimenti della testa di circa 180 gradi, con plot distinti per le 3 variabili yaw, pitch e roll.

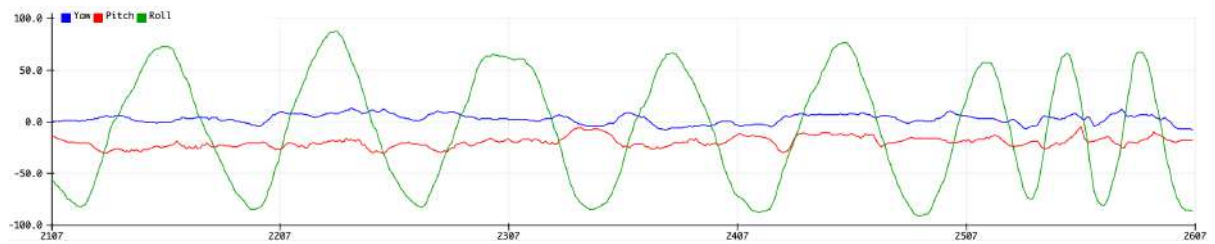


*Figura 3.10 Letture ottenute tentando di muovere la testa solo da sinistra a destra e viceversa (yaw). Il movimento è stato eseguito a varie velocità, con una escursione di circa 200 gradi, tra  $[-100^\circ, +100^\circ]$*

<sup>84</sup> Nel caso del MPU-9250 la presenza di un magnetometro ben tarato garantisce un drift molto basso, avendo come riferimento costante il polo Nord magnetico.



*Figura 3.11 Letture ottenute tentando di muovere la testa solo dal basso verso l'alto e viceversa (pitch). Il movimento è stato eseguito a varie velocità, con un'escursione di circa 140 gradi, tra  $[-90^\circ, +50^\circ]$*



*Figura 3.12 Letture ottenute tentando di muovere la testa verso le spalle (roll). Il movimento è stato eseguito a varie velocità, con un'escursione di circa 160 gradi, tra  $[-80^\circ, +80^\circ]$*

Si ritiene che le prove effettuate confermino che il sistema sia valido per un Head-Tracker sviluppato a scopi di realtà aumentata acustica. In questo modo il fruitore è in grado di esplorare liberamente un soundscape binaurale attraverso l'inclinazione della testa: un suono virtuale posto - per esempio - in basso a sinistra rispetto alla sfera di riferimento, verrà percepito come frontale se si ruota lo sguardo nella sua direzione. Rimane però da implementare un metodo che permetta di percepire anche la distanza relativa tra ascoltatore e sorgente, quindi un mappaggio dello spostamento bidimensionale sul piano  $[x, y]$ .

### 3.3 Tracking della posizione su una superficie

I dispositivi GPS<sup>85</sup> sono comunemente i più utilizzati per il rilevamento di una posizione assoluta nello spazio e nelle applicazioni cellulari consumer garantiscono, con qualche metro di approssimazione, di conoscere le proprie coordinate sulla sfera terrestre. Un approccio di questo tipo - però - è fallace non solo in ambienti al chiuso, ma anche laddove sia necessario un posizionamento con errore massimo nell'ordine dei centimetri. Un Indoor Positioning System (IPS), al contrario, è un network di dispositivi appositamente sviluppati per sopperire alle lacune dei GPS, quindi pensati per un uso interno e con approssimazioni spaziali ridotte. Come per gli Head-Trackers, esiste una vasta gamma di sistemi per lo sviluppo di un IPS, in

<sup>85</sup> Global Positioning System

generale o si utilizza un tracking attivo su un dispositivo che emette informazioni spaziali, o si forniscono dati all'oggetto da tracciare in modo che questo possa ricavare la propria posizione. In entrambi in casi le tecnologie più frequenti sono il Wi-Fi, il Bluetooth e altre onde radio a varia frequenza: viene posta una rete di emettitori/ricevitori statici nell'ambiente, la cui posizione è nota rispetto a un sistema di coordinate prescelto; i dispositivi da tracciare sono a loro volta dei ricevitori/emettitori, tipicamente forniti di ID specifico per non creare ambiguità. Sono quindi applicati algoritmi di trilaterazione (distanze tra oggetto e minimo due punti noti) o triangolazione (angoli tra oggetto e minimo due punti noti) per ricavare le coordinate  $[x, y]$ . Questi metodi sono piuttosto efficaci per il tracking simultaneo di più dispositivi, soprattutto in luoghi con ambienti separati, ma risultano essere decisamente costosi e complessi da installare quando si ha la necessità di un posizionamento preciso.

Una valida alternativa è rappresentata dalla Computer Vision, dove i dati acquisiti da una o più telecamere vengono elaborati da un processore per ricavare coordinate spaziali, tipicamente adattate a una griglia virtuale. La libreria *cvjit*<sup>86</sup> per MAX/MSP, è uno strumento gratuito sviluppato da Jean-Marc Pelletier per il motion tracking da immagine che permette di costruire un software specifico sulle proprie esigenze di mappatura. Sebbene molto versatile, da test eseguiti non si ritiene personalmente agevole per i seguenti motivi: necessita di un buon dispositivo di acquisizione (una normale webcam non ha la risoluzione adeguata), l'inquadratura migliore (tipicamente dall'alto per ambienti ampi) può spesso essere scomoda, i processi di elaborazione richiedono un computer con una scheda grafica performante, soffre in casi di luminosità ambientale scarsa o variabile, il tracking contemporaneo di più fruitori è frequentemente inesatto e genera ambiguità.

Si è deciso quindi di intraprendere uno studio per sviluppare autonomamente un sistema di tracking *polifonico* che sfrutta la combinazione di un network Wi-Fi e del sensore già utilizzato per l'Head-Tracker, scrivendo degli algoritmi di elaborazione dati basati sulla trilaterazione con onde radio e sull'approccio del *dead reckoning* con sistema di navigazione inerziale.

---

<sup>86</sup><https://jmpelletier.com/cvjit/>

### 3.3.1 Dead reckoning

Nella navigazione aerea o marittima il dead reckoning<sup>87</sup> è il processo di stima della posizione futura di un oggetto in movimento rispetto a un'origine nota, utilizzando dati di velocità, direzione e tempo trascorso. Gli animali migratori, principalmente uccelli e pesci, sfruttano istintivamente questa tecnica per tracciare le proprie rotte durante gli spostamenti stagionali tra continenti o mari, come osservato in prima battuta dal naturalista e biologo inglese Charles Darwin<sup>88</sup>. La moderna tecnologia GPS ha reso del tutto obsoleto il dead reckoning, ma rimane comunque un argomento costantemente presente in qualsiasi corso di navigazione, poiché è uno strumento di calcolo che diventa vitale laddove siano presenti malfunzionamenti o guasti negli apparati elettronici.

Per rendere chiari i principi di questa navigazione si ritiene interessante proporre come semplice esempio il caso di una barca a vela che ha la necessità di stimare la propria rotta nell'arco di un'ora, con vento e correnti perfettamente a favore. Il primo passo è identificare la posizione attuale sulla carta nautica valutando, quando possibile, una triangolazione con eventuali punti costieri noti o con gli astri. Fissata questa origine, si controllano orario, direzione con la bussola e velocità, si pongano per l'esempio rispettivamente le 8:00 del mattino, 60° Nord-Est e 5 nodi costanti (poco meno di 10 km/h); quindi si traccia una retta coerente con l'inclinazione dell'ago magnetico e moltiplicando tempo (1 ora) per la velocità (5 nodi) si ottiene che alle 9:00 del mattino la barca avrà percorso 9.26 chilometri. Applicando le funzioni matematiche di seno e coseno è anche possibile ricavare le posizioni rispetto al punto di origine del percorso, nello specifico 8 km Est e 4.63 km Nord, così da poter riportare le coordinate in questo nuovo sistema di riferimento cartesiano che si è creato.

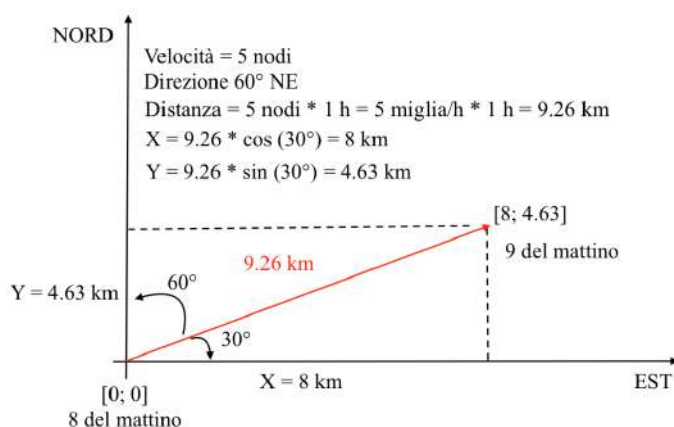


Figura 3.13 Grafico qualitativo dell'esempio di navigazione stimata per la barca a vela

<sup>87</sup> In italiano traducibile con il termine *navigazione stimata*.

<sup>88</sup> Darwin, C., (1874), *Origin of Certain Instincts*.

L'esempio appare probabilmente fuori contesto rispetto a una discussione sul tracking indoor con sensori elettromeccanici miniaturizzati, ma il procedimento appena descritto può essere trasposto in un algoritmo software che ha a disposizione tutti i dati necessari per una navigazione dead reckoning grazie al sensore MPU-9250: questo approccio al posizionamento spaziale prende il nome di Inertial Navigation System (INS).

### **3.3.2 Inertial Navigation System**

Un sistema di navigazione inerziale adotta un processore digitale che esegue calcoli su dati acquisiti in tempo reale da un IMU per valutare, con un certo scarto di errore, un movimento nello spazio, stimando una posizione rispetto a coordinate note in un sistema di riferimento prescelto. Il dispositivo è concettualmente simile a un Head-Tracker nello sfruttare accelerometri, giroscopi e magnetometri, con la differenza che non restituisce una terna di angoli ma una coppia di distanze.

Nello specifico caso di studio, il valore di yaw (direzione sul piano azimutale) già calcolato grazie all'algoritmo del paragrafo precedente, potrebbe rappresentare l'equivalente della bussola nell'esempio della navigazione della barca a vela, mentre la variabile di tempo è facilmente cronometrabile con un microcontrollore; quindi ciò che rimarrebbe da stimare è la velocità, non in nodi ma in metri al secondo, per poter ottenere la distanza percorsa da un fruitore in una stanza. Come si è detto, è possibile integrare i valori letti da un accelerometro (nota la velocità iniziale) per quantificare la velocità inerziale e - in teoria - applicando un altro operatore integrale su questo numero (nota la posizione iniziale) si riuscirebbe a risalire alla posizione attuale. Anche un set di sensori molto precisi e perfettamente tarati soffrirebbe notevolmente del drift temporale introdotto da questa doppia integrazione, errori minimi si accumulerebbero quadraticamente nel tempo sulla posizione, problema di cui soffrono normalmente tutti i sistemi di controllo a loop aperto. Esistono molte soluzioni che migliorano questo aspetto, spesso utilizzando particolari filtri (algoritmo di Kalman) in congiunzione con un GPS per ristabilire la giusta posizione dopo un certo tempo, strada però non percorribile per applicazioni low-budget e indoor, come l'installazione sviluppata per questo lavoro di tesi. Di seguito è riportata la ricerca che si è personalmente portata avanti per ottenere un tracking con accumulazione minima di errore nel tempo e con correzione ciclica tramite utilizzo di emettitori Wi-Fi.



### 3.3.3 Implementazione INS e tracking Wi-Fi

Al fine di ottenere un sistema di mappaggio superficiale robusto basato su IMU è necessario riportare alcune considerazioni: lo spazio allestitivo dell'installazione avrà dimensioni circoscritte e misurabili a priori, la posizione dell'origine del movimento dei fruitori è nota, uguale per tutti e coincide con il punto in cui viene tarato l'Head-Tracker, sono note le coordinate delle sorgenti virtuali e il sensore è montato sulla testa. Quest'ultimo aspetto è particolarmente rilevante perché una IMU posizionata sulle cuffie permette una lettura di dati particolarmente pulita poiché scevra da informazioni non rilevanti legate ai movimenti involontari del corpo<sup>89</sup>. Nello specifico è stato sviluppato un algoritmo che rileva la direzione del moto, il numero di passi effettuati e la loro lunghezza, con il vantaggio (rispetto ai classici pedometri integrati nei cellulari e smartwatch) di ottenere informazioni dal punto più alto del corpo; in questo caso la normale tendenza a tenere la testa dritta funge in un certo senso da *filtro anatomico*, garantendo valori di accelerazione con un buon rapporto di segnale/rumore.

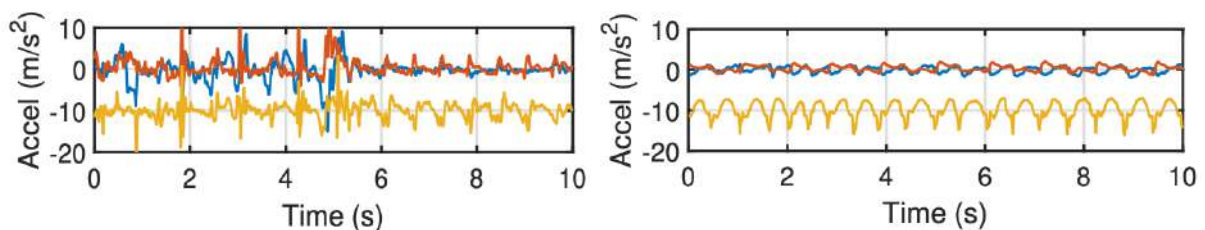


Figura 3.14 Letture dei dati dell'accelerometro se posizionato in tasca (sinistra) e gli stessi dati rilevati con sensore posto sulla testa (destra).  
(In MobiCom 2020, September 21–25, 2020, <https://doi.org/>)

Posto il sensore sulla testa, il problema si riduce alla determinazione di 3 variabili  $n$ ,  $\theta$  e  $l$ :

- $n$  indica il numero di passi ed è il valore più semplice da ricavare perché durante l'atto del camminare sono prodotti dei moti sussultori ciclici verso l'alto e il basso, immediatamente rilevabili da un accelerometro. Il moto, come si nota dalla linea ocra del grafico precedente, non è tanto dissimile da una semionda sinusoidale, dove ogni picco del segnale identifica il singolo passo. Definita una finestra temporale di analisi è anche calcolabile la frequenza di passi al minuto

<sup>89</sup> Zhijia Yang, Yu-Lin Wei, Sheng Shen, and Romit Roy Choudhury. 2020. Ear-AR: Indoor Acoustic Augmented Reality on Earphones. In MobiCom 2020, September 21–25, 2020, London, United Kingdom. ACM, New York, NY, USA, 14 pages. <https://doi.org/10.1145/3372224.3419213>

- $\theta$  indica la direzione del moto in gradi, su questo parametro è attuata la prima semplificazione che rende il sistema leggermente impreciso, ma più implementabile. Si pone che la direzione del moto sia perfettamente coerente con la direzione azimutale dello sguardo, quindi con il parametro di yaw già calcolato nell'algoritmo dell'Head-Tracker. Tale aspetto è eventualmente migliorabile in futuro introducendo calcoli più elaborati sul magnetometro per ottenere a tutti gli effetti una bussola adattata a un riferimento di assi cartesiani
- $l$  indica la lunghezza del passo, è un valore da calcolare necessariamente con una doppia integrazione sui valori di accelerazione, da cui si ricavano le velocità e quindi gli spostamenti del passo rispetto ai 2 assi  $[x, y]$ . Questo è il termine che introduce la maggiore componente di errore e quindi di drifting temporale.

Il risultato ottenuto è preciso - come prevedibile - entro un lasso temporale relativamente breve: l'algoritmo necessita di ulteriori migliorie e studi più approfonditi per ridurre al minimo gli errori accumulati nel tempo; in questa fase non verrà discusso ulteriormente, ma è di seguito proposto l'approccio che si è ritenuto interessante adottare al fine di migliorare il calcolo della posizione del fruitore.

Ritornando all'esempio della barca a vela, si ponga che la rotta stimata risulti sicuramente errata dopo un'ora di navigazione perché, rispetto a quanto si fosse previsto sulla carta nautica, ci si trova più vicini a un punto noto della costa: una baia, una punta, una scogliera dalla conformazione particolare, un porto o un faro. Quando ciò accade è semplice *calibrare* la propria posizione valutando la distanza o gli angoli tra sé e il marker visivo, si ha così una nuova coppia di coordinate scevra da errore da cui è possibile ricalcolare con più sicurezza la propria rotta.

Si è scelto quindi di adottare - *digitalmente* - esattamente lo stesso principio e al fine di potenziare il sistema di navigazione inerziale sono stati creati 3 *fari* Wi-Fi, da porre in coordinate prestabilite all'interno dello spazio installativo. Ogni faro è rappresentato da una scheda ESP8266<sup>90</sup>, programmata per generare un *soft Access Point*<sup>91</sup> le cui specifiche identificative e posizioni sono note a ogni modulo INS.

---

<sup>90</sup> <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266>

<sup>91</sup> approfondito nel paragrafo successivo

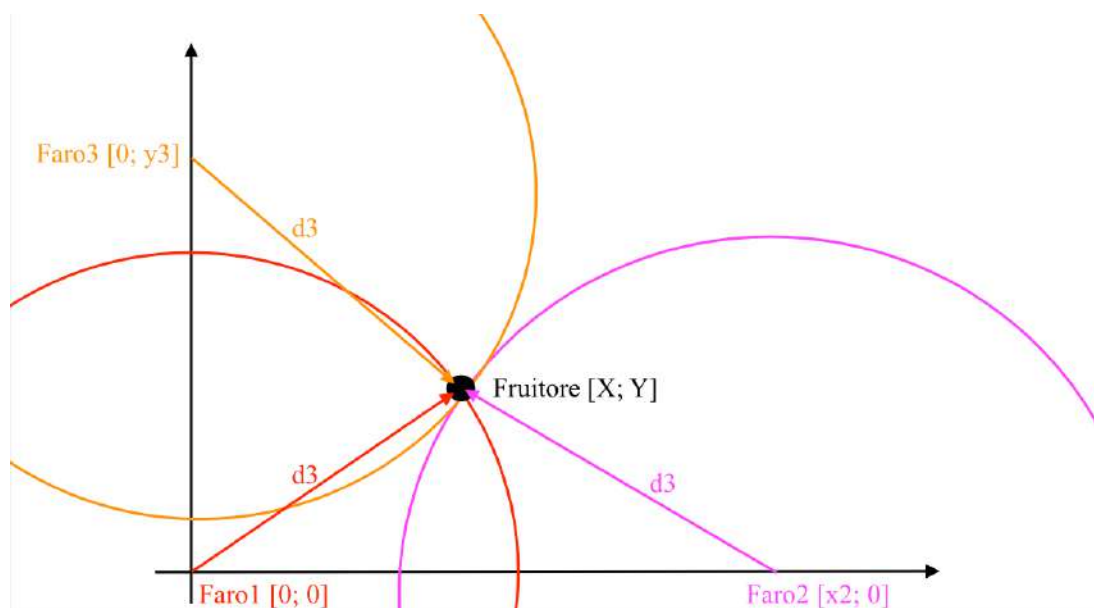
Il faro, esattamente come il suo corrispettivo marittimo, emette un segnale Wi-Fi visibile dal sistema di tracking (ricevitore) che ne valuterà l'intensità grazie al rilevamento del valore RSSI<sup>92</sup>, espresso in dBmW<sup>93</sup>. È dunque calcolabile la distanza in metri tra singolo faro e fruitore grazie alla seguente espressione:

$$distanzaFaro = 10 ^ {((TxPower - RSSI) / (10 * n))}$$

Dove:

- *TxPower* indica l'intensità del segnale rilevata a 1 metro di distanza
- *RSSI* è il valore dell'intensità dell'emettitore letto in tempo reale dal ricevitore
- *n* è una costante di riscaldamento che tiene conto nella propagazione del segnale nello spazio; nel caso in analisi si è posto pari a 2, prevedendo la pressoché totale assenza di ostacoli tra ricevitore ed emettitore (i fari sono posti a 2 metri di altezza)

Note le 3 distanze tra fari e ricevitore è possibile sfruttare un algoritmo di trilaterazione per ricavare, con una buona approssimazione, le coordinate X e Y necessarie alla taratura real-time del sistema di navigazione inerziale. Di seguito è proposto il grafico qualitativo della tecnica che si è adottata:



<sup>92</sup> Received Signal Strength Indicator

<sup>93</sup> Decibel milliWatt, è l'unità di livello utilizzata in telecomunicazioni per indicare la potenza del segnale prodotto da un emettitore radio

La trilaterazione garantisce l'ottenimento delle coordinate di un punto su un piano resolvendo il seguente sistema di equazioni<sup>94</sup>:

$$(X - x_1)^2 + (Y - y_1)^2 = d_1^2$$

$$(X - x_2)^2 + (Y - y_2)^2 = d_2^2$$

$$(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 = d_3^2$$

Dove:

- $X$  e  $Y$  sono le coordinate della posizione incognita del fruitore
- $x_1, x_2$  e  $x_3$  sono le coordinate sull'ascissa dei 3 fari
- $y_1, y_2$  e  $y_3$  sono le coordinate sull'ordinata dei 3 fari
- $d_1, d_2$  e  $d_3$  sono le distanze calcolate a partire dal valore RSSI rilevato

Come si evince dall'immagine precedente, si è scelto volontariamente di porre i 3 fari nell'origine del sistema cartesiano e sugli assi, così da semplificare le equazioni come segue:

$$X^2 + Y^2 = d_1^2$$

$$(X - x_2)^2 + Y^2 = d_2^2$$

$$(X - x_3)^2 + (Y - y_3)^2 = d_3^2$$

Si noti che il sistema è in 3 equazioni per 2 incognite ( $X$  e  $Y$ ), nella pratica tecnica l'equazione *ridondante* viene sfruttata per determinare il punto reale di intersezione tra le 3 circonferenze di raggio  $d$  e per identificare alcuni casi particolari di trilaterazione<sup>95</sup>. L'utilizzo di solo due equazioni, sebbene matematicamente sufficiente, comporta l'identificazione di due possibili punti di intersezione, ottenibili sviluppando le equazioni del sistema precedente:

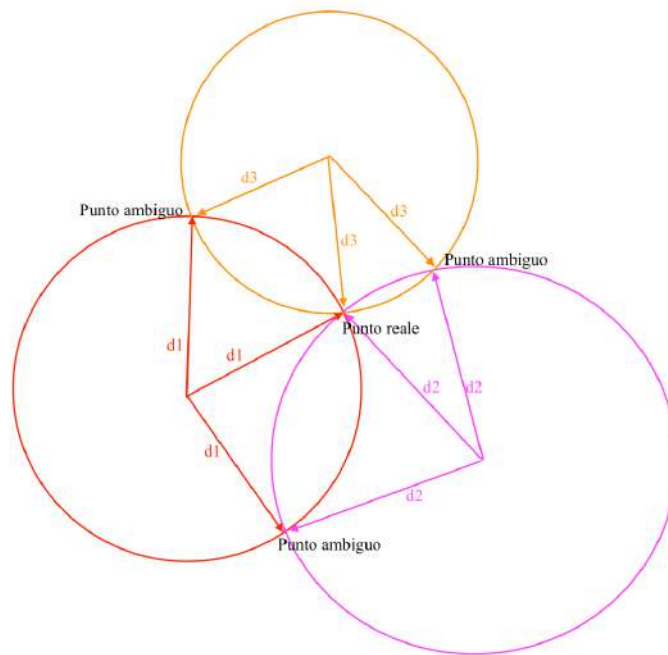
$$X = (d_1^2 - d_2^2 + x_2^2) / (2 * x_2)$$

$$Y = \pm \sqrt{d_1^2 - X^2}$$

---

<sup>94</sup> Ricavabile se si analizza il problema sia da un punto di vista delle equazioni di circonferenze con intersezioni comuni che semplicemente applicando il teorema di Pitagora ai 3 triangoli rettangoli formati dalle coordinate

<sup>95</sup> Ad esempio nel caso in cui una delle due coordinate incognite giaccia su uno degli assi cartesiani ( $X$  o  $Y = 0$ )



Queste ultime due equazioni sono implementate a coppia nel software per il calcolo univoco delle coordinate X e Y, quindi fornite al sistema di navigazione inerziale per tarare se stesso, garantendo un buon tracking della posizione del fruitore sulla superficie.

### 3.4 Scambio dati wireless

Gli studi fin qui proposti definiscono un sistema di elaborazione digitale abbastanza efficiente e auspicabilmente consono allo sviluppo di installazioni multimodali in realtà aumentata acustica. L'ultima implementazione tecnologica che rimane da riportare in questo capitolo è relativa allo scambio di informazioni wireless: la presenza di cavi tra cuffia sensorizzata e postazione fissa del computer renderebbe l'esperienza dell'opera piuttosto scomoda, ostacolando il libero movimento nello spazio di allestimento. Si è quindi scelto di porre su ogni paio di cuffie un microcontrollore della nota famiglia ESP32<sup>96</sup>, basato sulla piattaforma IoT<sup>97</sup> NodeMCU<sup>98</sup>. Offre on-board non solo moduli di Wi-Fi (2.4 GHz - 802.11 b/g/n) e Bluetooth (v4.2), ma anche: CPU dual-core 32 bit (160/240MHz), 320 KiB<sup>99</sup> di RAM, 448

<sup>96</sup> <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>

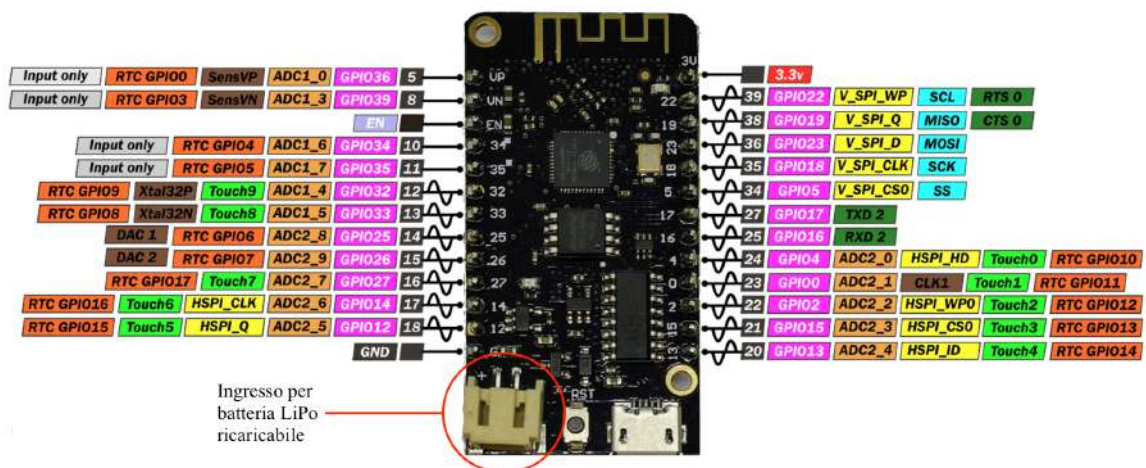
<sup>97</sup> Internet of Things

<sup>98</sup> [http://www.nodemcu.com/index\\_en.html](http://www.nodemcu.com/index_en.html)

<sup>99</sup> Kilo Binary Byte

KiB di ROM, 18 canali ADC da 12 bit, 2 canali DAC 8 bit, 2 interfacce I2S, 2 interfacce I2C e un'altra lunga lista di pin con funzioni diverse.

Nello specifico, tutti gli algoritmi dei paragrafi precedenti sviluppati con IDE Arduino verranno racchiusi in un unico codice e implementati sulla scheda ESP32 Lolin32 Lite<sup>100</sup>, preferita tra le tante disponibili perché può lavorare con batterie ricaricabili LiPo<sup>101</sup> da 3.7 Volt e corrente di carica massima 0.5 Ampere; in questo modo è eliminato dal sistema il primo ingombro rappresentato dal cavo di alimentazione per microcontrollore e sensore.



Il Wi-Fi (Wireless Fidelity) è uno standard di comunicazione senza fili per reti locali (WLAN<sup>102</sup>) che garantisce un'interconnessione a onde radio tra più dispositivi distanti al massimo 20 metri e permette l'accesso a Internet qualora sia presente un varco predisposto.

Il modulo Wi-Fi presente sugli ESP32 e la libreria Arduino *WiFi.h* facilitano la creazione di una rete locale per lo scambio dati tra più elementi, secondo le seguenti modalità:

- *WiFi.mode(WIFI\_STA)*, imposta l'ESP32 come *Station* (STA) che ricerca un *Access Point* (AP) a cui connettersi, diventa cioè un nodo periferico per una linea di rete centrale (tipicamente un router). Gli viene quindi assegnato un indirizzo identificativo (IP<sup>103</sup>) per renderlo univocamente riconoscibile tra tutti gli altri nodi connessi, così che possa avvenire lo scambio di informazioni tra Access Point e Station, o viceversa. Se il nodo centrale ha

<sup>100</sup> [https://docs.platformio.org/en/stable/boards/espressif32/lolin32\\_lite.html](https://docs.platformio.org/en/stable/boards/espressif32/lolin32_lite.html)

<sup>101</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore\\_litio-polimero](https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-polimero)

<sup>102</sup> Wireless Local Area Network

<sup>103</sup> Internet Protocol

un accesso Internet, l'ESP32 è in grado di connettersi al web e può - per esempio - acquisire o inviare dati in tempo reale a pagine online, tipicamente tramite API<sup>104</sup> e JavaScript.

- `WiFi.mode(WIFI_AP)`, imposta l'ESP32 come Access Point, cioè come nodo centrale della rete a cui possono connettersi più Stations. Il modulo genera una rete Wi-Fi visibile a tutti i dispositivi (WIFI\_STA) nelle vicinanze, è quindi possibile collegare wireless - per esempio - più ESP32 a questo unico punto. Tecnicamente in questo caso si parla di *soft* Access Point (sAP), perché non c'è possibilità di accedere a Internet.
- `WiFi.mode(WIFI_AP_STA)`, imposta l'ESP32 sia come Access Point che come Station. La modalità risulta molto utile se si progetta una rete in cui è necessario che i nodi periferici comunichino direttamente tra loro, evitando che sia sempre il centrale a fare da intermediario.

### 3.4.1 Creazione di un network locale

Per la connessione dati wireless tra cuffie e postazione computer si è scelto di utilizzare il protocollo di comunicazione ESP-NOW<sup>105</sup>, sviluppato appositamente per le board ESP32 dalla casa madre Espressif. Sono adottati esattamente gli stessi principi di Station e soft Access Point spiegati nella sezione precedente, ma non utilizzando il protocollo ufficiale Wi-Fi si hanno i seguenti vantaggi:

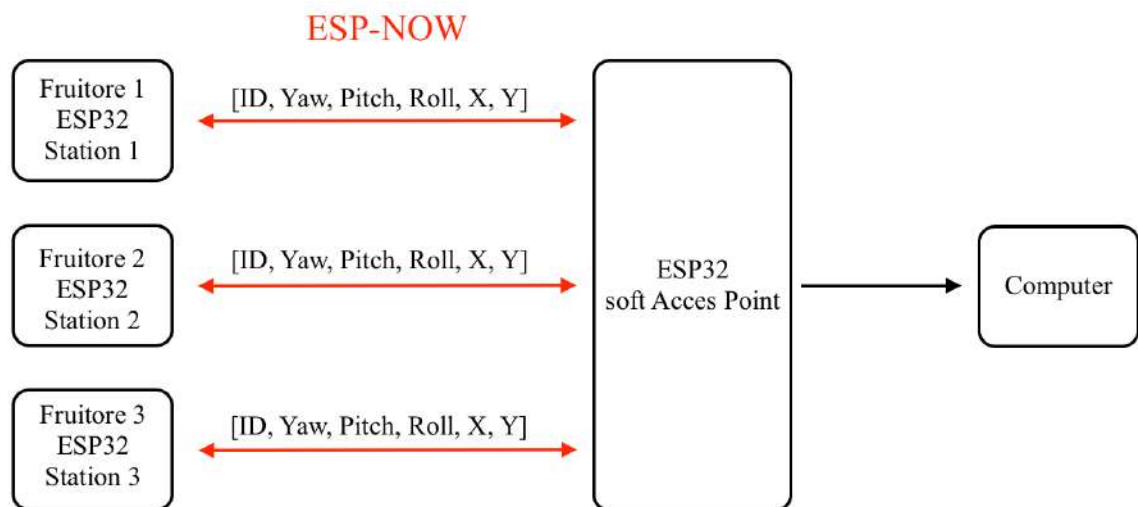
- la trasmissione di dati, fino a un limite massimo di 250 Byte per pacchetto, risulta essere molto più veloce. Questo garantisce che ci sia la minore latenza possibile tra rotazione della testa e conseguente modifica del panorama binaurale sintetizzato
- la comunicazione è bilaterale, cioè le Stations e il soft Access Point possono ricevere e inviare dati indipendentemente dalla loro natura
- la rete è di tipo *peer-to-peer*, i nodi non sono gerarchicamente organizzati in strutture di server e client, ma sono equivalenti o paritari (peer). Si hanno vantaggi nella scalabilità della rete (aggiungere o eliminare agilmente elementi) e qualora uno dei nodi dovesse avere problemi non rallenta il generale funzionamento del network (collo di bottiglia)

---

<sup>104</sup> Application Programming Interface

<sup>105</sup> <https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview>

- il *pairing* tra dispositivi è fatto a priori conoscendo lo specifico indirizzo MAC<sup>106</sup> degli ESP32, non c'è necessità di scambio di informazioni comunicative preventive (*handshaking*); questo snellisce notevolmente il processo di scambio dati e se uno dei nodi dovesse *crashare* per qualche motivo, la sua riconnessione alla rete sarebbe immediata
- il protocollo Wi-Fi rimane inutilizzato ed è quindi sfruttabile per altre funzioni, come lo streaming audio o la trilaterazione del fruitore per correggere gli errori accumulati dal sistema di navigazione inerziale.



Il primo passaggio è quindi individuare l'indirizzo MAC dell'ESP32 preposto allo scambio dati con il computer, questo è un codice identificativo univoco per ogni scheda di rete wireless e si ottiene interrogando direttamente la board grazie alla funzione `WiFi.macAddress()`.

```

#include "WiFi.h"

void setup(){
  Serial.begin(115200);
  WiFi.mode(WIFI_MODE_STA);
  Serial.println(WiFi.macAddress());
}

void loop(){
}
  
```

```

rst:0x1 (POWERON_RESET),boot:0x13 (SPI_FAST_FLASH_BOOT)
config: 0, SPIWP:0xee
clk_drv:0x00,q_drv:0x00,d_drv:0x00,cs0_drv:0x00,hd_drv:0x00,wp_
mode:DIO, clock div:1
load:0x3fff0018,len:4
load:0x3fff001c,len:1216
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40078000,len:9720
ho 0 tail 12 room 4
load:0x40080400,len:6352
entry 0x400806b8
30:AE:A4:07:0D:64
  
```

Tutti i dispositivi posti sulle cuffie sapranno così il numero identificativo del ricevente e degli altri emettitori, ciò garantisce il corretto smistamento dei valori da associare al panorama

<sup>106</sup> Media Access Control



binaurale dedicato allo specifico fruitore. Al fine di semplificare l'algoritmo di scambio dati si è scelto di attribuire personalmente un ID numerico crescente agli ESP32 deputati all'invio, dichiarato come costante nei singoli codici. Si è quindi definita una propria struttura *struct* per il pacchetto di informazioni da inviare che contiene: ID del sender, valori di yaw, pitch, roll, coordinata x e coordinata y.

```
// Indirizzo MAC del ricevente principale
// {0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF};
uint8_t broadcastAddress[] = {0x30, 0xAE, 0xA4, 0x15, 0xC7, 0xFC};

// Struttura dei dati da inviare
// Coincide con la struttura nota anche per il ricevente
typedef struct struttura_messaggio {

    byte id; //id unico per ogni board sender
    float Yaw;
    float Pitch;
    float Yoll;
    int X; //coordinata x in centimetri rispetto all'origine
    int Y; //coordinata y in centimetri rispetto all'origine

} struttura_messaggio;

// Creo una struttura_messaggio chiamata datiMISMO
struttura_messaggio datiMISMO;

// Creo interfaccia peer
esp_now_peer_info_t peerInfo;
```

La stessa struttura è codificata all'interno del software del ricevitore, così che possa facilmente interpretare le letture e attribuirle agli esatti parametri grazie al numero identificativo univoco. È quindi dichiarato un array *boardsStruct[]* di dimensioni pari al numero di emettitori, che verrà riempito nella giusta posizione con i valori inviati dalla scheda specifica, utilizzando la seguente funzione:

```
// funzione di callback da eseguire alla ricezione di un messaggio
void OnDataRecv(const uint8_t * mac_addr, const uint8_t *incomingData, int len) {

    // copio blocco di dati letti da incoming Data in &myData, di lunghezza sizeof(myData)
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));

    boardsStruct[myData.id].Yaw = myData.Yaw;
    boardsStruct[myData.id].Pitch = myData.Pitch;
    boardsStruct[myData.id].Roll = myData.Roll;
    boardsStruct[myData.id].X = myData.X;
    boardsStruct[myData.id].Y = myData.Y;

}
```

Per quanto primitivo il metodo risulta essere alquanto efficace e soprattutto scevro da latenze acusticamente percettibili; in questo modo tutte le informazioni provenienti dai sensori posti sulle cuffie confluiscono senza fili in un unico dispositivo adiacente al computer. Nel prossimo capitolo verrà discusso il protocollo utilizzato per convertire tutti i dati raccolti in valori interpretabili da qualsiasi DAW, ma ottimizzati in particolare per Reaper.

### **3.4.2 Audio wireless multicanale**

Lo scambio audio senza fili è un argomento piuttosto delicato, soprattutto se si vogliono utilizzare formati non compressi, poiché la mole di dati da distribuire sul network è di entità non trascurabile ed è spesso laborioso mediare tra la latenza del segnale e la sua qualità. Dal punto di vista tecnologico questo aspetto diventa ancor più rilevante quando, come nel caso in analisi, c'è necessità di uno streaming audio verso più dispositivi e su canali indipendenti: il multicanale wireless è ad oggi un campo di studio ancora aperto e i sistemi più performanti hanno costi giustamente elevati.

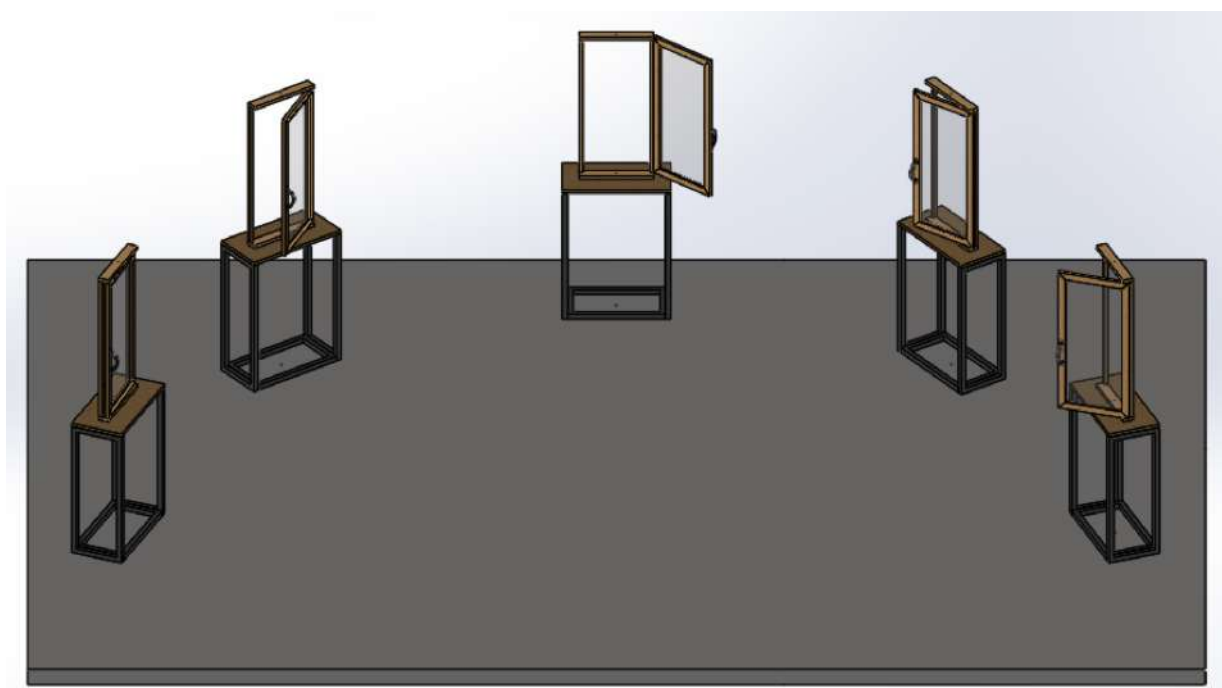
Di seguito sono riportate le possibilità che si sono ritenute valutabili:

- utilizzare ricevitori ed emettitori radio commerciali, da associare rispettivamente alle cuffie e a canali separati provenienti dalla scheda audio collegata al computer. I dispositivi acquistabili sul mercato prevedono di sostenere una spesa non indifferente, ma molti service audio offrono la possibilità di affittarli
- sfruttare il modulo Bluetooth già integrato nell'ESP32 aggiungendo alla scheda un DAC stereo I2S per le cuffie. I vantaggi sarebbero di avere un modulo che offre on-board un'uscita audio e una bassissima latenza nello streaming delle informazioni, sebbene queste vengano compresse con algoritmi decisamente *lossy*, perdendo qualità del segnale. Il protocollo Bluetooth ha anche il problema di non essere ufficialmente progettato per avere più di due canali indipendenti
- sfruttare il modulo Wi-Fi già integrato nell'ESP32. I pro e i contro sarebbero gli stessi del Bluetooth, ma con una qualità audio non compressa a discapito di una latenza decisamente più rilevante (nell'ordine delle centinaia di millisecondi).

Allo stadio attuale del lavoro si è preferito virare su un'alternativa commercialmente già disponibile e testata, quindi utilizzando dei ricevitori ed emettitori radio stereo con streaming audio in alta qualità. Sviluppi futuri del lavoro prevedono di potenziare il sistema per renderlo completamente autonomo anche dal punto di vista dell'audio multicanale wireless: l'idea è quella di offrire on-board un'uscita stereofonica con audio a bassa latenza e non compresso, su cui collegare il modello di cuffie che si preferisce.

*"Once a Soundmark has been identified, it deserves to be protected, for soundmarks  
make the acoustic life of a community unique"*

*Raymond Murray Schafer —*



*Cinque Finestre* è un'installazione sonora multimodale interattiva che grazie al field recording e alla realtà aumentata acustica mira a ristabilire una posizione di ascolto del soundscape più intima e meditativa. Rappresenta una delle varie controparti fisiche del progetto web Monti Picentini Digitali, di cui si fa *portavoce* utilizzando esclusivamente materiale proveniente dalla sua sound map on-line.

L'opera è composta da cinque finestre sorrette da piedistalli e disposte a semicerchio. Ogni finestra è dotata di sensori per rilevarne il grado di apertura: più la finestra è aperta e più lascerà passare un determinato paesaggio sonoro composto a partire dai materiali

dell'archivio. Come si è spiegato nel capitolo precedente, le composizioni saranno codificate in binaurale e fruite dai visitatori tramite cuffie, ognuna delle quali dotata di microprocessore e sensori che permettono di inviare al computer informazioni di posizione e inclinazione sui 3 assi della testa, così da modificare in tempo reale la percezione del paesaggio. Se un suono, per esempio, proviene dall'alto a sinistra nel paesaggio binaurale e il fruitore ruota la testa in quella direzione, il software processerà i dati e lo farà avvertire come frontale; questo accade per tutte le sorgenti provenienti da ogni finestra aperta e su canali stereo separati per ogni fruitore. Quindi se due persone si guardano stando l'una di fronte all'altra sentiranno gli stessi soundscapes, ma ruotati di 180 gradi, cioè con i canali sinistri e destri invertiti.

*Cinque Finestre* prevede un'interazione molto intuitiva tra fruitore e opera: il semplice atto di aprire una finestra e sporgersi. La mole di dati processati dal personale sistema di *Position-Dynamic Binaural Synthesis* permette una percezione auspicabilmente naturale dei cinque paesaggi sonori, specificatamente composti per una fruizione in realtà aumentata acustica. L'opera può essere esperita contemporaneamente da più visitatori che sceglieranno così collettivamente il soundscape finale da ascoltare, missando i vari suoni attraverso una maggiore o minore apertura delle finestre.

Al fine di rendere il progetto Monti Picentini Digitali presente in forme che non siano solo sonore, si è ritenuto interessante produrre dei QR Code da porre in uno spazio adiacente alle cinque finestre. L'opera definitiva consta quindi di altri oggetti fisici che se inquadrati con uno smartphone, forniscono un link diretto alle sezioni principali<sup>107</sup> del sito: Vette, Acqua, Flora, Fauna, Uomo e Sound Map interattiva. In questo modo i fruitori interessati possono leggere informazioni sulle tante peculiarità dei Monti Picentini e visionare i *frammenti digitali* prodotti: come si è detto, la divulgazione naturalistica è una delle motrici principali del progetto nella sua totalità e di *Cinque Finestre* nello specifico.

#### 4.1 Monti Picentini Digitali e QR Code

Un QR<sup>108</sup> Code è un codice a barre bidimensionale quadrato impiegato per memorizzare graficamente informazioni destinate a essere lette tramite smartphone<sup>109</sup>. Nel caso specifico

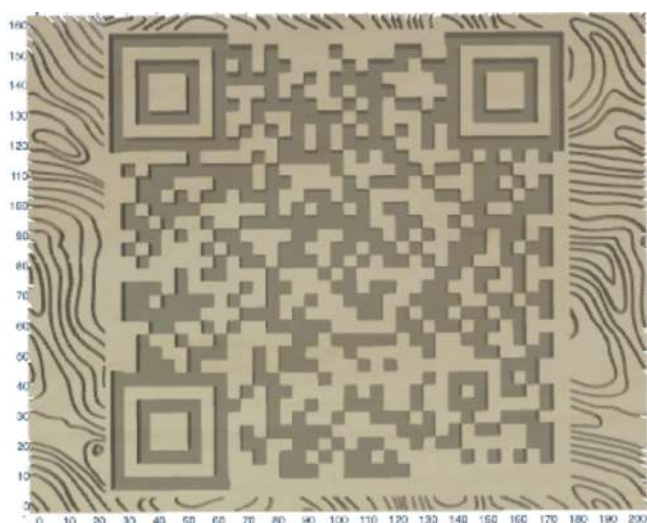
---

<sup>107</sup> Descritte nel secondo capitolo di questo lavoro di tesi

<sup>108</sup> Acronimo di Quick Response

<sup>109</sup> <https://www.qrcode.com/en/faq.html#patentH2Title>

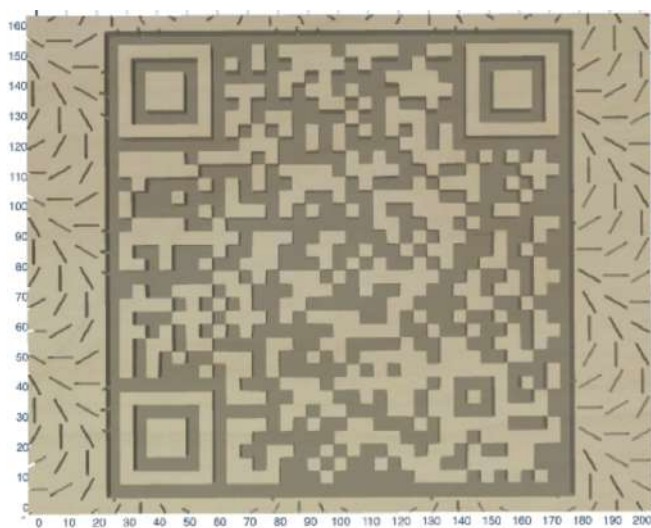
sono stati generati sei QR Code statici<sup>110</sup> che codificano al proprio interno i link di accesso alle varie sezioni del sito Monti Picentini Digitali. Si è scelto di produrli fisicamente sperimentando con tecnica di incisione tramite fresatrice a controllo numerico (CNC Router 3018): ogni link sarà quindi presente su delle tavolette di legno (200 x 160 x 10 mm) contornate da textures xilografate che rimandano semioticamente al contenuto della pagina. Di seguito sono riportate le immagini - già scansionabili con smartphone - dei progetti CNC sviluppati grazie al software *Easel*<sup>111</sup>:



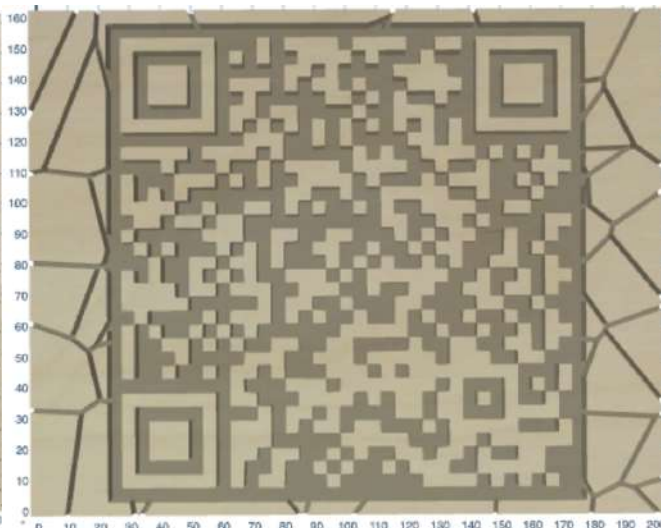
*Figura 4.1 QR Code per la sezione Vette*



*Figura 4.2 QR Code per la sezione Acqua*



*Figura 4.3 QR Code per la sezione Flora*



*Figura 4.4 QR Code per la sezione Fauna*

<sup>110</sup> <https://www.the-qrcode-generator.com/it/>

<sup>111</sup> <https://www.inventables.com/technologies/easel>

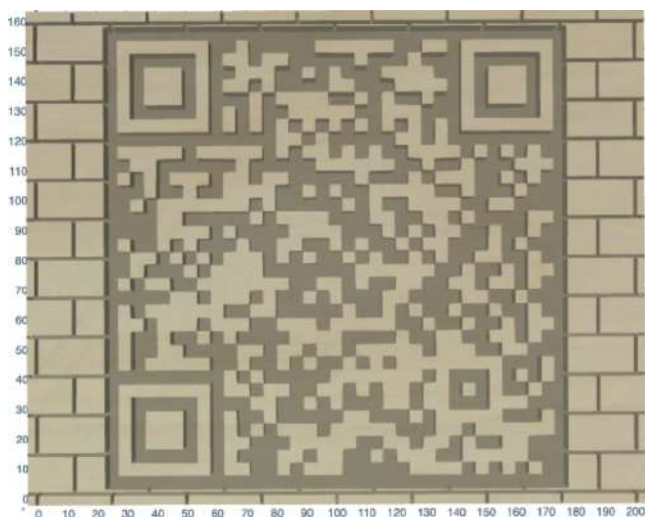


Figura 4.5 QR Code per la sezione Uomo

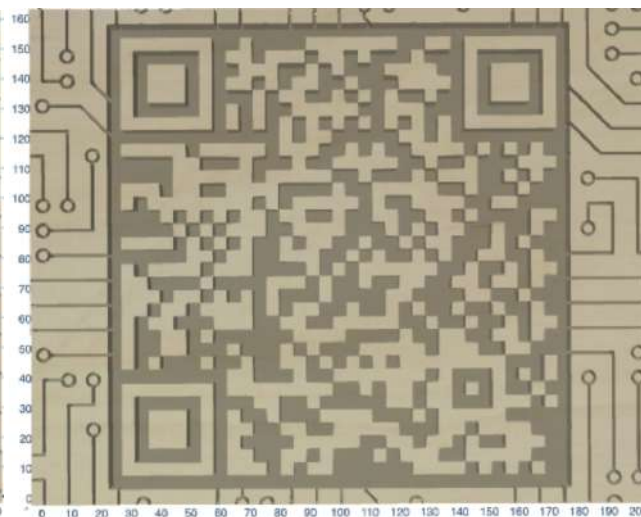


Figura 4.6 QR Code per la Sound Map

## 4.2 Composizione di paesaggi sonori per il *Position-Dynamic Binaural Synthesis System*

Nel primo capitolo di questo lavoro di tesi sono stati descritti i principali approcci estetici alla composizione di soundscapes, che come si è detto possono avere matrice concreta, ibrida o astratta. Si è scelto di produrre i cinque brani associati a ogni finestra muovendo dalle considerazioni fatte rispetto al paesaggio sonoro musicale concreto: i materiali utilizzati provengono esclusivamente da field recordings leggermente editati e organizzati nel tempo per ottenere un'*immagine* naturalistica verosimile. Si è posta particolare attenzione non solo alle categorie musicali di tonica, segnale e impronta sonora, ma anche a quelle della soundscape ecology relative alle sorgenti acustiche di geofonie, biofonie e antroponie. In più, ogni composizione rispetta idealmente i dettami proposti da Truax nella sua definizione di comunicazione acustica, il singolo suono acquisisce valore semantico e comunicativo attraverso il suo posizionamento nel contesto (temporale e ontologico) in cui è stato realmente acquisito: uno specifico paesaggio conterrà solo suoni registrati nella stessa stagione (anche se in anni differenti) e provenienti dalla stessa tipologia geografica, così da mantenere coerenza implicita tra i materiali. Una delle cinque finestre, per esempio, si *aprirà* su un lago in primavera, ciò implica che le registrazioni saranno tutte datate nel periodo marzo-giugno (per mantenere biofonie equivalenti) e originarie di luoghi con specchi d'acqua statici più o meno estesi (nel rispetto delle geofonie). Sebbene possa apparire a primo impatto limitante, è un vincolo che risulta molto efficace sotto più punti di vista:

- ogni finestra riesce a *narrare* una sola delle peculiarità degli ambienti sonori dei Monti Picentini
- non c'è ambiguità nei materiali ascoltati e sono più distinguibili le qualità di tonica, segnale e impronta sonora, che siano esse geofonie, biofonie o antropofonie
- geofonie, biofonie e antropofonie sono gestite in modo da essere ripartite separatamente tra le cinque finestre
- più finestre aperte contemporaneamente non fanno virare l'installazione verso un ambiente Lo-Fi, le sorgenti di natura diversa rimangono timbricamente e spazialmente separate, quindi riconoscibili.

I brani hanno durata variabile compresa tra i 5 e i 6 minuti e verranno messi in loop all'attivazione dell'installazione, così che anche con una finestra chiusa si riesca a intuire il paesaggio sonoro celato *dietro* di essa e per far sì che la percezione generale sia di un soundscape *infinito*. È interessante sottolineare come l'approccio compositivo viri leggermente dalla sua accezione classica quando si produce nell'ottica della riproduzione ciclica: non solo inizio e fine devono innestarsi senza soluzione di continuità, ma la conduzione strutturale non può essere pensata per una fruizione lineare che preveda un ascolto con punti di *partenza* e di *arrivo*. Si è notato che anche l'utilizzo del sistema di Head-Tracker binaurale rappresenta un fattore rilevante di cambio di metodo, poiché - sebbene esclusivamente attraverso il suono - il lavoro sulla composizione diventa quasi analogo a quello di uno scenografo: la sfera di settimo ordine ambisonico viene *allestita* in più posizioni (variando angoli e distanze) con suoni diversi e mobili nel tempo; gli eventi però non si spostano rispetto a un punto di ascolto prestabilito, è il fruitore stesso a scegliere autonomamente la prospettiva acustica che preferisce, indagandola fisicamente con il proprio orientamento. Tali fattori hanno fatto emergere la necessità non trascurabile di dover comporre i brani appositamente per il *Position-Dynamic Binaural Synthesis System*, motivo per cui tutto il lavoro *scenografico* sulla spazializzazione è stato svolto indossando personalmente le cuffie sensorizzate.

Di seguito sono riportati i *titoli* e le descrizioni qualitative delle singole finestre, pensate in modo che ognuna di esse si apra su un paesaggio musicalmente caratteristico con toniche e segnali differenti.



#### 4.2.1 Una finestra sulla vetta

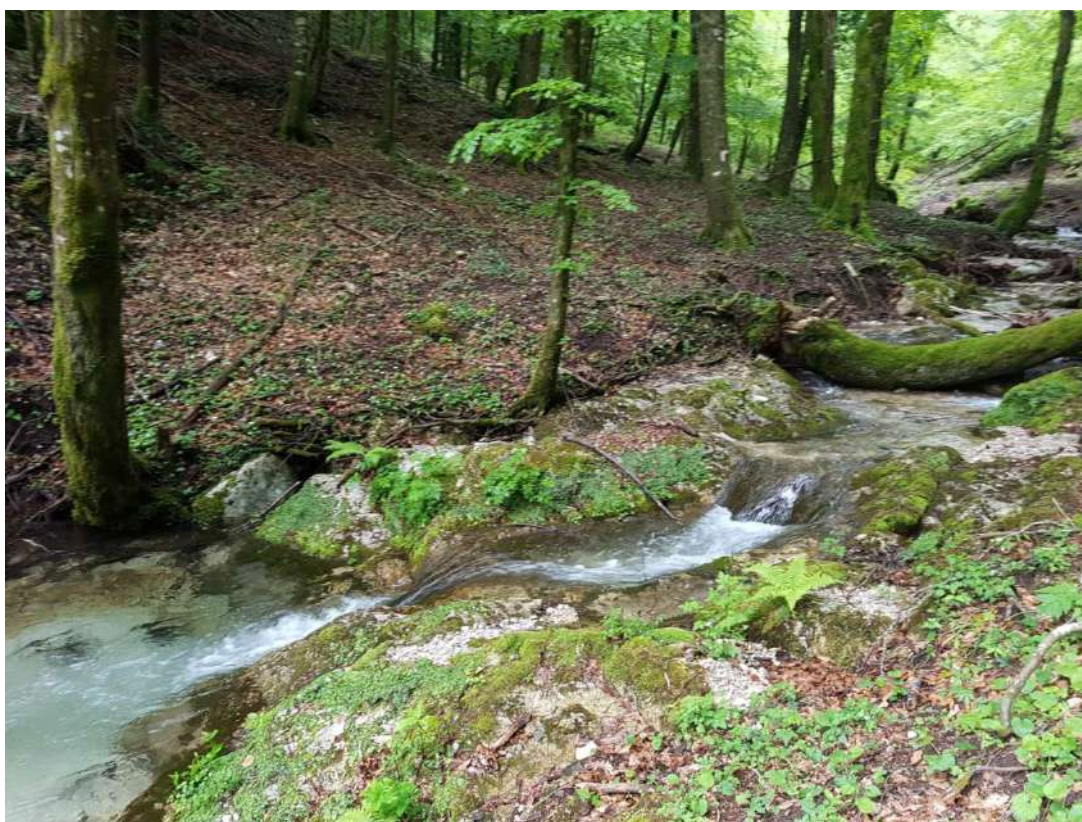
La finestra è collocata in un paesaggio composto dall'editing di registrazioni effettuate in estate sulle principali vette dei Picentini: Monte Mai, Pizzo San Michele, Monte Terminio, Monte Cervialto e Monte Accellica. Considerati i luoghi di acquisizione, la tonica è la somma delle geofonie del vento e delle biofonie di grilli e altri piccoli insetti, mentre i livelli di antroponie sono minimi eventi distanti e sullo sfondo, relativi alle attività meccanizzate della vita rurale. Le geofonie eoliche prendono spesso il sopravvento diventando segnali nettamente in primo piano, resi rapidamente mobili nella sfera ambisonica; questi si alternano nel gioco di emersione dalla tonica con eventi sonori legati alla vita entomologica, come il frinire dei grilli e il veloce passaggi di altri insetti in volo. Altre biofonie meno frequenti sono poste in alto e sullo sfondo, principalmente appartenenti a rapaci a caccia di piccoli roditori nascosti tra le rocce. Questo paesaggio è stato composto per restituire un'immagine estiva delle vette irpine, sferzate da venti poderosi che si acquietano improvvisamente; frequentemente brulle, bruciate dal sole e in apparenza prive di animali, ma in realtà brulicanti di vite minuscole e acusticamente molto attive.



*Figura 4.8 Vette Sud e Nord del Monte Accellica*

#### 4.2.2 Una finestra nel bosco

Questa finestra si apre su un paesaggio sonoro estivo tipico dei sottoboschi montani, con field recordings acquisiti tra le colline in quota del Laceno, le pendici dell'Accellica e le valli ricche di ruscelli del Terminio. La tonica è caratterizzata dalle geofonie prodotte dal fruscio delle fronde dei faggi e il lento scorrere di corsi d'acqua, mentre i segnali principali sono biofonie provenienti dai vocalizzi di molteplici specie di uccelli; anche in questo caso la presenza di antropofonie è pressoché nulla e relegata a rari eventi distanti sullo sfondo. Nello specifico, posto il punto di ascolto guardando perpendicolarmente la finestra, si è circondati da un ambiente decisamente più mite rispetto al precedente, seppur con una densità acustica leggermente maggiore: sulla sinistra si intuisce un ruscello che scorre placido, una mandria di mucche bruca in una conca distante, si è circondati da suoni di foglie mossi dalla brezza e si distinguono attività più o meno intense prodotte dal volo e dai versi dell'aviofauna. Tale ambiente è stato così composto e ricostruito nel panorama binaurale per rendere un'immagine tipica dei boschi dei Monti Picentini, dove la calura estiva stempera - anche acusticamente - la frenesia caratteristica della stagione primaverile.



*Figura 4.9 Bosco del versante Sud-Est del Terminio*



### 4.2.3 Una finestra sul lago

La finestra si apre su un ideale paesaggio lacustre ottenuto combinando registrazioni effettuate in primavera presso l'invaso artificiale di Conza e il Lago Laceno. Questa è la composizione che più *tradisce* volontariamente le intenzioni di ricostruzione acustica verosimile, poiché i due luoghi hanno caratteristiche sonore abbastanza distanti, soprattutto sul piano delle antrofonie. Il primo lago è relativamente vicino a un insediamento urbano, con piccole fabbriche di vario tipo e costeggiato da una strada statale a scorrimento veloce; l'altopiano del Laceno è invece meno antropomorfizzato, ma entrambe le zone condividono fortunatamente una preziosa ricchezza di biofonie<sup>112</sup>. Si è quindi scelto di sperimentare nell'ibridazione dei due soundscapes, alternando nel tempo le toniche dei due luoghi: antrofonie distanti di macchinari pesanti e passaggi di tir lasciano lentamente il posto a un ambiente più arioso e naturale, con uccelli e campanacci di mucche al pascolo; i segnali provengono principalmente da biofonie di anfibi in piena attività di corteggiamento primaverile, piccoli uccelli che cinguettano, guizzi di pesci e rapaci a caccia.

L'idea è quella di restituire un panorama coerente con la realtà della vita nei Monti Picentini, dove Uomo e Natura si trovano a stretto contatto, spesso con esperimenti di convivenza più o meno ben riusciti.



*Figura 4.10 Veduta primaverile del versante Est del Lago di Conza*

<sup>112</sup> L'invaso artificiale di Conza è area naturale protetta, gestita dal WWF dal 1999

#### 4.2.4 Una finestra sul fiume

Questa composizione racconta dell'abbondante patrimonio idrico dei Picentini attraverso field recordings catturati alle sorgenti del Calore e del Sabato, al Raio della Tufara di Montella e nel vallone Matruonolo del Terminio; tutte le registrazioni sono state effettuate sul finire dell'inverno, quando le portate dei fiumi sono al loro massimo splendore grazie alle cospicue precipitazioni stagionali e allo scioglimento dei nevai. La finestra è posta in un ideale crocevia digitale di fiumi, con una tonica prodotta dal deciso scorrere delle acque: sono distinguibili chiaramente una piccola cascata, diversi ruscelli e più segnali provenienti dagli animali che cominciano i preparativi alla primavera. Il livello delle antrofonie è nullo, ma sarebbe stato comunque mascherato dalla vigorosa presenza in primo piano delle geofonie idriche; il paesaggio è l'unico della serie in cui non si è ritenuto necessario comporre artificialmente eventi mobili sulla sfera ambisonica, considerato il suo naturale e costante fluire si è scelto solo di posizionare le sorgenti in punti statici. Il brano è stato composto per sintetizzare in pochi minuti la ricchezza dei principali fiumi dei Monti Picentini, un sistema di vene pulsanti grazie al quale flora, fauna e uomini riescono a vivere con piacevole opulenza.



*Figura 4.11 Vallone Matruonolo con piccole cascate e salamandra*

#### 4.2.5 Una finestra della baita

Questo brano è costituito principalmente da un'unica take eseguita dalla finestra di una baita montana, dove ci si era rifugiati dopo essere stati sorpresi da un temporale autunnale sul sentiero che da Serino porta alle abbandonate miniere di ittiolo di Giffoni Valle Piana. La tonica è rappresentata dagli eventi tipici di un nubifragio di inizio ottobre, con rovesci abbondanti e tuoni iterati; i segnali principali sono gocce che cadono su superfici metalliche e di altro materiale, poi spazializzati in diversi punti sulla sfera ambisonica. Il soundscape è quindi costituito in larga parte da geofonie, con una presenza di antropofonie leggermente intuibili prodotte sia dalla presenza degli escursionisti nella baita e che dagli elementi metallici non naturali su cui impatta l'acqua. Si è proposta questa composizione perché rispetto a tutte le altre offre un'immagine meno mite dei Picentini, riproducendo un evento meteorologico di una certa portata che è spesso esperibile in questi ambienti montani.

Di seguito è riportata una tabella che sintetizza le qualità sonore di ogni composizione:

Nome	Soundmark	Stagione	Tonica	Segnali	Livello Geofonie	Livello Biofonie	Livello Antrofonie	Spazialità binaurale
Una finestra sulla vetta	Vento	Estate	Raffiche e insetti	Rapaci e insetti	5/5	3/5	2/5	Molto mobile
Una finestra nel bosco	Uccelli	Estate	Vento tra le fronde	Uccelli, insetti, mucche	2/5	5/5	1/5	Poco Mobile
Una finestra sul lago	Anfibi	Primavera	Uccelli, strada statale	Rane, camion, rapaci	1/5	5/5	4/5	Mobile
Una finestra sul fiume	Acqua	Inverno	Ruscelli	Cascata	5/5	1/5	1/5	Molto Statica
Una finestra della baita	Temporale	Autunno	Pioggia	Tuoni, gocce su materiali	5/5	2/5	2/5	Statica

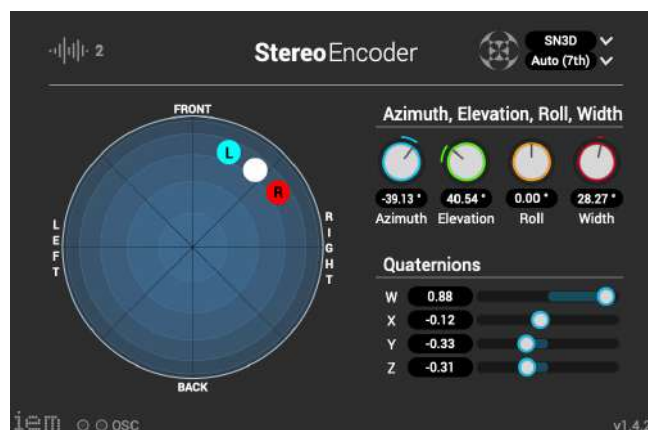
### 4.3 Design di installazioni interattive in Reaper

Le composizioni sono progettate a monte per essere gestite da Reaper attraverso un sistema di sintesi binaurale parametrico, i cui valori di spazializzazione sono variati in real-time dai dati provenienti dalle cuffie. Il materiale non può quindi essere totalmente fissato: viene organizzato strutturalmente nel tempo in modo che ci sia una successione di eventi sonori che abbiano traiettorie o posizioni statiche pre-composte sulla sfera ambisonica, mentre tutto ciò che riguarda la percezione personale dello spazio è mappato rispetto alle letture dei sensori.

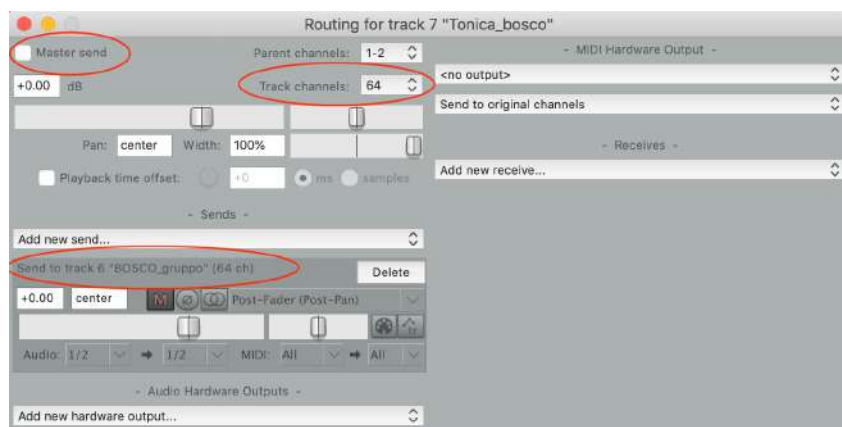
#### 4.3.1 Gestione canali e routing audio

Al fine di variare la prospettiva sonora dei singoli fruitori mantenendo i processi di elaborazione della DAW entro un limite accettabile, si è scelto di organizzare il progetto in Reaper come segue:

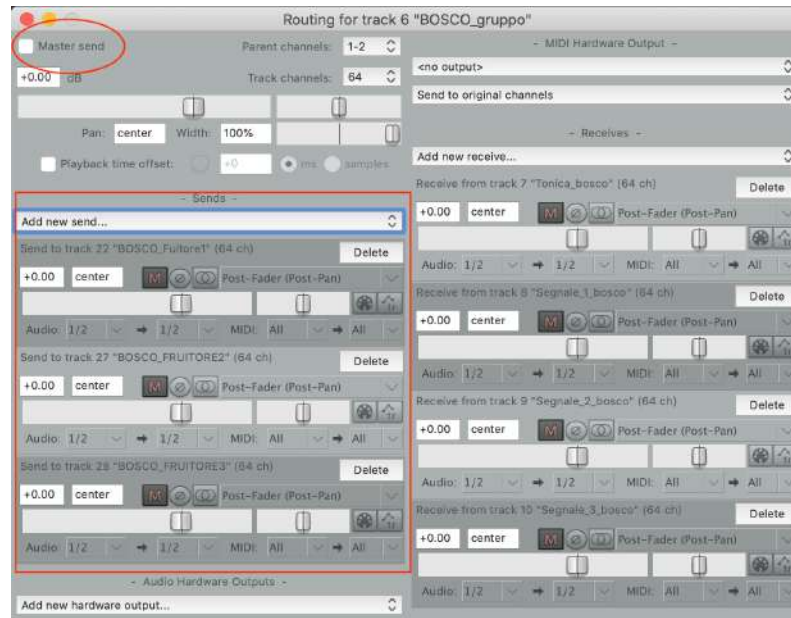
- ogni sorgente audio, mono o stereo, è codificata in Ambisonics e spazializzata singolarmente con il plug-in *Stereo Encoder*.



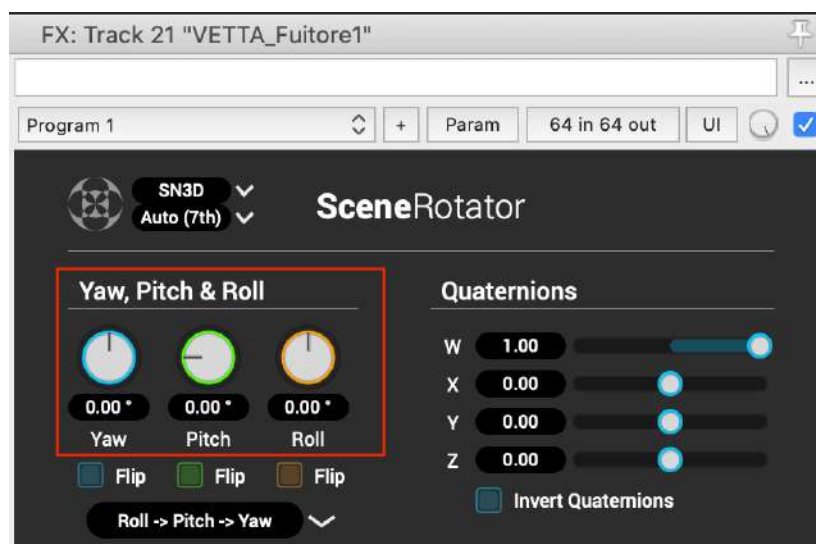
- tutte le sorgenti relative a uno dei 5 soundscape sono inviate esclusivamente come *send* in un canale di gruppo apposito



- su ogni gruppo è stato inserito un equalizzatore multibanda (*MultiEQ*) i cui parametri sono mappati rispetto al valore letto dal sensore deputato a monitorare i gradi della finestra: più è aperta, minore sarà l'effetto di filtraggio, seguendo una logica esponenziale
- ogni gruppo è quindi ulteriormente inviato in parallelo a un numero di tracce send pari al numero di fruitori

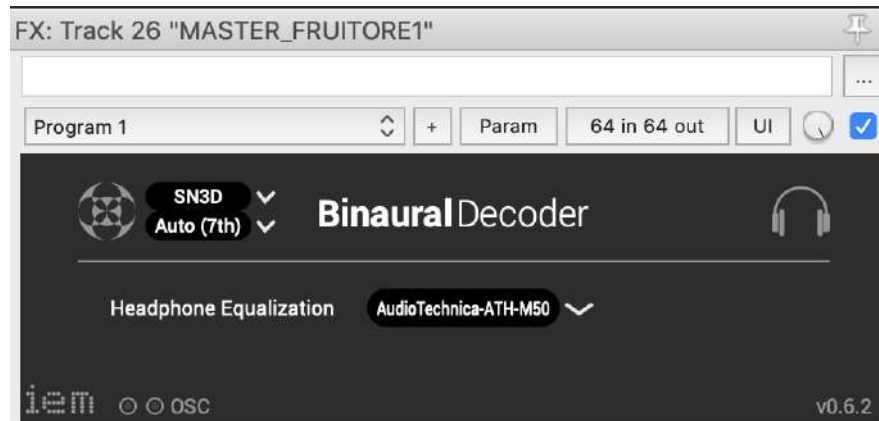


- su ognuna delle tracce send dedicate al fruitore è inserita una catena che comprende i plug-ins *SceneRotator* e *FdnReverb*, al fine di creare una percezione spaziale consona della composizione. Nello specifico i parametri Yaw, Pitch e Roll sono mappati con i dati provenienti dalla rotazione della testa, compensati da riverbero ed equalizzazione per la percezione della distanza

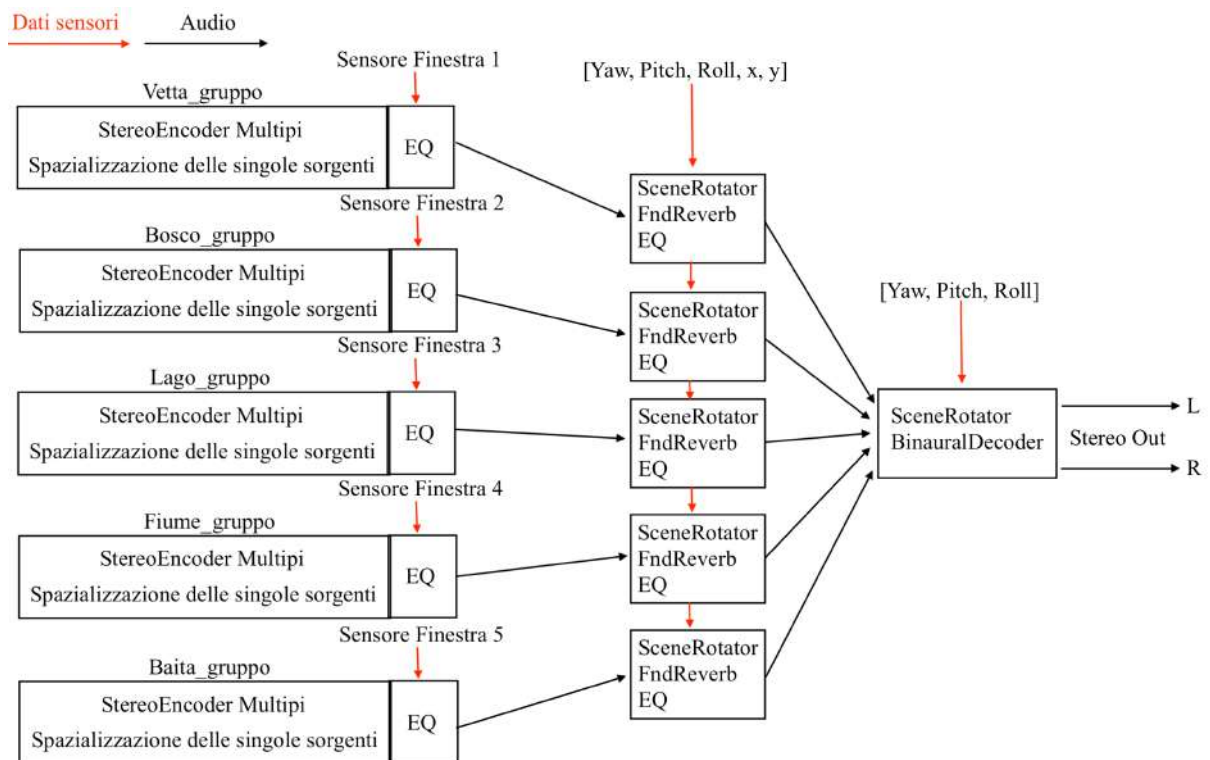




- tutti i gruppi relativi al singolo fruitore sono infine inviati alla traccia deputata alla conversione dell'Ambisonic in binaurale; qui i segnali sono elaborati dallo *SceneRotator master* e infine dal plug-in *BinauralDecoder*, sviluppato sulle HRTFs della dummy-head Neumann KU 100. È inoltre presente un pratico tool di equalizzazione per diversi modelli di cuffie



Di seguito è proposto uno schema a blocchi, valido per il routing di un fruitore, che sintetizza graficamente quanto descritto.





### 4.3.2 Gestione dati dei sensori

Nel capitolo precedente<sup>113</sup> si è illustrato lo sviluppo di un network locale di micro-controllori ESP32 per lo scambio wireless dei dati monitorati dai sensori posti sulle cuffie, creato con lo scopo di avere un ricevitore adiacente al computer dove confluissero tutte le informazioni. Questo nodo finale è anche deputato alla conversione dei numeri ricevuti in valori organizzati secondo i protocolli OSC<sup>114</sup> e MIDI<sup>115</sup>, universalmente riconosciuti da qualsiasi software o hardware audio. Per apprezzarne le differenze, si è scelto di utilizzare parallelamente le due tipologie di segnali di controllo come test personale; in sintesi:

- è stata utilizzata la libreria già integrata nell'IDE Arduino *MIDI.h*, generando CC specifici per ogni parametro da spedire a Reaper con la funzione *MIDI.sendControlChange()*; i dati sono stati quindi inviati tramite cavo MIDI all'ingresso presente sulla scheda audio. Sebbene si sia riscontrata minore latenza rispetto al protocollo OSC, il MIDI ha escursione massima di 128 valori per CC, se riscalati su un valore come lo yaw  $[-180^\circ, +180^\circ]$  si ha limite oggettivo di una risoluzione troppo grossolana (circa 3 gradi per incremento numerico)
- è stata utilizzata la libreria<sup>116</sup> *OSCMessages.h*, inviando i dati tramite Wi-Fi grazie alle funzioni in cascata *OSCMessages.add()*, *Udp.beginPacket()*, *OSCMessages.send()* e *Udp.endPacket()*. Questo protocollo è stato sviluppato appositamente per applicazioni in network wireless e ha il notevole vantaggio di una semplice gestione interna di *addressing* e *pairing* tra dispositivi; rispetto al MIDI è in grado di inviare pacchetti di dati di dimensioni notevoli, anche di tipo *float32*. Si è però riscontrata una latenza maggiore nelle informazioni e un'organizzazione a monte del codice leggermente più macchinosa.

In definitiva si è scelto di mantenere nel codice finale entrambi i protocolli, ma utilizzando attualmente il MIDI per le mappature dei plug-ins in Reaper: si è preferita la praticità e bassa latenza del MIDI alla precisione numerica di OSC. Sviluppi futuri prevedono di migliorare il codice che si è scritto, al fine di ottimizzare lo scambio dati con Open Sound Control.

---

<sup>113</sup> Paragrafo 3.4.1

<sup>114</sup> Open Sound Control: <https://opensoundcontrol.stanford.edu/index.html>

<sup>115</sup> Musical Instrument Digital Interface: <https://midi.org/>

<sup>116</sup> <https://github.com/CNMAT/OSC>

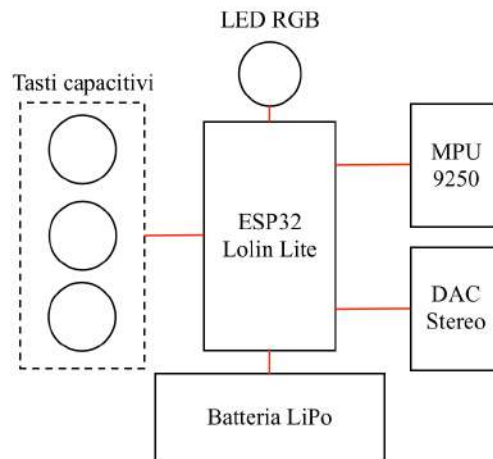
#### 4.4 Il modulo MISMO

MISMO è il nome che si è scelto per il dispositivo personalmente sviluppato da porre sulle cuffie di ogni fruitore di *Cinque Finestre*; il termine è l'acronimo di *Micro Inertial System for Multimodal Operations*, pensato per racchiudere sinteticamente sia il principio di funzionamento tecnologico che le finalità artistiche del modulo. Si ritiene interessante la sua precisa assonanza con la parola spagnola *mismo*, traducibile con il termine italiano *uguale*: il sistema mira infatti a creare un rapporto di tracking *lineare* tra i gesti di chi lo indossa e la conseguente modifica e percezione di un panorama binaurale in realtà aumentata acustica.

Al fine di sintetizzare la progettazione riportata nei capitoli più tecnici di questo lavoro di tesi, è proposta di seguito un lista che racchiude le principali caratteristiche di MISMO:

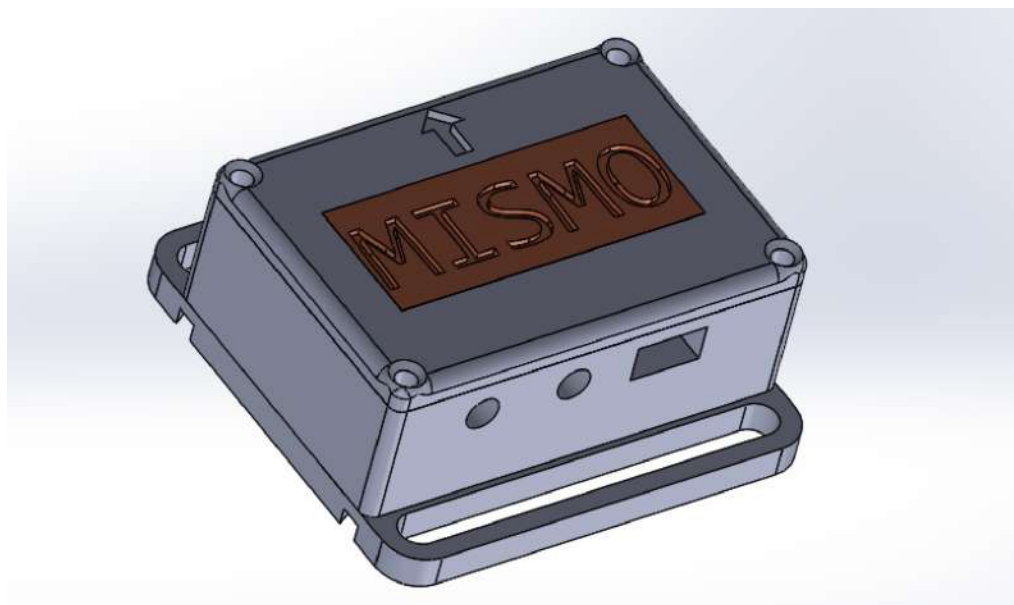
- capacità di head tracking, sistema di navigazione inerziale con sensore MPU-9250 tramite algoritmi dedicati potenziati da tracciamento con fari Wi-Fi
- scambio dati wireless a bassissima latenza, grazie al microcontrollore ESP32 Lolin Lite e al protocollo ESP-NOW
- pairing automatico tra più unità, attualmente testato per 5 moduli MISMO contemporanei
- invio finale di dati a qualsiasi DAW o hardware con protocollo MIDI e/o OSC
- modulo Wi-Fi
- modulo Bluetooth
- modulo esterno DAC stereo 16 bit - 44.1 kHz, su protocollo I2S
- 2 LED RGB con colori specifici per ogni fruitore e pattern luminosi per informazioni sullo stato di connessione
- pulsanti capacitivi touch associabili a parametri diversi. Attualmente ne viene sfruttato solo uno per lanciare la funzione di taratura della posizione, immediatamente dopo aver indossato le cuffie
- alimentazione con batteria LiPo 3.7 V - 2000 mAh, ricaricabile con ingresso USB presente sulla scheda
- autonomia energetica di circa 6 ore, con assorbimento medio rilevato intorno ai 300 mA

Allo stato di sviluppo attuale non si è ritenuto fondamentale produrre un circuito stampato per l'organizzazione del cablaggio, tutte le saldature sono fatte a mano con cavi di lunghezza e spessore consono. Di seguito è riportato lo schema a blocchi del circuito:



È stato progettato un piccolo box per racchiudere e proteggere il circuito, prodotto in plastica con tecnica di stampa 3D. Si è cercato di mantenere le dimensioni quanto più compatte possibile, pur garantendo una facile accessibilità all'interruttore di accensione e ai tasti capacitivi. Sono presenti 4 fori, rispettivamente per l'alloggiamento dei LED, mini-jack cuffie stereo e ingresso micro USB, quest'ultimo fondamentale per ricaricare la batteria e per apportare eventuali modifiche al software.

Il box è costituito da 3 parti serrate con bulloni e dadi M3, agilmente divisibili con un cacciavite qualora sia necessario agire sull'hardware; l'ancoraggio alle cuffie avviene grazie a due asole su cui sono fissati i lembi di un nastro elastico velcrato.



#### 4.5 La finestra sensorizzata

*Cinque Finestre* è un'opera interattiva in realtà aumentata acustica: non è solo la componente sonora a dover essere percepita come verosimile, ma è vitale che la fisicità dell'installazione stessa restituisca l'immagine di un insieme di oggetti reali da manipolare intuitivamente. Per questo motivo sono state costruite cinque identiche finestre in legno, perfettamente in scala e del tutto simili a quelle presenti in qualsiasi abitazione, munite quindi di vetro, maniglia, cornice e cardini.

Al fine di monitorare in tempo reale i gradi di apertura, ogni finestra è dotata di potenziometro lineare da 10 kOhm solidale al piolo rotante del cardine superiore: il valore analogico è acquisito dal nodo finale della rete MISMO e convertito in CC MIDI per essere mappato in Reaper sui parametri dell'equalizzatore associato al gruppo audio corrispondente.

Ogni finestra è posta su un piedistallo in metallo alto circa 1 metro che ha lo scopo di stilizzare la presenza di un muro, pensato per agevolare le azioni di apertura e chiusura e per invitare i fruitori a compiere il gesto di *sporgerci*. È stato predisposto un sensore di distanza per rilevare con precisione questo atto, al fine di modificare ulteriormente il paesaggio sonoro qualora la testa e parte del busto dovessero trovarsi *oltre* la finestra.

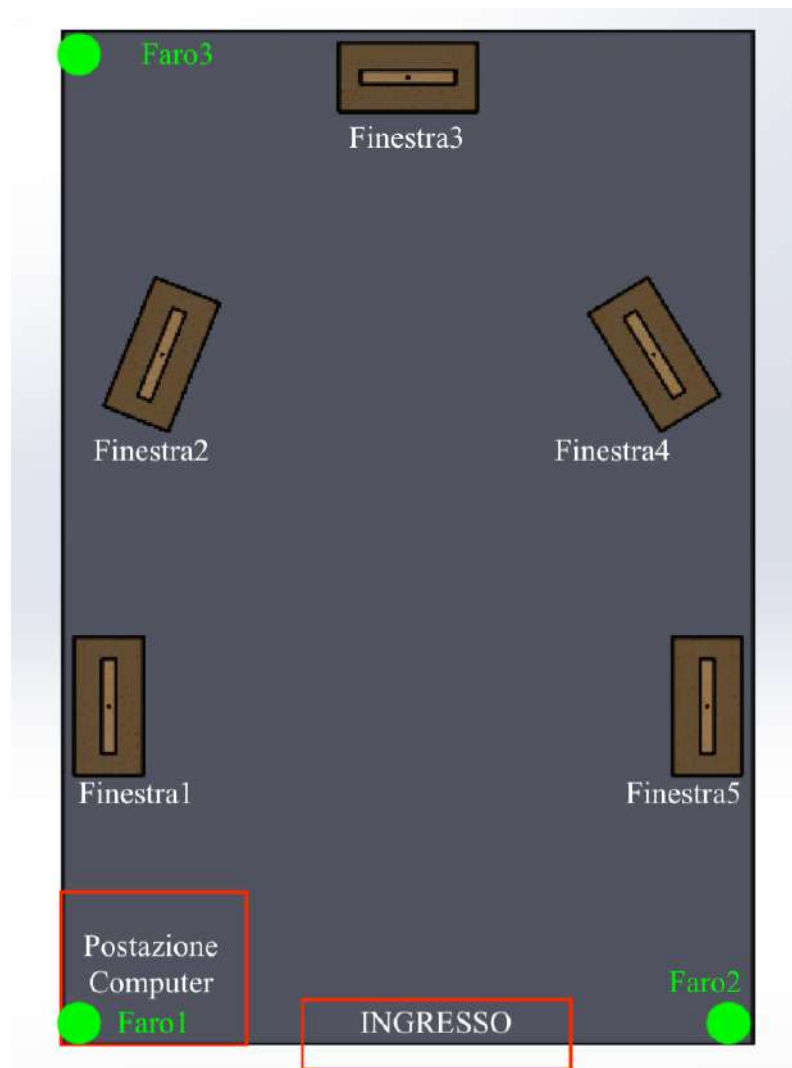


#### 4.6 Allestimento

L'installazione *Cinque Finestre* è pensata per essere allestita in uno spazio possibilmente vuoto e raccolto, di dimensioni consone alla disposizione in semicerchio delle finestre sorrette dai piedistalli e alla loro agevole fruizione. In un angolo defilato interno alla stanza va posizionata la postazione computer, questo punto corrisponde all'origine degli assi cartesiani deputati al mappaggio superficiale ed è qui che va lanciata la funzione di taratura della posizione dopo aver indossato le cuffie con MISMO.

I 3 fari Wi-Fi sono posti nei tre angoli dello spazio allestitivo, compatibilmente con lo spazio disponibile sarà più o meno necessario potenziare il sistema di tracking radio aggiungendo ulteriori punti, funzionali a una triangolazione più precisa.

I QR Code che rimandano alle sezioni del sito Monti Picentini Digitali dovrebbero essere posti in uno spazio immediatamente adiacente all'area installativa, possibilmente prima dell'ingresso, in modo da contestualizzare al meglio i paesaggi sonori proposti dall'opera.





# CONCLUSIONI

---

Questo lavoro di tesi è stato fondamentale per affrontare con maggiore consapevolezza e dedizione il personale percorso di ricerca sul soundscape, intrapreso più di 5 anni fa con una certa leggerezza e acerbità. I libri letti per la stesura del primo capitolo - in particolare - hanno permesso di approfondire diversi approcci al paesaggio sonoro, sia musicali che ecologici, ampliando gli orizzonti dal punto di vista lessicale, estetico, filosofico, tecnico e compositivo. Da questo studio bibliografico muove il progetto *Monti Picentini Digitali*, che nasce per prendersi acusticamente cura di una *piccola* area geografica, ma asseconda - compatibilmente con le proprie limitate capacità - la sempre più *grande* consapevolezza personale che l'arte acquisti maggiore significato e senso di esistere quando è sorretta da scopi che si reputano nobili. Abbiamo abusato della nostra egemonia sulla Natura e superato ormai il punto di non ritorno: avere sensibilità rispetto all'argomento è di certo encomiabile, probabilmente però questo non è più sufficiente e siamo entrati nel tempo dell'impellenza dell'agire. Rispetto alle specifiche conoscenze e possibilità personali, si è ritenuto utile farlo creando un sito internet che divulgasse la preziosa esistenza e il precario equilibrio della biodiversità di un ristretto gruppo di monti campani, sfruttando il suono come principale canale comunicativo. In particolare si pensa che la sound map sviluppata per i Monti Picentini possa rappresentare uno strumento di divulgazione e sensibilizzazione potente, qualora si riesca a coinvolgere un ampio gruppo di persone - una comunità acustica - che attivamente si occupi della manutenzione e popolamento dell'archivio. Registrare ed editare un paesaggio sonoro implica l'atto di doverlo ascoltare attentamente, conoscerne le sorgenti, apprezzarle, capirne la preziosità e quindi fare in modo che non scompaiano per nostra causa.

Il lettore di questo lavoro di tesi avrà probabilmente intuito la personale passione per la ricerca e lo sviluppo di nuovi mezzi tecnologici da mettere a servizio delle proprie necessità espressive e artistiche. Un'abbondante metà di questo lavoro di tesi si è occupata di indagare sensori, algoritmi, software e hardware per permettere a *Monti Picentini Digitali* di non essere solo un'entità web, ma di avere delle derive fisicamente tangibili. Così è nata l'installazione *Cinque Finestre*, studiando nuovi metodi multimodali per la fruizione del paesaggio sonoro e la divulgazione artistica della soundscape ecology. Dopo tutto il lavoro svolto si ritiene che

aver improntato il design dell'opera sull'interattività e la realtà aumentata acustica si sia rivelata una scelta vincente: il coinvolgimento attivo del fruitore lo veicola a tendere l'orecchio, cioè all'ascoltare piuttosto che al sentire. La speranza finale è quella di creare apprezzamento e interesse verso l'universo acustico, quindi la vita, che ci circonda, con la consapevolezza che nessun mezzo tecnologico - per quanto avanzato e raffinato - possa mai riuscire a sostituire le *qualità Hi-Fi* del mondo reale, che va perciò preservato.

Il lavoro svolto per questo progetto di tesi rappresenta una base di partenza solida per sviluppi futuri che opereranno sostanzialmente su due fronti: dal punto di vista artistico c'è la ferma volontà di portare avanti il progetto *Monti Picentini Digitali*, continuando ad aggiungere costantemente elementi sonori al suo archivio e tentando di creare una comunità di persone interessate a collaborare attivamente al progetto. L'obiettivo più prossimo è migliorare la sound map investendo in server per lo stoccaggio di registrazioni più lunghe e potenziando la sua gestione software. Esporre quindi *Cinque Finestre* il più possibile per divulgare l'esistenza di Monti Picentini Digitali, producendo nel tempo altre installazioni e live electronics.

Dal un punto di vista tecnologico si ritiene che il sistema multimodale in AAR sviluppato sia molto promettente e con ulteriori migliorie possa essere adattato a scopi diversi, come mappare il corpo di un performer con più MIMO posti sugli arti, per un motion tracking preciso e wireless. Probabilmente - però - lo studio che si ritiene personalmente più valido risiede nell'ottimizzare il sistema per un suo utilizzo in contesti museali. L'idea futura è quella di sviluppare un servizio di audio-guide binaurali con tracking di posizione e orientamento della testa, così che siano le opere stesse a parlare di sé ai fruitori che le guardano o che camminano nei loro pressi: la fruizione museale in realtà aumentata acustica è una nuova frontiera che si ritiene essere interessante e che necessita di essere esplorata con impegno.





# Bibliografia

---

- ABBOTT ABBOTT E., *Flatland: A Romance of Many Dimensions*, 1884.
- BASILE G.,  
CASA DEI F.,  
LORENZETTI L.,  
SCHIRRU G.,  
THORTON A., *Linguistica generale*, Carocci Editore, Roma, 2010.
- CURTIS R., *Microsounds*. Cambridge: MIT Press, 2001.
- DARWIN C., *Origin of Certain Instincts*, 1874.
- FARINA A., *Soundscape Ecology: Principles, Patterns, Methods and Applications*. Springer, Netherlands, 2014.
- HOFSTADTER D., *Gödel, Escher, Bach: Un'eterna ghirlanda brillante*, Adelphi, 1984.
- KRAUSE B., *Voices of the wild*, Yale University Press, 2015.
- KRAUSE B., *The Great Animal Orchestra: Finding the Origins of Music in the World's Wild Places*, 2012.
- KRAUSE B., *Anatomy of the Soundscape: Evolving Perspectives*, Journal Aud. Eng. Soc. Vol 56.
- KRAUSE B., *Voices of the Wild: Animal Songs, Human Din, and the Call to Save Natural Soundscapes*, Yale University Press, 2015.
- LA BELLE B., *Background Noise: Perspectives on Sound Art*. Continuum International Publishing Group, 2006.
- PLINGE, A.  
SCHLECHT, S.,  
THIERGAT, O.,  
ROBOTHAM, T.,  
RUMMUKAINEN, O., HABETS, E.m *Six-degrees-of-freedom binaural audio reproduction of first-order ambisonics with distance information*. In *Proceedings of the Audio Engineering Society Conference: 2018 AES International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality*, Redmond, WA, USA, 20–22 August 2018.
- SCHAEFFER P., *Traité des objets musicaux*, Parigi, Seuil, 1966.
- SCHAFER R. M., *The new soundscape: a handbook for the modern music teacher*. Berandol Music, 1969.

- SCHAFER R. M., *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*, 1977.
- SCHAFER R. M., *Audio Culture: Readings in Modern Music*. New York, NY: Continuum International Publishing Group, 2004.
- TRUAX B. *Handbook for Acoustic Ecology*, A. R. C Publications, Vancouver, 1978.
- TRUAX B., *Acoustic Communication*, Ablex Publishing Corporation, New Jersey, 1985.
- WALSH S., *Debussy. A Painter in Sound*, Faber & Faber, Londra, 2018.
- ZHIJIA Y., YU-LIN W., SHENG S., CHOUNDHURY R.R., *Ear-AR: Indoor Acoustic Augmented Reality on Earphones*. In *MobiCom 2020, September 21–25, 2020, London, United Kingdom*. ACM, New York, NY, USA, 2020.
-

AHRS	Pagina descrizione filtro Madgwick <a href="https://ahrs.readthedocs.io/en/latest/filters/madgwick.html">https://ahrs.readthedocs.io/en/latest/filters/madgwick.html</a>
ARCHIVIO LA RETE	<i>Archivio sonoro La Rete</i> <a href="http://www.archiviosonoro.org/">http://www.archiviosonoro.org/</a>
BBC	Archivio sonoro BBC <a href="https://sound-effects.bbcrewind.co.uk/">https://sound-effects.bbcrewind.co.uk/</a>
CLUB ALPINO ITALIANO	Home page del CAI <a href="https://www.cai.it/">https://www.cai.it/</a>
DISCOGS	Distant Thunder - Bernie Krause <a href="https://www.discogs.com/release/7937246-Bernie-Krause-Distant-Thunder">https://www.discogs.com/release/7937246-Bernie-Krause-Distant-Thunder</a>
DTSHEET	Datasheet sensore AK8963 <a href="https://dtsheet.com/doc/1236655/akm-ak8963">https://dtsheet.com/doc/1236655/akm-ak8963</a>
ELECTROCD	Grain of Voices - Åke Parmerud <a href="https://electrocd.com/en/oeuvre/12951/%C3%85ke_Parmerud/Grains_of_Voices">https://electrocd.com/en/oeuvre/12951/%C3%85ke_Parmerud/Grains_of_Voices</a>
ESPRESSIF	Pagina del prodotto ESP32 <a href="https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32">https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32</a>
ESPRESSIF	Datasheet microcontrollore LOLIN LITE <a href="https://docs.platformio.org/en/stable/boards/espressif32/lolin32_lite.html">https://docs.platformio.org/en/stable/boards/espressif32/lolin32_lite.html</a>
ESPRESSIF	Pagina descrizione protocollo ESP-NOW <a href="https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview">https://www.espressif.com/en/products/software/esp-now/overview</a>
FONDATION CARTIER	The Great Animal Orchestra - Bernie Krause <a href="https://www.fondationcartier.com/en/exhibitions/le-grand-orchestre-des-animaux">https://www.fondationcartier.com/en/exhibitions/le-grand-orchestre-des-animaux</a>
GITHUB	Home page del sito Github <a href="https://github.com/">https://github.com/</a>
GITHUB	Pagina libreria MPU9250 <a href="https://github.com/hideakitai/MPU9250">https://github.com/hideakitai/MPU9250</a>
GITHUB	Pagina descrizione MPU9250 <a href="https://github.com/kriswiner/MPU9250">https://github.com/kriswiner/MPU9250</a>
GITHUB	Pagina libreria OSC per Arduino <a href="https://github.com/CNMAT/OSC">https://github.com/CNMAT/OSC</a>

GITHUB PAGES	Home page del sito Github Pages <a href="https://pages.github.com/">https://pages.github.com/</a>
GLASGOW 3D SOUNDMAP	Archivio sonoro di Glasgow <a href="http://www.glasgow3dsoundmap.co.uk/soundmap.html">http://www.glasgow3dsoundmap.co.uk/soundmap.html</a>
HOBBY KING	Home page del prodotto Quatum3 <a href="https://hobbyking.com/it_it/quatum-3-axis-no-drift-head-tracker.html">https://hobbyking.com/it_it/quatum-3-axis-no-drift-head-tracker.html</a>
HOW TO MECHATRONICS	Articolo sui sensori MEMS <a href="https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-">https://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/mems-</a>
INSTITUTE OF ELECTRONIC MUSIC AND ACOUSTICS	Pagina della suite IEM Ambisonics <a href="https://plugins.iem.at/">https://plugins.iem.at/</a>
INSTITUTE OF ELECTRONIC MUSIC AND ACOUSTICS	Home page IEM <a href="https://iem.kug.ac.at/en/institute-of-electronic-music-and-acoustics.html">https://iem.kug.ac.at/en/institute-of-electronic-music-and-acoustics.html</a>
INVENSENSE	Datasheet sensore MPU-9250 <a href="https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/">https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/9-axis/mpu-9250/</a>
INVENSENSE	Datasheet sensore MPU-6500 <a href="https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/">https://invensense.tdk.com/products/motion-tracking/6-axis/mpu-6500/</a>
INVENSENSE	Pagina firmware Smartmotion <a href="https://invensense.tdk.com/smartmotion/">https://invensense.tdk.com/smartmotion/</a>
INVENTABLES EASEL	Sito per la generazione di G Code per CNC <a href="https://www.inventables.com/technologies/easel">https://www.inventables.com/technologies/easel</a>
ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE ITALIANO	Home page dell'IGMI <a href="https://www.igmi.org/">https://www.igmi.org/</a>
J. M. PELLETTIER	Pagina della libreria MAX/MSP per Computer Vision <a href="https://jmpelletier.com/cvjit/">https://jmpelletier.com/cvjit/</a>
LEAFLET.JS	Home page della libreria JavaScript Leaflet <a href="https://leafletjs.com/">https://leafletjs.com/</a>
MAGNETIC DECLINATION	Sito per visionare derivazione magnetica di un luogo <a href="https://www.magnetic-declination.com/">https://www.magnetic-declination.com/</a>

MAISON-ONA	Presque Rien, Numéro 1 - Luc Ferrari <a href="https://www.maison-ona.com/catalog-0059ONA">https://www.maison-ona.com/catalog-0059ONA</a>
MAPA SONORO DE MÉXICO	Archivio sonoro del Messico <a href="https://mapasonoro.cultura.gob.mx/">https://mapasonoro.cultura.gob.mx/</a>
MAPPA.JS	Home page della libreria JavaScript Mappa <a href="https://mappa.js.org/">https://mappa.js.org/</a>
MIDI.ORG	Home page protocollo MIDI <a href="https://midi.org/">https://midi.org/</a>
MILANO SONORA	Archivio sonoro di Milano <a href="http://www.albesteiner.net/milanosonora/">http://www.albesteiner.net/milanosonora/</a>
NAPOLI SOUNDSCAPE	Archivio sonoro di Napoli <a href="https://www.napolisoundscape.com/index.php">https://www.napolisoundscape.com/index.php</a>
NATURAL POINT	Home page del prodotto Track IR <a href="https://www.naturalpoint.com/trackir/trackir5/">https://www.naturalpoint.com/trackir/trackir5/</a>
NODE MCU	Home page NodeMCU <a href="http://www.nodemcu.com/index_en.html">http://www.nodemcu.com/index_en.html</a>
OCULUS	Home page del prodotto Quest2 <a href="https://www.oculus.com/quest-2/">https://www.oculus.com/quest-2/</a>
OPEN TRACK	Home page del software Open Track <a href="https://github.com/opentrack/opentrack">https://github.com/opentrack/opentrack</a>
QR CODE	Pagina descrizione funzionamento QR Code <a href="https://www.qrcode.com/en/faq.html#patentH2Title">https://www.qrcode.com/en/faq.html#patentH2Title</a>
QR CODE GENERATOR	Sito per la generazione di QR Code <a href="https://www.the-qrcode-generator.com/it/">https://www.the-qrcode-generator.com/it/</a>
QUIET AMERICAN	Guida on-line al field-recording <a href="https://quietamerican.org/links.html">https://quietamerican.org/links.html</a>
RADIO APOREE	Archivio sonoro Radio Aporee <a href="https://aporee.org/maps/">https://aporee.org/maps/</a>
SIMON FRASER UNIVERSITY	The Vancouver Soundscape <a href="https://www.sfu.ca/~truax/vanscape.html">https://www.sfu.ca/~truax/vanscape.html</a>
SIMON FRASER UNIVERSITY	The Canadian Soundscape <a href="https://www.sfu.ca/~truax/canada.html">https://www.sfu.ca/~truax/canada.html</a>
SIMON FRASER UNIVERSITY	World Soundscape Project Database <a href="https://www.sfu.ca/sonic-studio/WSPDatabase/">https://www.sfu.ca/sonic-studio/WSPDatabase/</a>

SIMON FRASER UNIVERSITY	Porzione liberamente accessibile del WSP <a href="https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/">https://digital.lib.sfu.ca/soundscapes-collection/</a>
SOUND SURVEY	Archivio sonoro di Londra <a href="https://www.soundsurvey.org.uk/index.php/survey/soundmaps/more/38/35">https://www.soundsurvey.org.uk/index.php/survey/soundmaps/more/38/35</a>
SOURCE FORGE	Home page del software Face Track <a href="http://facetracknoir.sourceforge.net/home/default.htm">http://facetracknoir.sourceforge.net/home/default.htm</a>
STANFORD UNIVERSITY	Home page protocollo OSC <a href="https://opensoundcontrol.stanford.edu/index.html">https://opensoundcontrol.stanford.edu/index.html</a>
THUNDER FOREST	Home page del provider di mappe web Thunderforest <a href="https://www.thunderforest.com/">https://www.thunderforest.com/</a>
TRACK HAT	Home page del prodotto Track Hat <a href="https://www.trackhat.org/">https://www.trackhat.org/</a>
VIEW TRACKER	Home page del software View Tracker <a href="https://viewtracker.app/">https://viewtracker.app/</a>
WAVES	Home page del prodotto NX Head Tracker <a href="https://www.waves.com/hardware/nx-head-tracker">https://www.waves.com/hardware/nx-head-tracker</a>
WIKIPEDIA	Pagina di descrizione Ambiofonia <a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Ambiophonics">https://en.wikipedia.org/wiki/Ambiophonics</a>
WIKIPEDIA	Pagina di descrizione batteria LiPo <a href="https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-polimero">https://it.wikipedia.org/wiki/Accumulatore_litio-polimero</a>
X-IO	Home page del prodotto NGIMU <a href="https://x-io.co.uk/ngimu/">https://x-io.co.uk/ngimu/</a>
XSENS	Descrizione sensori motion capture <a href="https://www.xsens.com/motion-capture">https://www.xsens.com/motion-capture</a>
ZKM	Pagina Udo Noll <a href="https://zkm.de/en/person/udo-noll">https://zkm.de/en/person/udo-noll</a>

---





## Ringraziamenti

---

Chi legge e mi conosce sorriderà nel pensare, giustamente, con quanta goffaggine e *fatica* sto scrivendo queste poche righe, in effetti mi sarebbe venuto forse più semplice codificare qualche altro migliaio di byte di algoritmi. Se per la tesi triennale mi sono concesso l'egoistico lusso di dimenticarmene, nel concludere questo biennio ho il bisogno e il piacere di ringraziare quanti hanno fatto sì che la mia carriera accademica non fosse solo un semplice percorso di studi, ma un'occasione di crescita sia dal punto di vista personale e che artistico. In questo senso la mia gratitudine non può che andare alla mia relatrice Alba Battista, non solo per avermi accettato come tesista - nonostante la tarda proposta e la mole di impegni già presenti - ma soprattutto per essere stata il *faro Wi-Fi*, infaticabile e onnipresente, del mio *sistema di navigazione inerziale*: è spesso semplice perdere la rotta nelle sconfinite acque digitali della Musica Elettronica e nei mari - a volte turbolenti e a volte decisamente in bonaccia - del Conservatorio di Avellino, se ciò non è accaduto è anche grazie a lei.

Non sarei arrivato serenamente fin qui senza il supporto, l'amore e la comprensione della mia famiglia. In poche frasi mi è oggettivamente impossibile ricambiare quanto fatto per me in tutti questi anni, quindi mi limito a ringraziare infinitamente mia madre Antonietta, mio padre Tonino e mio fratello Stefano per l'affettuosa pazienza che ha permesso loro di sopportare (e in qualche modo apprezzare) tutte le più bizzarre incursioni sonore che potessero venirmi in mente e con cui ho spesso monopolizzato il nostro *soundscape* domestico. Certo è che - poveri loro - le invasioni di spazi casalinghi non si sono limitate a essere solo acustiche, ma spesso anche decisamente fisiche: non so come abbiano fatto a permettermi di occupare tutte le superfici che avessi a portata con strumenti e sistemi, di dubbia utilità e provenienza, esponenzialmente più ingombranti, bislacchi e chiassosi. Non solo quanto detto, ma infinite altre cose rendono loro onore e con profonda consapevolezza posso affermare di essere fortunato ad avere questa famiglia.

Senza dubbio la mia lista di ringraziamenti dovrebbe essere molto più lunga di così, ma per non cadere in scontati *melismi* concludo ringraziando Marco e Armando: grandi amici, impareggiabili colleghi e indefessi compagni di fantastiche avventure multimediali.

