



CONSERVATORIO STATALE DI MUSICA
“G.P. DA PALESTRINA” – CAGLIARI

DIPARTIMENTO DI NUOVE TECNOLOGIE E LINGUAGGI MUSICALI

SETTORE ARTISTICO-DISCIPLINARE DI MUSICA ELETTRONICA

DIPLOMA ACCADEMICO DI II LIVELLO

RADIO CONCRETA

**Studio sulle possibilità delle reti wireless locali per l'indagine del paesaggio sonoro
nell'ambito delle installazioni sonore d'arte**

Tesi di laurea in
Musica Elettronica

Relatore
Prof. Paolo Pastorino

Candidato
Stefano Manconi

Correlatore
Prof. Daniele Ledda

Sessione
II

Anno accademico
2024-2025

Indice

Indice	3
Introduzione	4
1. Fondamenti della ricerca	5
1.1. Titolo e fasi preliminari	5
1.2. Installazioni sonore e arte orientata all'ecologia	9
1.3. Reti wireless, radio e soundscape composition	13
1.4. Paesaggio sonoro e fragilità della comunicazione	16
2. Radio Concreta.....	21
2.1. Ideazione e progettazione	21
2.2. Dispositivo di trasmissione.....	22
2.2.1. Microcontrollore Wi-Fi.....	22
2.2.2. Amplificatore microfonico.....	23
2.2.3. Batterie e ricarica	24
2.2.4. Gestione energetica.....	26
2.2.5. Sviluppo del firmware.....	28
2.2.6. Costruzione del prototipo.....	30
2.2.7. Scelta dei microfoni	31
2.3. Postazione di ricezione	32
2.3.1. Rete wireless locale.....	32
2.3.2. Connessione fra client e server	33
2.3.3. Sistema Operativo	36
2.3.4. Interfaccia utente.....	37
2.3.5. Allestimento	38
3. Possibili sviluppi.....	41
Riferimenti bibliografici	42
Appendice	46

Introduzione

Radio Concreta è un'installazione sonora d'arte presentata in occasione della XIX edizione del Premio Nazionale delle Arti, tenutasi a Sassari il 13 e il 14 novembre 2025. L'installazione è l'esito di una ricerca artistica sulle possibilità delle reti wireless locali, per l'indagine del paesaggio sonoro nell'ambito delle installazioni sonore d'arte. La ricerca è stata condotta in prima sede durante il biennio di Musica Elettronica e approfondita parallelamente attraverso la partecipazione ad attività formative extra-accademiche, nazionali ed internazionali, come seminari, *workshop*, residenze d'artista nonché un tirocinio presso l'azienda Bastl s.r.o. in Repubblica Ceca, grazie a uno dei programmi di mobilità internazionale del Conservatorio di Cagliari. Le principali discipline affrontate durante il corso di studi e che sono alla base di questa ricerca comprendono l'informatica musicale, gli ambienti esecutivi multimodali e interattivi, le tecnologie, le applicazioni e la programmazione audio e musicale per internet e per i sistemi di comunicazione mobile. L'obiettivo della tesi è ripercorrere i passaggi fondamentali della ricerca, a partire dal contesto in cui si è sviluppata per poi approfondire le possibilità offerte dalle tecnologie attuali, prendendo come caso di studio l'installazione sonora da cui prende il titolo.

1. Fondamenti della ricerca

1.1. Titolo e fasi preliminari

Il titolo dell'installazione, a cui questa tesi è intitolata, è composto dall'unione della parola "radio" e dell'aggettivo "concreta". Radio perché si basa su una trasmissione del segnale attraverso delle onde radio¹; concreta per il duplice significato, liberamente attribuitogli, in riferimento sia al pensiero musicale della *musique concrète*² che alla parola inglese *concrete*, in italiano "calcestruzzo", ossia il materiale predominante nella costruzione delle città odierne.

Il titolo e gli argomenti della ricerca artistica affrontati in questo studio, scaturiscono da delle riflessioni personali sul modo di vivere e abitare i luoghi, con particolare attenzione alla dimensione che viene data all'elemento natura e al rapporto che si instaura con essa. In maniera più precisa, si vuole mettere in discussione la percezione che si ha dello spazio urbano, soprattutto verso le aree verdi e sul ruolo che assumono all'interno della città.

Questi ragionamenti si collegano direttamente a delle esperienze che ho vissuto in prima persona e che, al solo scopo di fornire un quadro più ampio del contesto a cui faccio riferimento, ricondurrò a tre condizioni a parer mio fondamentali:

¹ Onde radio (o radioonde): radiazioni elettromagnetiche di frequenza compresa fra 0 e 300 GHz impiegate nelle comunicazioni senza fili. Cfr. http://archivio.torinoscienza.it/dossier/onde_radio_2296.html

² Denominazione coniata nel 1948 dal compositore e teorico francese Pierre Schaeffer per designare una nuova corrente musicale (di cui è stato ideatore e primo realizzatore) basata sulla registrazione di suoni e rumori ambientali da usarsi come materiale compositivo. Cfr. <https://www.treccani.it/enciclopedia/musica-concreta/>

1. Abitare ed esser cresciuti in un'isola che si affaccia sul Mar Mediterraneo (Isola di Sant'Antioco, Sud Sardegna);
2. Aver vissuto per diversi anni in una città post-industriale dell'Europa Centrale (Brno, Repubblica Ceca);
3. Aver avuto la possibilità di poter di viaggiare e scegliere dove fermarsi.

I luoghi a cui faccio riferimento nelle prime due condizioni, sono senza dubbio unici, così come penso lo sia qualsiasi altro luogo nel mondo, tuttavia il vero motivo per cui li si cita, non è tanto per elogiarne l'unicità, quanto prenderli come esempio di due condizioni di vita diverse, alle quali riconduco le riflessioni dalle quali questa ricerca scaturisce. La terza condizione è invece quella che reputo più importante delle tre, non solo perché mi ha permesso di esperire e confrontare le differenze fra i luoghi ma anche perché la considero un privilegio dal quale, nel condurre una ricerca artistica, si possono trarre i maggiori benefici. Per citare alcune di queste differenze, al fine di comprendere meglio il contesto della ricerca, presterei maggiore attenzione alla prossimità e il contatto diretto che si ha con la natura nell'Isola, ai livelli di inquinamento acustico³ a cui si è esposti nella città e agli effetti, sia positivi che negativi, dovuti allo stato delle infrastrutture di ciascun luogo. Mettendo insieme le tre condizioni sono giunto alla considerazione che lo studio presentato in questa tesi, rappresenta la sintesi e lo sviluppo di due lavori che ho realizzato in precedenza:

1. *Kompas* (2018), uno strumento musicale elettronico, nello specifico un modulo per sintetizzatore Eurorack⁴ che ho sviluppato a Brno e di cui ho discusso nella tesi del triennio;

³ Una forma d'inquinamento causato da un'eccessiva esposizione a suoni di elevata intensità.

⁴ Un formato di sintetizzatore modulare introdotto dalla Doepfer Musikelektronik nel 1995 (Bjørn, 2018: 30).



Figura 1: *Kompas* (2018) - foto: Bastl Instruments

2. *What Hath God Wrought?* (2022) la prima installazione interattiva che ho realizzato nel sito naturalistico di Torre Canai, nell'Isola di Sant'Antioco (Fig. 2).

Il primo lavoro (Fig. 1) rappresenta una ricerca artistica e tecnologica che affronta tutti gli aspetti tecnici legati alla realizzazione di uno strumento musicale elettronico: dall'ideazione alle varie fasi di sviluppo dell'*hardware*⁵ e del *firmware*⁶ sino alla finalizzazione per l'introduzione nel mercato. Il secondo lavoro (Fig. 2) rappresenta invece un tentativo di rilettura di un sito di interesse storico e paesaggistico (Torre Canai) tramite un'installazione d'arte interattiva che propone a visitatori e visitatrici, un'esperimento di comunicazione che li coinvolge direttamente: attraverso un pulsante posizionato all'esterno

⁵ Termine utilizzato nella tecnica elettronica per indicare, in contrapp. a *software*, i componenti di base, non modificabili, di un apparecchio o di un sistema (alimentatori, componenti circuitali fissi, unità logiche, ecc.).

⁶ In informatica, l'insieme dei programmi o dei microprogrammi contenuti in una memoria a sola lettura (ROM), indipendente dalla memoria principale di un elaboratore elettronico, che presiedono alle sue fondamentali attività di funzionamento (controlli d'avvio, gestione delle unità periferiche, istruzioni di base, ecc.).



Figura 2: *What Hath God Wrought?* (2022)

della torre e affiancato da un cartello riportante l'alfabeto morse⁷, si può attivare un sistema di luci che illuminano le finestre dell'edificio, trasformandolo in un faro. Trattandosi di una ex-torre di guardia costiera, l'operazione artistica risiede nel riscoprire il passato del luogo, dando al visitatore e alla visitatrice, l'illusione di poter comunicare, attraverso segnali luminosi, con chi si trova in mare o sulla costa opposta.

What Hath God Wrought? è particolarmente rilevante per comprendere il contesto da cui nasce e si sviluppa *Radio Concreta*, soprattutto da due punti di vista: il primo dato dall'utilizzo di un mezzo di comunicazione "digitale"⁸ (il telegrafo⁹ è l'antenato delle

⁷ Codice telegrafico adottato internazionalmente sia per la radiotelegrafia sia per le comunicazioni a breve distanza mediante segnalazioni a lampi di luce o acustiche. Prende il nome dal suo inventore, lo statunitense S.F.B. Morse (1791-1872).

⁸ Pur trattandosi di tecnologie differenti (telegrafo e reti Wi-Fi) con il termine "digitale" in questo caso si fa riferimento a una rappresentazione dell'informazione per numeri discreti (0 e 1) intesa come acceso/spento, con cui accosto il codice morse ai sistemi informatici ed elettronici.

⁹ Sistema o impianto, dispositivo o apparecchio, per realizzare trasmissioni telegrafiche; nel 1837 lo statunitense Samuel Morse brevettò un sistema per trasmettere a distanza messaggi sotto forma di impulsi elettrici.

moderne reti wireless¹⁰); il secondo per il tentativo di creare una connessione¹¹ nel senso più ampio del termine, con un punto lontano. In conclusione, *Radio Concreta* è il risultato dell'incontro di due ricerche artistiche: la prima riguardante l'aspetto tecnico legato alla progettazione di dispositivi elettronici e di tecnologie di comunicazione *wireless*; la seconda che indaga il ruolo che possono avere i sistemi di comunicazione e l'interattività delle installazioni d'arte, in funzione dell'esplorazione di un luogo. In questo studio, dall'incontro e lo sviluppo di queste due ricerche, si aggiunge un altro livello che può essere individuato tramite la chiave di lettura degli studi sul paesaggio sonoro¹².

1.2. Installazioni sonore e arte orientata all'ecologia

Il mio interesse per le installazioni sonore è dovuto a come questa forma d'arte ha trasformato il modo di fruire e concepire il suono¹³. Uno degli aspetti che più mi affascinano è la libertà con cui spettatori e spettatrici possono fruire l'opera e, nel caso delle installazioni interattive, diventarne parte fondamentale. Per usare le parole di David Rokeby¹⁴: «[...]l'esperienza della cultura può essere qualcosa che fai piuttosto che qualcosa che ti viene dato [...]» (Baalman 2022: 22). L'altro aspetto è l'immediatezza con la quale è possibile mettere in relazione l'opera con il suo contesto, sino a creare un legame indissolubile per cui (l'opera) esiste solo in funzione di quel preciso spazio e viceversa

¹⁰ In informatica e telecomunicazioni, *wireless* o senza fili indica una comunicazione tra dispositivi elettronici che non fa uso di cavi.

¹¹ Connessione intesa come unione, legame, relazione ecc.

¹² L'ambiente dei suoni. Tecnicamente, qualsiasi parte dell'ambiente dei suoni considerata come campo di studio e di ricerca. Il termine può applicarsi tanto ad ambienti reali, quanto a costruzioni astratte, quali le composizioni musicali o i montaggi e missaggi di nastri magnetici, in particolare quando vengono considerati come parte dell'ambiente. (Schafer 1985: 372)

¹³ Cfr. <https://www.artescienza.info/ita/2006/installazioni.htm>

¹⁴ David Rokeby *installation artist* e compositore canadese. Cfr. <https://v2.nl/people/david-rokeby>



Figura 3: *Autotrophic Spectra* - foto installazione Manifesta 15, Barcellona, 2024.

quello spazio assume un determinato significato solo tramite l'opera: una caratteristica tipica degli interventi artistici definiti *site-specific*¹⁵.

Nella mia ricerca, l'attenzione che vorrei porre verso le aree verdi urbane scaturisce da una maggiore sensibilità che si è sviluppata, negli ultimi anni, nei confronti del mondo vegetale e in particolar modo verso le piante. Questa tendenza è diventata, a parer mio, un tema di attualità, supportato anche dalle scoperte scientifiche nell'ambito della neurobiologia vegetale, di cui il prof. Stefano Mancuso è uno dei maggiori esponenti. In

¹⁵ Termine diffuso nel campo dell'arte contemporanea per designare opere d'arte che si fondano primariamente sui rapporti con il luogo in cui insistono e nelle quali, il sito risulta parte integrante e sostanziale del valore e del significato dell'opera. Cfr. https://phd.uniroma1.it/web/site-specific-architecture_-prof-r-bocchi_nS2877IT_IT.aspx

occasione della 15^a edizione di Manifesta¹⁶, svoltasi a Barcellona nel 2024, ho avuto il piacere di vedere l'installazione *Autotrophic Spectra* (2022-2024) di Ugo Schiavi. L'intervento *site-specific* (Fig. 3), realizzato all'interno di una centrale termoelettrica dismessa¹⁷, si basa sull'idea che le piante provenienti dall'area circostante e che vengono rimosse durante le operazioni di monitoraggio dell'inquinamento dei suoli, conservino la memoria delle condizioni estreme a cui si sono dovute adattare nel tempo. L'operazione condotta da Schiavi è quella di trasferire alcune di queste piante in una serra all'interno dell'edificio, dalla quale, attraverso un sistema di sensori, controllano l'elaborazione di un modello 3D rappresentante una pianta del futuro. Questa installazione ha avuto un impatto tale al punto di portare a domandarmi, per esempio: "In che modo le piante percepiscono l'ambiente circostante?" e ancora: "Che funzione hanno (le piante) negli spazi pubblici e privati?" A partire da queste domande ho iniziato a ragionare sulla funzione che piante e alberi ricoprono nello spazio urbano, rendendomi conto di quanto il loro ruolo sia spesso relegato alla funzione decorativa: nelle "piazze moderne" la quantità di cemento lascia pochissimo spazio alla terra necessaria per le piante, al punto che devono essere stagionalmente sostituite con altre, proprio perché non riescono a sopravvivere alle condizioni.

Per poter trasformare queste considerazioni in un gesto artistico, una possibile soluzione viene offerta dalla *data sonification*¹⁸, un campo di ricerca che si occupa della rappresentazione di dati attraverso il suono. Nonostante il carattere scientifico per cui questa

¹⁶ Manifesta è una biennale nomade europea, istituita nei primi anni '90 per l'arte contemporanea e trasformata nel tempo in una piattaforma interdisciplinare che esplora le condizioni culturali, urbane e ambientali della città ospitante, ri-immaginando insieme alle comunità locali, il modo di vedere il futuro in Europa. Cfr: <https://manifesta.org/about>

¹⁷ *Les Tres Xemeneies* è una ex-centrale termoelettrica costruita nel 1970 e operativa sino al 2011. Si trova in mezzo alle città Sant Adrià de Besòs e Badalona, a nord di Barcellona. Cfr. <https://www.catalannews.com/politics/item/turning-an-old-power-plant-into-catalonias-audiovisual-content-creation-hub>

¹⁸ Thomas Hermann, *Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Display*, in «Proceedings of the 14th international Conference on Auditory Display», Parigi, 24-27 giugno 2008, <http://hdl.handle.net/1853/49960>.

disciplina nasce, in ambito artistico si trovano numerosi esempi che fanno uso della sonificazione, anche per sensibilizzare su temi di natura ambientale o ecologica. Uno di questi esempi è il lavoro *Heat and the Heartbeat of the City* (2004) dell'artista Andrea Polli¹⁹ in collaborazione la ricercatrice Cynthia Rosenzweig, si tratta di un'opera interattiva basata sul *web* che rappresenta gli effetti dei cambiamenti climatici, associando delle composizioni musicali, ottenute tramite la sonificazione di modelli atmosferici, alle temperature registrate dal 1990 e previste sino al 2080 al Central Park di New York²⁰. L'uso del suono che Polli fa per sensibilizzare sugli effetti dei cambiamenti climatici, permette di inquadrare la sua ricerca come una pratica artistica eco-sensibile, riconducibile al campo dell'ecologia acustica, la disciplina che studia gli effetti prodotti dall'ambiente acustico (o paesaggio sonoro) sulle caratteristiche fisiche e sui modelli di comportamento degli esseri che vi abitano (Schafer 1985: 370). Un altro lavoro basato sulla sonificazione ma che usa le reti informatiche²¹ come principale strumento per la sua esecuzione è *Sonicity: Songs Of Atoms Time And Space* (2010) un'installazione sonora di Stanza²², basata su un sistema complesso in cui una rete di sensori *wireless* monitora i dati ambientali dell'edificio e della città, e li trasmette in tempo reale ad un programma che li traduce in suono e li diffonde attraverso 170 altoparlanti, disposti nello spazio espositivo. Le installazioni citate contengono degli elementi fondamentali su cui si basa la mia ricerca: da un lato l'utilizzo di reti *wireless* e tecnologie IoT (*Internet of Things*)²³ per il monitoraggio degli ambienti e il

¹⁹ Cfr. <https://www.landviews.org/articles/heat-ap.html>

²⁰ Alexandra Supper, *Singing Data: Sonification and the Relation between Science and Art*, «Sound Art: Sound as a Medium of Art», s.l., ZKM, MIT press, 2019, pp. 497-499

²¹ Sistema di computer e periferiche collegate fra loro tramite cavi o collegamenti wireless, per scambiare dati e condividere risorse.

²² Cfr. <https://stanza.co.uk/sonicity/index.html>

²³ *Internet of Things*: espressione diffusa per descrivere un insieme di tecnologie o dispositivi (spesso detti *smart*) interconnessi fra loro e capaci di comunicare per via digitale. Ogni dispositivo connesso raccogliere informazioni specifiche al suo scopo per poi condividerle con gli altri dispositivi. Cfr. <https://oit.williams.edu/ats-posts/what-is-smart-technology/>

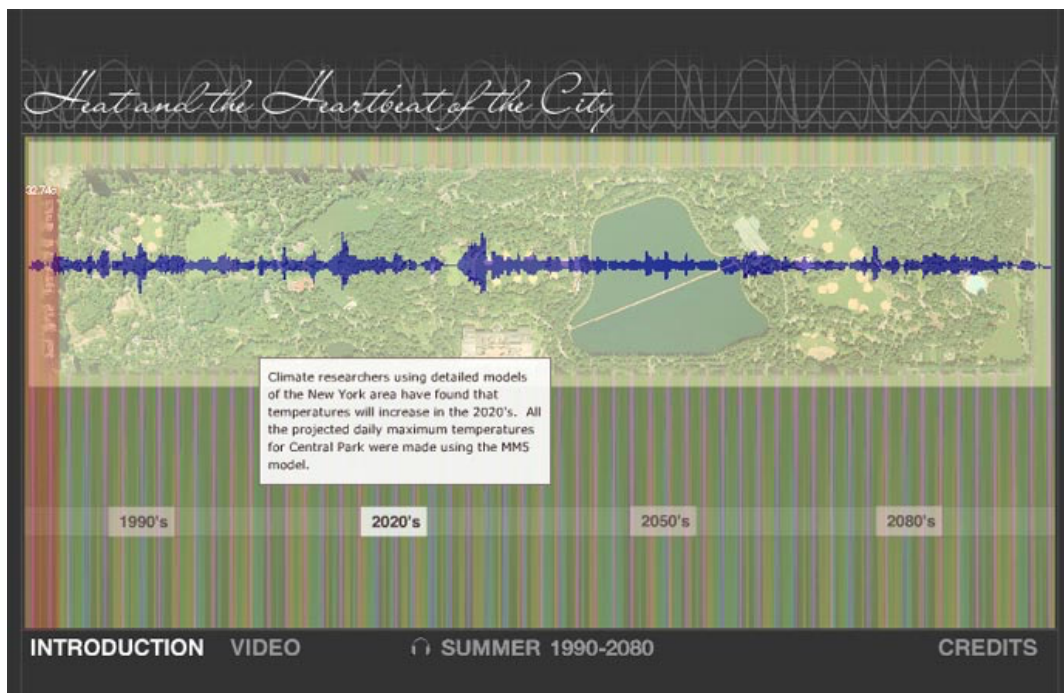


Figura 4: *Heat and The Heartbeat of the City* (A. Polli, 2004) - landviews.org

trasferimento di informazioni in tempo reale; dall'altro l'interesse verso gli aspetti ecologici e la curiosità verso altre modalità di fruizione, come ad esempio l'interfaccia web²⁴ proposta nell'opera di Polli (Fig. 4).

1.3. Reti wireless, radio e soundscape composition

Il mezzo tecnologico su cui il mio studio si concentra maggiormente sono le reti *wireless* e nello specifico quelle “WLAN” (*Wireless Local Area Network*), un tipo di reti che si propagano principalmente per via di onde radio (RF) a bassa potenza, nella banda di frequenze che si aggira intorno ai 2.45 GHz e la cui portata massima varia tipicamente dai

²⁴ Interfaccia web: infrastruttura digitale che consente agli utenti di interagire con i servizi, i dati e le applicazioni attraverso un browser Internet.

20 ai 100 metri²⁵. Il mio interesse nell'esplorare le potenzialità di questo mezzo nasce soprattutto dalla necessità di mettere in comunicazione due punti nello spazio e più precisamente un ambiente interno con uno esterno inoltre, l'enorme vantaggio viene dato dall'essere una tecnologia alla portata di tutti, facilmente accessibile e relativamente economica²⁶. Un altro aspetto per cui collego l'interesse verso questo mezzo a quello della progettazione di strumenti musicali elettronici, è stata la comparsa dei microcontrollori²⁷ Wi-Fi che permettono la progettazione di sistemi *embedded*²⁸ connessi alla rete e di *smart devices*²⁹, aprendo la porta a nuovi scenari possibili nell'ambito delle tecnologie musicali. Il fascino che i mezzi di comunicazione "senza fili" suscitano in me è probabilmente dovuto all'idea di poter inviare un messaggio lontano, come avveniva in *What Hath God Wrought?*. Tuttavia, un aspetto per cui la ricerca portata avanti in *Radio Concreta* differisce dall'uso delle reti che viene fatto nelle installazioni citate in precedenza, è l'allontanarsi dall'approccio della sonificazione in favore del concetto di *soundscape* (paesaggio sonoro) che si trasmette e si ascolta attraverso la rete: un significato che rimanda più direttamente all'idea di radio, intesa come trasmissione di segnali sonori a distanza.

²⁵ Cfr. <https://web.archive.org/web/20070423185540/http://wlan.interfree.it/index.htm>

²⁶ Cfr. <https://wndw.net/>

²⁷ Le unità microcontrollore (o MCU) sono essenzialmente dei piccoli computer contenuti all'interno di un singolo *chip* e sono progettati per gestire attività specifiche all'interno di un sistema integrato senza richiedere un sistema operativo complesso. Cfr. <https://www.ibm.com/it-it/think/topics/microcontroller>

²⁸ Un sistema *embedded* (o integrato) identifica tutti quei sistemi elettronici di elaborazione a microprocessore progettati appositamente per un determinato utilizzo (*special purpose*) ovvero non riprogrammabili dall'utente per altri scopi. Cfr. https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_embedded

²⁹ Con il termine tecnologia *smart* si fa riferimento all'integrazione di tecnologie di calcolo e telecomunicazione in altre tecnologie che precedentemente non avevano questa capacità. Ciò che rende una tecnologia *smart* è a sua capacità di comunicare e lavorare con altre tecnologie connesse e consentire funzioni automatiche o adattive così come accessibilità da remoto e controllo da qualsiasi luogo. Cfr. <https://oit.williams.edu/ats-posts/what-is-smart-technology/>

Nel corso del XX secolo, lo sviluppo tecnologico legato alla diffusione della radio³⁰ è stato determinante non solo per la nascita della musica elettronica ma anche per nuovi modi di pensare e concepire il suono. Non è un caso che i nuovi processi di ricerca musicale in campo tecnologico ebbero inizio all'interno degli studi di fonologia nelle principali stazioni radiofoniche europee: prime fra tutte Parigi e Colonia (Galante 2000: 17). Dei due pensieri musicali³¹, quello a cui fa riferimento il titolo dell'installazione, è la “*musique concrète*” proposta da Pierre Schaeffer:

Noi abbiamo chiamato la nostra musica "concreta", poiché essa è costituita da elementi preesistenti, presi in prestito da un qualsiasi materiale sonoro sia rumore che musica tradizionale. Questi elementi sono poi composti in modo sperimentale mediante una costruzione diretta che tende a realizzare una volontà di composizione senza l'aiuto, divenuto impossibile, di una notazione tradizionale³².

La differenza sostanziale con l'approccio di Schaeffer e l'elemento che mette in discussione la sua concezione di musica concreta all'interno di questa tesi, sono rappresentati dal fatto che la “composizione” che si genera in *Radio Concreta*, è il risultato di come la ripresa³³ del paesaggio sonoro viene elaborata e trasmessa dalla rete: non si tratta del prodotto di una volontà compositiva o di un'organizzazione del materiale, bensì è una restituzione del suono, “frammentata”³⁴ dal mezzo di trasmissione stesso.

³⁰ Radio intesa come mezzo di comunicazione.

³¹ Ci si riferisce alla musica concreta a Parigi e a alla musica elettronica seriale a Colonia.

³² A. Moles, *Les musiques expérimentales*, Cercle d'art contemporain, Zurich, 1960 (Galante, 2000: 42).

³³ Ripresa si riferisce all'acquisizione del suono tramite tecniche di “ripresa microfonica”.

³⁴ L'uso del termine fa riferimento alla modalità in cui l'informazione viaggia nella rete ossia, scomposta in “pacchetti”. Cfr. [https://it.wikipedia.org/wiki/Pacchetto_\(reti\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Pacchetto_(reti))

Nel tentativo di descrivere l'esperienza d'ascolto che si ha nel fruire l'installazione, si trova più coerenza nel far riferimento all'idea di *soundscape composition*³⁵, una forma di composizione elettroacustica in cui, a differenza di quelle che trattano i suoni ambientali come materiale di partenza su cui effettuare un'estensiva manipolazione sino a renderli irriconoscibili, il contesto ambientale di appartenenza viene invece preservato e valorizzato dal compositore, il cui intento può essere anche quello di aumentare la consapevolezza dell'ascoltatore rispetto ai suoni dell'ambiente. Mentre l'uso di materiali concreti³⁶ lascia inalterato l'ambiente, limitandosi ad estrarre i suoi elementi, la *soundscape composition* è in grado di cambiare la relazione fra ascoltatore e paesaggio sonoro, diventando un atto sociale, politico e artistico (Truax 1984 : 207).

1.4. Paesaggio sonoro e fragilità della comunicazione

La diffusione della radio non è stata solamente un fattore tecnologico determinante per l'esplorazione delle possibilità del suono, ma anche il fenomeno ad influire maggiormente sul cambiamento della percezione del paesaggio sonoro (Mocchi 2020: 129). A partire dalla rivoluzione industriale fecero comparsa moltissimi suoni nuovi che finirono per oscurare molti altri suoni dell'uomo e della natura; questa condizione andò a peggiorare ulteriormente con la comparsa della rivoluzione elettrica, in particolar modo con la possibilità offerta dalle tecnologie, di impacchettare il suono e trasmetterlo attraverso il tempo e lo spazio. La frattura che viene a crearsi tra un suono originale e la sua trasmissione

³⁵ *Soundscape composition*: forma di composizione elettroacustica sviluppata alla Simon Fraser University e altrove, caratterizzata dalla presenza di suoni ambientali e loro contesto riconoscibili, con l'obiettivo di rievocare associazioni, ricordi e l'immaginazione dell'ascoltatore rispetto al paesaggio sonoro. <https://www.sfu.ca/~truax/scomp.html>

³⁶ Termine per indicare i materiali sonori preesistenti di cui parlava Schaeffer a proposito di musica concreta.

o riproduzione elettroacustica, è stata definita da Schafer con il termine *schizophonia*³⁷ e viene considerata la causa principale di questo cambiamento di percezione. La sovrabbondanza di suoni in cui si è immersi e la presenza di troppa informazione acustica, fa sì che soltanto una piccola parte di questa possa essere percepita con chiarezza (Schafer 1985: 105). Questa degradazione del paesaggio sonoro, che Schafer definisce *lo-fi*³⁸, è una condizione che si riscontra soprattutto nelle città e a cui non ci si può sottrarre quando si inizia ad esplorare acusticamente lo spazio urbano.

Durante le fasi di ricerca in cui si sono sperimentate le potenzialità degli strumenti tecnologici³⁹, ho riflettuto sul fatto che le reti *wireless* possono essere considerate a loro volta parte integrante del paesaggio, seppur in maniera invisibile. Per quanto questa affermazione possa sembrare contraddittoria o addirittura scontata, ci si può invece sorprendere di quanto la nostra esperienza di vita quotidiana sia condizionata dalla presenza di radiazioni elettromagnetiche⁴⁰, generate per esempio da radio, televisione, telefoni cellulari, forni a microonde e molti altri oggetti di uso comune. Un'artista che si è occupata di rendere udibili questi fenomeni, attraverso un processo definito da Polli «*real-time audification*» è Christina Kubisch che dal 2003 porta avanti la serie di installazioni dal titolo *Electrical Walks*⁴¹. Ai partecipanti vengono fatte indossare delle cuffie senza fili, costruite appositamente per amplificare e rendere udibili i campi elettromagnetici, attraverso le quali

³⁷ (schizofonia) termine derivante dal greco *schizo*, separazione e *phoné*, voce, suono. Il termine compare in *The New Soundscape* per indicare la frattura esistente tra un suono originale e la sua riproduzione elettroacustica (Schafer 1985: 374)

³⁸ abbreviazione inglese di *low-fidelity* (bassa fedeltà) viene usata per indicare un rapporto segnale/rumore insoddisfacente. Applicato allo studio del paesaggio sonoro, un ambiente *lo-fi* è un ambiente in cui i segnali sono così numerosi da sovrapporsi, causando mancanza di chiarezza ed effetti di mascheramento. (Schafer 1985: 371)

³⁹ Ci si riferisce nello specifico all'uso di microcontrollori Wi-Fi e reti *wireless* locali (WLAN)

⁴⁰ Cfr. https://it.wikipedia.org/wiki/Radiazione_elettromagnetica

⁴¹ Cfr. <https://electricalwalks.org/>

sono invitati ad esplorare lo spazio urbano (Fig. 5). Kubisch ha scoperto che nonostante la *palette* di materiali elettromagnetici vari da luogo a luogo, le vibrazioni in se sono onnipresenti e afferma che «sistemi di illuminazione, sistemi di comunicazione wireless, radar, dispositivi antifurto, camere di sorveglianza, telefoni cellulari, computer, cavi del tram, sistemi di navigazione, internet senza-fili, insegne al neon, reti di trasporto pubblico, ecc. creano dei campi elettrici come se fossero nascosti sotto a un mantello, ma incredibilmente presenti»⁴².



Figura 5: *Electrical Walks* - foto: Christina Kubisch / Pieter Kers

Mettersi “in ascolto” di un paesaggio, significa per me creare un legame più profondo e diretto con tutti gli elementi che ne fanno parte. In *Radio Concreta*, il senso di posizionare dei microfoni in uno spazio urbano, e più precisamente in corrispondenza di aree verdi, piante o alberi, è il tentativo di prendere consapevolezza verso i suoi abitanti, in senso più largo. Per rispondere all’esigenza tecnica di creare un collegamento radio⁴³ fra due punti

⁴² Andrea Polli, *Soundscape, sonification, and sound activism*, in «AI & Soc», 27 (2012), pp. 257–268.

⁴³ Collegamento radio inteso più genericamente come trasmissione di un segnale udibile.

nello spazio, le reti *wireless* locali non sono l'unico mezzo possibile anzi, sono probabilmente il peggiore: esistono, per esempio, delle ricetrasmittenti dalla portata sino a 10 km e altri sistemi più performanti in grado di svolgere il compito in maniera più semplice ed efficace. “Perchè allora usare questo mezzo?” La scelta di usare le reti *wireless* locali non è motivata dal solo interesse verso il mezzo tecnologico in se, bensì dal risultato che si ottiene dalla trasmissione del suono tramite esso. Come accennavo nel capitolo 1.3, in riferimento al concetto di musica concreta, la restituzione del suono che ho definito “frammentata” e che è dovuta al modo in cui il segnale viene digitalizzato⁴⁴ e impacchettato per essere trasmesso attraverso la rete⁴⁵, diventa funzionale alla fruizione del paesaggio sonoro *lo-fi*, inasprendolo, esasperandolo e quindi valorizzandolo secondo i principi della *soundscape composition*. In uno spazio urbano già saturo dalla presenza di suoni e di onde elettromagnetiche, invisibili e inudibili, di cui la rete stessa è parte integrante, «l'illusione di poter comunicare» di cui si era parlato in *What Hath God Wrought?* ritorna ma a parti invertite: adesso è chi ascolta a sperimentare l'illusione di poter ricevere un segnale⁴⁶. Il concetto di fragilità nella comunicazione che *Radio Concreta* mette in luce, non è dovuto solo alla precarietà del mezzo di comunicazione⁴⁷ ma al modo in cui esso trasforma il contenuto del messaggio. L'ascolto che ne deriva diventa così emblema del mondo iperconnesso⁴⁸ in cui la comunicazione avviene in maniera sempre più veloce e stringata, non lasciando spazio alle informazioni più sottili, che finiscono per essere perse.

⁴⁴ Uso il termine in riferimento alla conversione di un segnale, da analogico a digitale che avviene nel processo di acquisizione del suono in un sistema informatico.

⁴⁵ Cfr. <http://labmaster.mi.infn.it/a2/a2169.html>

⁴⁶ Segnale è qui inteso come: “qualsiasi suono verso cui si rivolga l'attenzione in modo particolare” (Schafer 1985: 374).

⁴⁷ Le reti wireless più comuni, specie quelle ad uso privato, hanno una portata limitatissima e sono soggette a numerosi disturbi dovuti all'interferenza con altre reti e dalla presenza di acqua e materiali metallici nel tragitto.

⁴⁸ Che ha un tasso elevatissimo di collegamenti alla rete telematica.

2. Radio Concreta

2.1. Ideazione e progettazione

Radio Concreta è stata concepita per sperimentare nuove forme di ascolto tecnologico e di trasmissione di segnali udibili attraverso l'uso di reti wireless locali. L'idea alla base dell'installazione, nasce con la progettazione di uno strumento elettronico portatile, pensato per essere posizionato in un ambiente all'aperto, con la possibilità di campionare il segnale di un microfono ed inviarlo ad altri dispositivi che condividono la stessa rete. L'obiettivo è quello di poter isolare e trasmettere delle informazioni provenienti dall'ambiente, mettendolo in relazione con l'ascoltatore attraverso un collegamento invisibile. Nella sua prima realizzazione, la fruizione dell'opera è avvenuta tramite la costruzione di una postazione di ascolto in sala, attraverso la quale l'utente poteva collegarsi allo strumento e ascoltare, in tempo reale, il suono catturato da un microfono posizionato in un albero del cortile interno dell'edificio. Il risultato ottenuto è un'esperienza di ascolto del paesaggio sonoro *lo-fi*, esasperato ulteriormente dalla natura precaria del mezzo di trasmissione. In questo capitolo vengono analizzati e discussi, dal punto di vista tecnico, i problemi e le soluzioni adottate nelle varie fasi di realizzazione dell'installazione, dallo sviluppo dello strumento sino all'allestimento dell'opera.



Figura 6: microcontrollore Wi-Fi Xiao ESP32-S3

2.2. Dispositivo di trasmissione

2.2.1. Microcontrollore Wi-Fi

Il prototipo su cui si basa il dispositivo di trasmissione è stato realizzato servendosi della famiglia di microcontrollori Espressif, nello specifico la variante “ESP32-S3” distribuita da Seeed Studio⁴⁹. L’ESP32 è un *System on a Chip* (SoC) a basso consumo energetico, basato su microcontrollore (MCU) con funzionalità Wi-Fi 2.4 GHz e Bluetooth® Low Energy (BLE) integrata. La variante S3 è dotata di microprocessore dual-core (Xtensa® 32-bit LX7) e può essere programmata direttamente dall’ambiente di sviluppo Arduino, all’interno del quale si possono trovare numerose librerie, alcune delle quali rilasciate ufficialmente dalla casa produttrice. Fra le caratteristiche del modello Xiao ESP32-S3 (Fig. 6) troviamo il connettore “ipex” che consente il collegamento di un’antenna 2.4 GHz esterna e un circuito di ricarica per batterie ai Polimeri di Litio. L’insieme di queste caratteristiche, unite al design compatto e al costo contenuto (circa 5.00 € l’unità), hanno reso questa scheda di sviluppo la candidata ideale per la realizzazione del prototipo.

⁴⁹ Cfr. https://files.seeedstudio.com/wiki/SeeedStudio-XIAO-ESP32S3/res/esp32-s3_datasheet.pdf

2.2.2. Amplificatore microfonico

Dopo aver individuato la scheda di sviluppo, si è proceduto con l'implementazione delle componenti *hardware* a partire dalla progettazione dell'ingresso microfonico. La scheda di sviluppo scelta è dotata di convertitori analogico-digitale (ADC) che operano nel range da 0 a 3.3V con una risoluzione di 12 bit. Per poter ricevere il segnale di un microfono è necessario passare per un circuito di amplificazione che sia capace di fornire alimentazione (nel caso si vogliano utilizzare delle capsule a condensatore), adattare l'impedenza e scalare il segnale nel range consentito dall'ingresso analogico. Per svolgere questo compito è stato individuato l'amplificatore "MAX9814" prodotto dalla Analog Devices⁵⁰: un amplificatore di alta qualità a basso costo, dotato di controllo automatico del guadagno (AGC) e di preamplificatore a basso rumore, con generatore di voltaggio *bias* per microfono a elettrete (Fig. 7).

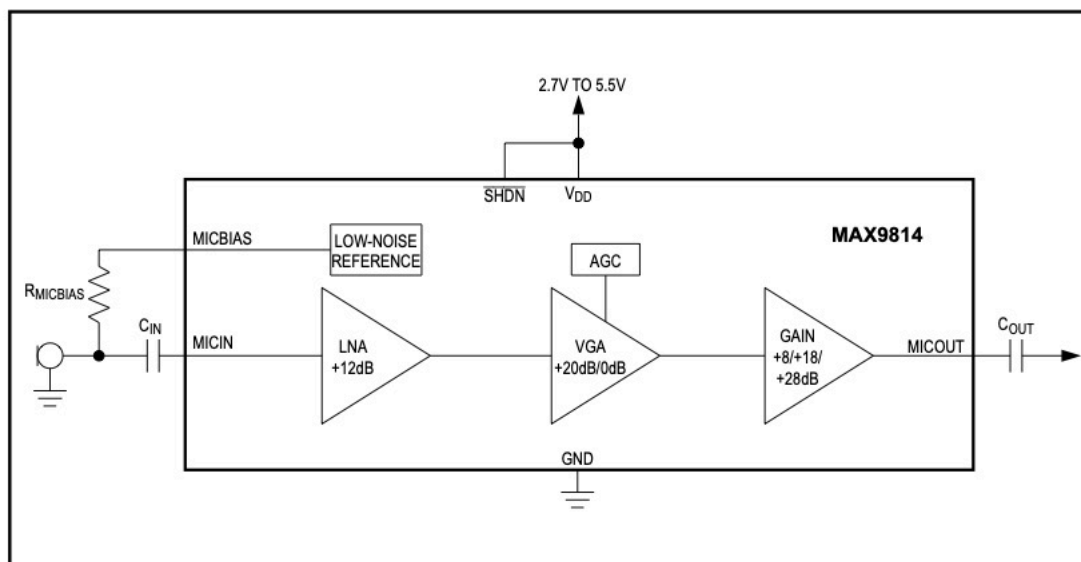


Figura 7: blocco semplificato amplificatore MAX9814

⁵⁰ Cfr. <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max9814.pdf>

Il circuito integrato è disponibile singolarmente oppure nel formato di modulo “*breakout*” distribuito da Adafruit (al quale si sono susseguiti numerosi cloni). Il vantaggio di utilizzare un modulo come questo (Fig. 8) è quello di avere un circuito pronto all’uso che consente sia la configurazione manuale delle impostazioni (Guadagno, rapporto Attacco/Rilascio) sia il montaggio su *breadboard* in fase di prototipazione. Il modulo è inoltre dotato di capsula microfonica *electret* che in questo caso, è stata rimossa e sostituita con una presa del tipo mini-jack da 3,5 mm per consentire il collegamento di microfoni esterni.



Figura 8: modulo Adafruit MAX9814

2.2.3. Batterie e ricarica

Uno dei vantaggi della scheda di sviluppo Xiao ESP32-S3 è l’integrazione di un circuito di ricarica, accessibile attraverso dei *pad* esposti nella parte inferiore della PCB, in cui è possibile saldare i due terminali della batteria (positivo e negativo). Le batterie supportate sono del tipo a Polimeri di Litio (“lipo” o “lipoly”) di tensione nominale di 3.7V. Si tratta di batterie ampiamente utilizzate nella realizzazione di dispositivi mobili e facilmente reperibili in diversi formati a seconda della capacità e delle dimensioni richieste, tuttavia per poter scegliere il formato corretto, è necessaria un’attenta lettura delle caratteristiche tecniche del circuito e dei requisiti di ricarica specifici della batteria. Nel *datasheet* è riportata la capacità totale (espressa in mAh - milli-amperora) e la modalità di ricarica che

può avvenire a corrente costante oppure a voltaggio costante. Poiché la scheda ha un consumo energetico dichiarato di circa 100 mA in modalità Wi-Fi attiva e fornisce una corrente di ricarica massima di 100 mA, per la realizzazione del prototipo è stata individuata la batteria “GeB 801454” (Fig. 9) dalla capacità di 580 mAh. La durata approssimativa della batteria, a carica completa (ed escludendo le altre componenti del circuito), può essere calcolata dividendo la capacità totale per il consumo della scheda: $580 \text{ mAh} \div 100 \text{ mA} = 5,8 \text{ h}$ ossia 5 ore e 48 minuti⁵¹. In maniera analoga, si può fare una stima dei tempi di ricarica, cioè dividendo la capacità totale della batteria per la corrente di ricarica fornita dalla scheda; in questo caso, essendo lo stesso valore (100 mA) l’operazione darà lo stesso risultato e di conseguenza, i tempi di ricarica previsti e la durata approssimativa di una carica, si equivalgono.



Figura 9: batteria GeB 801454

⁵¹ Si precisa che il tempo calcolato tiene conto solo del consumo dichiarato della scheda e non dell’intero circuito che comprende anche il modulo di amplificazione.

2.2.4. Gestione energetica

In condizioni di operatività senza batteria, cioè tramite la porta USB, per spegnere il dispositivo è sufficiente staccare il cavo, di fatto interrompendo la fonte di alimentazione senza che venga arrecato alcun danno al sistema. Contrariamente, una volta collegata la batteria, il sistema non si spegnerà mai fin quando la sua carica non si sarà esaurita, causando inoltre un significativo crollo delle prestazioni in prossimità del suo arresto. Per ovviare a questo problema il microcontrollore può operare in maniera limitata secondo delle modalità di risparmio energetico denominate “*Sleep modes*”. Fra le diverse modalità possibili una delle più efficaci è la “*Deep Sleep*”: questa modalità disattiva il processore principale e tutte le periferiche, ad eccezione del coprocessore ULP (*Ultra Low Power*) e del controller RTC (*Real Time Clock*). Queste due componenti operano nel minor consumo energetico possibile e si occupano esclusivamente di monitorare la “sorgente di risveglio” (*Wakeup source*), definita in fase di programmazione, in questo caso un *pin* specifico al quale è stato collegato un interruttore tattile del tipo “momentaneo”. In questa modalità, la scheda Xiao ESP32-S3 ha un assorbimento dichiarato di $14\mu\text{A}$ ⁵² per cui, ripetendo il calcolo precedente, si ipotizza una durata della batteria addirittura di diversi anni: $580\text{ mAh} \div 0.014\text{ mA} = 41428,57\text{ h}$ ossia 1726 giorni, 4 ore e 34 minuti, fermo restando che questa tipologia di accumulatori non possono essere scaricati completamente né mantenere la carica per tempi così lunghi, senza subire danni irreversibili. Sebbene la modalità *sleep* consente di mettere il microcontrollore a riposo e risparmiare significativamente energia, questo metodo è efficace solamente se tutte le componenti del circuito vengono disattivate. Nello specifico, essendo il modulo amplificatore alimentato a sua volta dalla batteria, è indispensabile che anche esso venga disattivato in modo da non assorbire corrente quando il microcontrollore non è in uso. Molti circuiti integrati hanno un *pin* dedicato alla loro attivazione, solitamente

⁵² Cfr. https://wiki.seeedstudio.com/xiao_esp32s3_getting_started/

indicato nella piedinatura come EN (*chip enable*) o SHDN (*Shutdown*). Nel caso del modulo MAX9814, questo pin è collegato direttamente all'alimentazione VCC, di conseguenza l'unico modo possibile per disattivarlo è interrompere l'alimentazione del circuito intero. Per risolvere il problema si è deciso di ricorrere ad un regolatore di tensione esterno, del tipo LDO (*Low Drop Out*) sviluppato appositamente per applicazioni a batteria e controllabile direttamente dal microcontrollore attraverso un pin digitale. Il modello di regolatore individuato è il "AP2112K-3.3TRG1" prodotto dalla Diodes⁵³, nella versione a tensione d'uscita fissa di 3.3V. Nel diagramma (Fig. 10) viene illustrato il circuito utilizzato per la gestione dell'alimentazione: la batteria alimenta sempre sia il microcontrollore che il regolatore di tensione; il pulsante controlla lo stato del microcontrollore (modalità *Sleep* e risveglio); l'amplificatore riceve l'alimentazione tramite il regolatore, che viene attivato dal microcontrollore a seconda del suo stato.

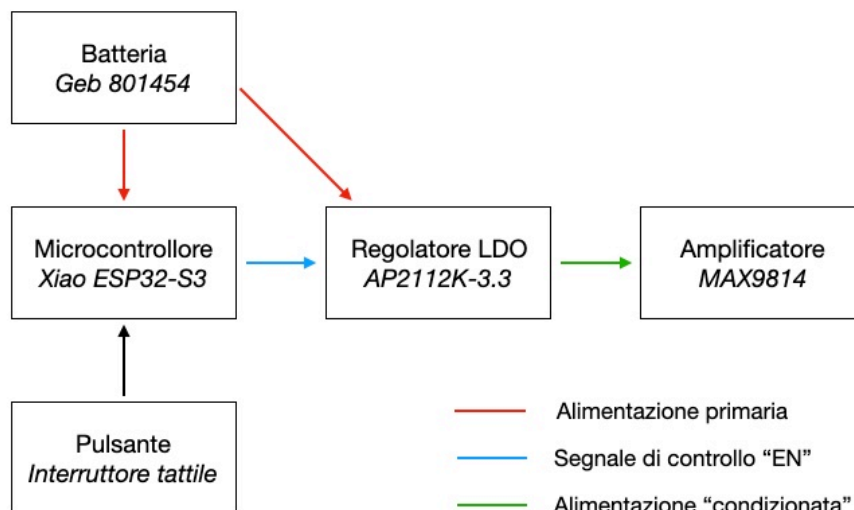


Figura 10: diagramma gestione energetica

⁵³ Cfr. <https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP2112.pdf>

2.2.5. Sviluppo del firmware

Il firmware del dispositivo è stato programmato nell'ambiente di sviluppo Arduino e si basa sul riadattamento dell'applicazione "ESP32 WiFi Microphone - Rev 1.2" sviluppata da M. Mahdi K. Kanan⁵⁴ (WiCardTech Engineering Group). L'applicazione consiste nel campionare il segnale di un ingresso analogico e codificarlo in tempo reale all'interno di una pagina web HTML, come se fosse un file audio formato ".WAV". Per compiere questa operazione, il microcontrollore si connette al Wi-Fi e si comporta come un server locale accessibile da tutti i dispositivi all'interno della stessa rete. La parte di codice che riguarda la gestione energetica del dispositivo, ossia la modalità *sleep*, si basa invece sul controller gesturale PALM-01, sviluppato da Václav Peloušek⁵⁵. Per agevolare la revisione e la modifica, lo *sketch* (codice Arduino) è stato organizzato in due file separati che si occupano rispettivamente del funzionamento principale del dispositivo (definizioni, funzioni, *setup*, *main loop*, ecc.) e della gestione dello *streaming* audio (campionamento, codifica, pagina HTML, ecc.); Il codice sorgente è stato pubblicato in un *repository online* (vedi appendice p. 46). Il comportamento del dispositivo è riassumibile secondo i seguenti stati (fig. 11):

1. **Primo avvio** (o "risveglio" dalla modalità *sleep*): il LED lampeggia brevemente, il dispositivo verifica lo stato delle sue periferiche (lettura dei pin), effettua una scansione delle reti Wi-Fi e avvia il *server locale*⁵⁶.
2. **Connessione alla rete**: si connette alla rete specificata nello *sketch* (nome rete "SSID" e password) e ottiene un indirizzo IP assegnatogli dal *router*; in caso di mancata connessione, la scansione delle reti viene ripetuta ciclicamente e il LED si accende in maniera fissa.

⁵⁴ Cfr. <https://wicard.net>

⁵⁵ Cfr. <https://github.com/vaclav-bastl/PALM01>

⁵⁶ *Server*: dispositivo fisico o sistema informatico di elaborazione e gestione del traffico di informazioni che fornisce un servizio ad altre componenti (tipicamente chiamate *client*) che ne fanno richiesta, tipicamente attraverso una rete.

3. **In attesa del *client*:** se la connessione alla rete locale è stata stabilita (LED spento) e il *server locale* è libero, il dispositivo resta in attesa di una richiesta di accesso da parte del *client*⁵⁷.

4. **Inizio della trasmissione:** la richiesta di accesso al *server* viene accettata e si trasmette la pagina web contenente il *player audio*; da questo momento inizia il campionamento dell'ingresso analogico (a cui è collegato il microfono) che viene codificato in tempo reale all'interno di un *buffer* e inviato al player.

5. **Fine dello streaming:** una volta riempito il buffer (durata prefissata) il dispositivo interrompe il campionamento e ritorna allo stato n. 3; in questo stato l'utente (*client*) può riascoltare il contenuto trasmesso o inviare una nuova richiesta.

6. **Modalità *Sleep*:** tenendo premuto il pulsante per più di 5 secondi, il LED giallo lampeggerà rapidamente, indicandoci che il dispositivo sta entrando nella modalità di risparmio energetico, disconnettendosi dalla rete; tenendo premuto il pulsante per più di un secondo, il dispositivo ritorna al primo stato, in caso contrario rimane in modalità *sleep*.

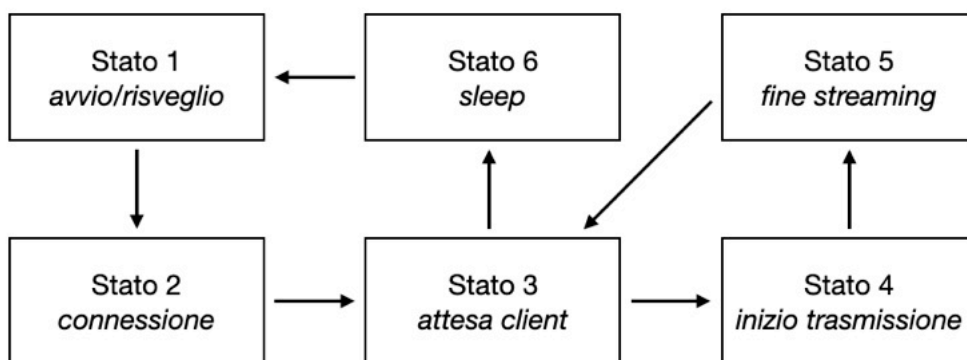


Figura 11: diagramma degli stati del dispositivo

⁵⁷ *Client*: qualsiasi componente *software* (nell'architettura logica di rete *client-server*), presente tipicamente su una macchina *host*, che accede ai servizi o alle risorse di un'altra componente detta *server*.

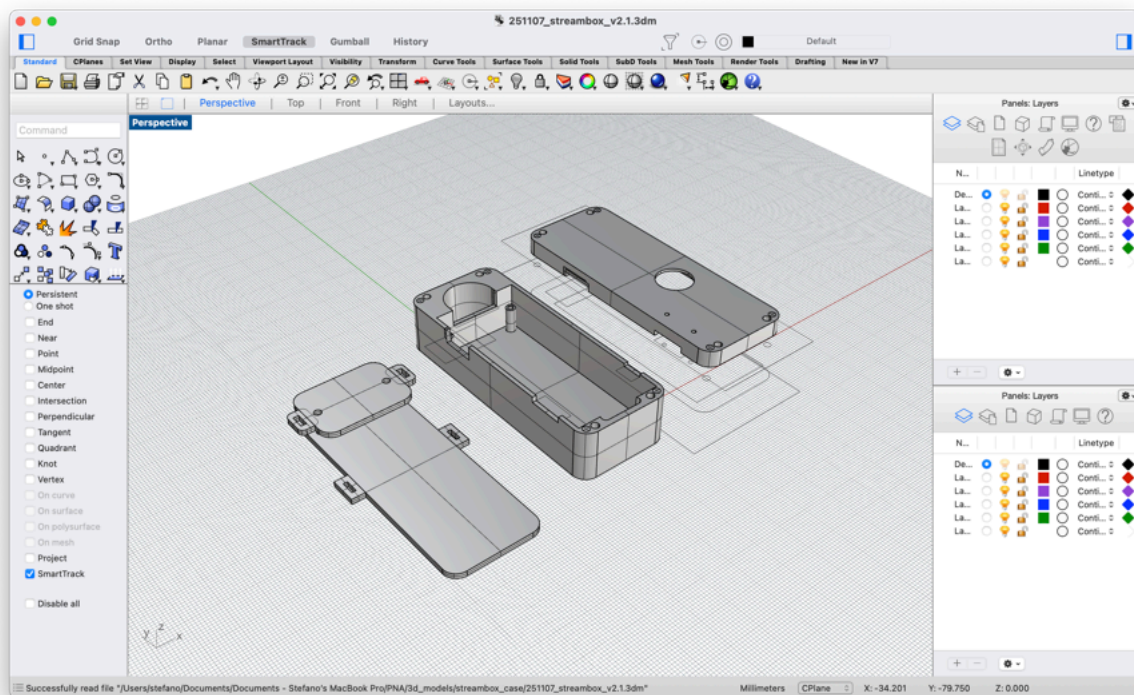


Figura 12: schermata della progettazione del case

2.2.6. Costruzione del prototipo

Il primo prototipo è stato assemblato su una scheda perforata (*perfboard*) dalle dimensioni di 30 x 70 mm sulla quale sono state saldate tutte le componenti del circuito descritte nei paragrafi precedenti. Il diagramma elettronico è disponibile nel *repository* GitHub⁵⁸ e all'appendice (p. 46). Una volta assemblato, l'ultimo passaggio è stato quello di progettare il *case*, ossia il contenitore del dispositivo, tenendo presente che essendo concepito per un ambiente all'aperto, necessita di esser protetto da diversi agenti atmosferici come vento e pioggia. Per la realizzazione del *case*, considerate le dimensioni ridotte del

⁵⁸ Cfr. <https://github.com/stziopa/RadioConcreta>

dispositivo, si è scelto di utilizzare un materiale bioplastico (PLA) attraverso l'uso della stampa 3D. La progettazione è stata fatta con il software di modellazione 3D “Rhino 7” della Rhinoceros® (Fig. 12) e realizzata con una stampante “*entry level*” della Creality, modello Ender 3 V2. Le due parti della scocca (inferiore e superiore) sono tenute insieme da quattro viti del tipo M3, a cui si è aggiunto in seguito un terzo elemento, con la funzione di supporto per il montaggio verticale, tramite l'uso di fascette autobloccanti.

2.2.7. Scelta dei microfoni

In fase di ideazione, si ipotizzava la possibilità di utilizzare diversi microfoni a seconda del luogo in cui l'installazione sarebbe stata ospitata. Fra le varie possibilità la prima prevede l'impiego di un semplice microfono “a contatto” realizzato mediante un disco piezoelettrico, collegato direttamente all'ingresso del modulo amplificatore. Pur trattandosi di un modulo specifico per microfoni a elettrete, in seguito ad alcuni test si è verificato il corretto funzionamento del *piezo* che è stato successivamente integrato all'interno della scocca del dispositivo. La seconda possibilità è quella di utilizzare un microfono a condensatore *electret*: questo tipo di microfono è quello per il quale il modulo di amplificazione è stato progettato ed è quindi quello che dovrebbe performare meglio, in termini di risposta in frequenza e rapporto segnale/rumore. La terza possibilità, verificata ma che non ha prodotto risultati soddisfacenti, è quella di utilizzare un microfono del tipo “*pick-up coil*” usato per captare i campi elettromagnetici, una pratica sempre più diffusa grazie al lavoro di Christina Kubisch citato in precedenza, e al dispositivo *open-source* “Elektrosluch”⁵⁹ realizzato dall'artista e *field recordist* Jonaš Gruska (LOM). Nel caso specifico dell'allestimento realizzato al conservatorio di Sassari, a seguito del sopralluogo si

⁵⁹ <https://makezine.com/projects/weekend-project-sample-weird-sounds-electromagnetic-fields/>

è scelto di utilizzare la seconda possibilità, ossia il microfono *electret*. Per migliorare la qualità della ripresa è stato utilizzato il modello di capsula “AOM-5024L-HD-F-R” della PUI Audio Inc.⁶⁰, che si caratterizza per una sensibilità di -24 dB, un rapporto segnale/rumore di 80 dB e una risposta in frequenza nel *range* da 20 Hz a 20.000 Hz. Poiché il microfono scelto ha una figura polare del tipo omni-direzionale, si è deciso di intervenire, dal punto di vista fisico-acustico, integrando un profilo “a corno” allo scopo di conferire una direzionalità al microfono, sacrificando la risposta nella regione delle frequenze gravi ed enfatizzando quella nella regione delle frequenze acute (Olson 1940: 30-32). Il modello a cui ci si è ispirati è l'accessorio “Ultrasonic Horn” della LOM⁶¹ realizzato a sua volta tramite la stampa 3D.

2.3. Postazione di ricezione

2.3.1. Rete wireless locale

Per realizzare l'installazione e più specificatamente il collegamento con il dispositivo posizionato all'aperto, è necessario creare una rete *wireless* locale in grado di coprire la distanza fra il punto di trasmissione e quello di ricezione. Il tipo di rete utilizzata appartiene alla famiglia definita dallo standard IEEE 802.11, operante nel *range* di frequenze radio dell'ordine dei 2.4 GHz, suddivise in 11 canali di trasmissione larghi 22 MHz e distanti 5 MHz ciascuno. La portata del segnale, ossia la distanza massima che può raggiungere, dipende dalla potenza dell'antenna (certificata dal costruttore), dalla larghezza di banda (più stretta restringe il raggio d'azione ma aumenta la distanza) e dalla presenza di ostacoli lungo il tragitto: gli elementi metallici (presenti tra l'altro nel cemento armato) e l'acqua, presente

⁶⁰ <https://puiaudio.com/file/specs-AOM-5024L-HD-R.pdf>

⁶¹ <https://store.lom.audio/products/mikrousi-ultrasonic-horn?variant=53195942232398>

all'interno degli alberi e nel legno in generale, nonché negli agenti atmosferici (pioggia, nebbia, ecc.), sono i principali concorrenti all'assorbimento delle onde elettromagnetiche, di fatto impedendone il passaggio⁶². Per creare una nuova rete e massimizzare la sua portata è fondamentale studiare il tragitto che il segnale deve percorrere (prestando attenzione ai potenziali ostacoli) ed evitare la sovrapposizione con altre reti, scegliendo un canale di trasmissione che non sia stato già occupato. Fortunatamente, gli *access point* di ultima generazione sono capaci di gestire autonomamente e in maniera dinamica, sia la scelta del canale che la larghezza di banda in funzione del dispositivo che si vuole raggiungere. Nel caso specifico di questa installazione è stato scelto di utilizzare l'*access point wireless* "EAP-110 Outdoor" del marchio Omada⁶³ (TP-Link) dalla portata massima di 200 metri in condizioni ideali. L'antenna deve essere posizionata all'esterno dell'edificio (o in prossimità di una finestra che guarda verso il dispositivo di trasmissione) e collegata a un *router* che si occupa di gestire il traffico assegnando gli indirizzi IP ai vari dispositivi collegati. L'alimentazione e il collegamento dall'*access point* al *router* (modello "TP-Link Archer C-80") avviene tramite un singolo cavo di rete "CAT5" (o superiore) sfruttando la tecnologia "PoE" (*Power over Ethernet*) come rappresentato in figura 13.

2.3.2. Connessione fra client e server

Nel linguaggio delle reti informatiche, il termine *client* si usa per indicare un computer (o dispositivo) che riceve un'informazione da un *server*; in questo caso dal microcontrollore descritto nel cap. 2.2.1. All'interno della rete locale, qualsiasi dispositivo in grado di raggiungere il *server*, può diventare un suo *client*. Secondo questa logica, l'utente potrebbe

⁶² *Wireless Networking in the Developing World*, second edition, s.l., Hacker Friendly LCC, 2007, pp. 9-26

⁶³ Cfr. <https://support.omadanetworks.com/it/document/4123/>



Figura 13: schema della rete wireless locale

fruire l'installazione direttamente dal suo *smartphone* a patto che sia connesso alla stessa rete Wi-Fi e che sia a conoscenza delle “coordinate” del *server* che si vuole raggiungere: è sufficiente digitare il suo indirizzo IP attraverso un qualsiasi navigatore di rete (il browser). Nella pratica, l'operazione non è così semplice perché la libreria “WebServer.h” utilizzata dal microcontrollore ESP32 supporta un solo *client* per volta inoltre, a seconda del browser utilizzato, potrebbero verificarsi problemi di compatibilità nella visualizzazione dei contenuti. Per ovviare a questo problema si è deciso di limitare l'accesso a un solo *client* presente in sala, attraverso il quale l'utente può fruire l'opera. Trattandosi di una fruizione interattiva attraverso la navigazione in una pagina *web*, i dispositivi ideali per svolgere questo compito sono *smartphone* e *tablet* oppure un computer generico. In seguito ad un ragionamento in termine di costi, dimensioni e prestazioni, si è deciso di utilizzare il mini computer “Raspberry Pi 4B” nella versione da 8GB di RAM. Questo modello è basato sul SoC “BCM2711” della Broadcom⁶⁴ che contiene un processore (CPU) *quadcore* ARM Cortex-A72 (64-bit), un processore grafico (GPU) VideoCore VI e supporta interfacce ad

⁶⁴ Cfr. https://wikidevi.wi-cat.ru/Broadcom_BCM2711

alta performance come USB 3.0 e Gigabit Ethernet. Il mini computer viene alimentato tramite USB C, ha due porte mini HDMI che supportano una risoluzione sino a 4K (codifica H.265), una presa RJ45 (Ethernet) e un'uscita cuffie mini-jack da 3,5 mm. Grazie alle dimensioni contenute, il computer può essere facilmente installato su un piano orizzontale, verticalmente a parete o addirittura nascosto dietro pannelli o all'interno scatole apposite; ma il vantaggio principale nell'usare un dispositivo *special purpose* come il Raspberry, piuttosto che un generico computer, smartphone o tablet, è quello di poter configurare il sistema appositamente per svolgere un compito ben preciso, come avviene nei microcontrollori, eliminando tutti i passaggi intermedi che sarebbero necessari quando si usa un sistema *general purpose*. Il collegamento fra i dispositivi nella rete locale è illustrato nella figura 14.

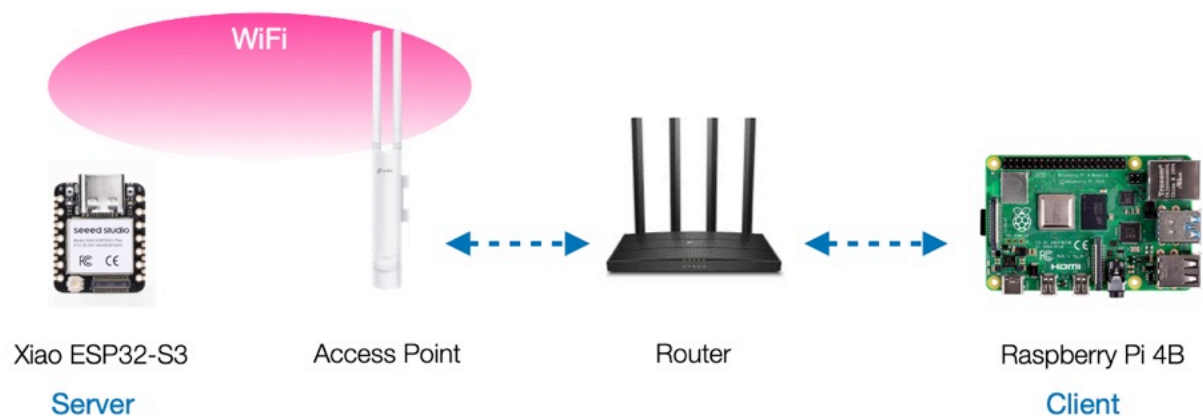


Figura 14: diagramma connessione fra *Client* e *Server*

2.3.3. Sistema Operativo

Come descritto nel paragrafo precedente, l'utente fruisce l'opera interagendo con la pagina web che il server (ESP32) trasmette al client (Raspberry Pi). La pagina web viene visualizzata attraverso il *browser*, ma cosa succederebbe se l'utente chiudesse accidentalmente la pagina o aprisse nuove schede? In un contesto espositivo, specie per le installazioni che devono funzionare continuativamente e soprattutto per quelle basate su interazioni di questo tipo, diventa indispensabile limitare l'accesso alle funzioni strettamente necessarie. La soluzione adottata per questo lavoro è stata quella di ricorrere al sistema operativo *open-source* "FullPage OS" sviluppato da Guy Sheffer e pensato appositamente la fruizione di contenuti multimediali sul web. FullPage OS è una distribuzione non ufficiale di Raspberry Pi che consente di mostrare una o più pagine web a tutto schermo all'avvio. Questa modalità operativa è conosciuta anche con il nome di "Kiosk mode" ed è pensata per limitare l'uso del dispositivo da parte dell'utente finale, costringendolo a navigare all'interno di una pagina prefissata. La distribuzione utilizza come navigatore di sistema "Chromium", un progetto *open-source*⁶⁵ su cui si basano anche il diffusissimo Google Chrome e Microsoft Edge: si tratta dunque di un *browser* altamente personalizzabile e compatibile con la maggior parte delle applicazioni web. Per montare il sistema operativo basta scaricare il file di immagine dalla *repository*⁶⁶ e installarlo nella scheda sd utilizzando l'*utility* ufficiale "Raspberry Pi imager". Una volta installato, la pagina di default viene impostata aprendo il file di testo "fullpageos.txt", presente nella *root directory* della scheda sd e sostituendo il contenuto con l'indirizzo IP del server a cui puntare, per esempio: "http://192.168.1.80". Nel caso dell'installazione, l'indirizzo IP del server (ESP32) viene assegnato automaticamente dal *router* al momento in cui si connette

⁶⁵ Cfr. <https://www.chromium.org/chromium-projects/>

⁶⁶ Cfr. <https://github.com/guysoft/FullPageOS>

ed è stato reso statico attraverso le impostazioni del DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*).

2.3.4. Interfaccia utente

La fruizione dell'opera prevede l'interazione con uno schermo in cui viene visualizzata la pagina web contenente il “player audio” necessario per l'ascolto dello *streaming*. Le operazioni possibili da parte dell'utente si riducono al premere *play*, pausa, alzare o abbassare il volume d'ascolto e aggiornare la pagina per effettuare un nuovo collegamento. Per semplificare la fruizione ed evitare la presenza di interfacce sovradimensionate come tastiere e mouse, si è deciso di usare un monitor del tipo “*touch screen*” da 13”. Uno schermo di queste dimensioni consente di essere installato in posizione verticale su una parete o tenuto orizzontalmente su un piano, oltre che a consentire la visione dello schermo non troppo ravvicinata e a più persone contemporaneamente. Il vero e proprio sviluppo dell'interfaccia utente è stato la realizzazione della pagina web ossia l'impaginazione dei controlli e dei contenuti quali testi e ovviamente la cura dell'aspetto grafico. La pagina web che l'utente visualizza si trova nel *server locale* e di conseguenza deve essere importata all'interno dello “*sketch*” Arduino del nostro dispositivo di trasmissione (ESP32). Per semplificare l'aggiornamento dei contenuti senza rischiare di alterare il funzionamento principale del dispositivo, il documento HTML viene caricato sotto forma testuale, in un file dello *sketch* separato, come descritto in 2.2.5. Per velocizzare la progettazione del documento ossia eliminando i tempi dovuti al caricamento del programma nel dispositivo e la verifica del contenuto tramite un computer connesso alla rete, si è deciso di utilizzare degli strumenti disponibili online come il *web editor* della piattaforma “W3 School”⁶⁷ e

⁶⁷ Cfr. <https://www.w3schools.com>

l'ambiente di programmazione "Visual Studio Code"⁶⁸. Il documento è stato infine formattato eliminando le indentazioni, in modo da poter essere inserito all'interno dello *sketch*⁶⁹. In figura 15 viene mostrata la schermata della pagina HTML così come viene visualizzata dall'utente nella postazione di ascolto.

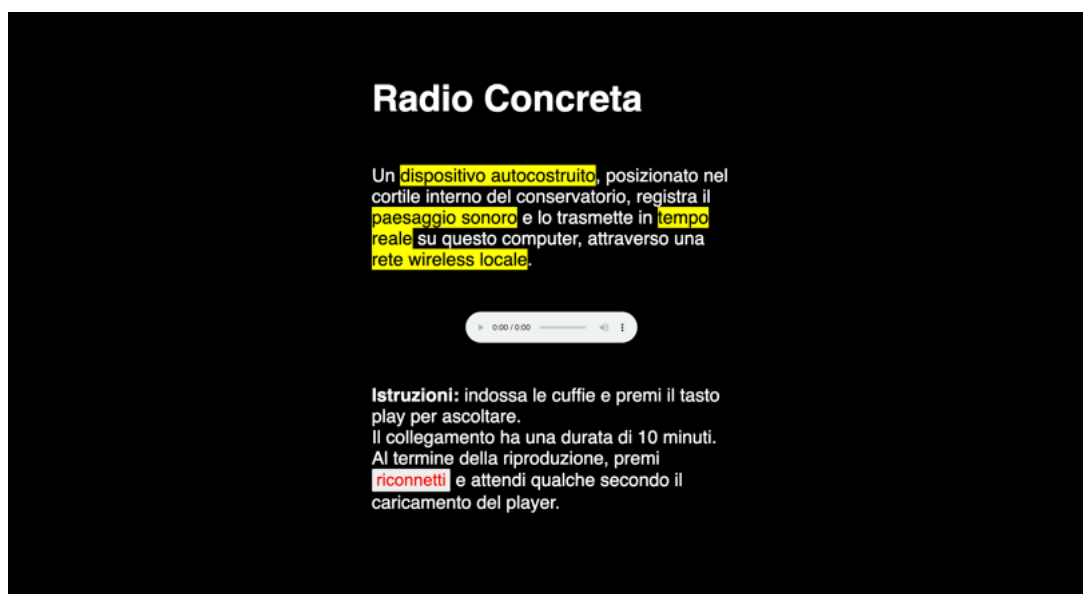


Figura 15: schermata dell'interfaccia utente

2.3.5. Allestimento

Per poter esibire l'installazione è necessario fare due considerazioni: la prima di natura puramente tecnica, ossia misurare le dimensioni degli spazi e testare la portata dell'antenna Wi-Fi; la seconda di natura curatoriale, intesa come allestimento e presentazione dell'opera

⁶⁸ Cfr. <https://code.visualstudio.com/>

⁶⁹ Vedi riga 254 del file "micPage_rev7.ino" (GitHub): <https://github.com/stziopa/RadioConcreta.git>

nello spazio assegnato. Per entrambe le considerazioni è indispensabile poter effettuare un sopralluogo e ragionare sulle soluzioni tecniche ed estetiche da adottare. Nel caso dell'allestimento nel conservatorio di Sassari, lo spazio messo a disposizione dall'organizzazione era un'aula con due finestre che si affacciano su un cortile interno, due lavagne, un pianoforte; si trattava dunque di uno spazio poco neutro e per ovvie ragioni non concepito per la fruizione di installazioni sonore. Essendo l'intento dell'installazione quello di proporre un ascolto del paesaggio sonoro, proveniente dall'esterno dell'edificio, l'allestimento deve poter valorizzare l'esperienza, creando un ambiente accogliente in grado di suscitare l'interesse di visitatori e visitatrici. Per la realizzazione di questo ambiente, si è deciso di proporre la fruizione attraverso delle cuffie, in questo modo l'ascoltatore è portato a isolarsi dallo spazio acustico⁷⁰ della stanza e invitato a partecipare attivamente all'esperienza di ascolto, a partire dal gesto di premere *play*. L'ascolto proposto è fruibile liberamente e trattandosi di un "flusso continuo" non ha un inizio e una fine stabilita tuttavia, per dare un'indicazione a l'ascoltatore, l'interfaccia è stata impostata per uno *streaming* della durata di 10 minuti, al termine dei quali si invita a rinnovare il collegamento premendo un pulsante sullo schermo. Poiché la durata dell'esperienza dovrebbe essere funzionale al tipo di ascolto proposto, si è deciso di includere nell'allestimento due sedute, mentre il display è stato incassato all'interno di una struttura verticale, creando una sorta di "totem" multimediale, realizzato con gli stessi materiali delle sedute (nello specifico pannelli di pioppo multi-strato). La parte visibile dell'installazione, ossia quella attraverso la quale l'utente fruisce l'opera, si presenta come una struttura modulare in legno, facilmente trasportabile e adattabile a diversi spazi espositivi (Fig. 16).

⁷⁰ Spazio acustico (*acoustic space*): il profilo di un suono su di un paesaggio. Lo spazio acustico d'un qualsiasi suono è quell'area in cui questo suono è udibile, prima di cadere al di sotto del livello di rumore ambientale (Schafer 1985: 375).



Figura 16: Radio Concreta - Premio Nazionale delle Arti, XIX edizione, Sassari, 2025

3. Possibili sviluppi

Lo studio presentato in questa tesi, documenta una prima realizzazione dell'opera e va inteso come una ricerca aperta sulle potenzialità del mezzo, sia sul piano tecnico che su quello critico. Dal punto di vista tecnico i prossimi passi riguarderanno il consolidamento del circuito, l'implementazione di una versione stereofonica e lo sviluppo di un prototipo alimentato da fonti energetiche rinnovabili, come ad esempio quella solare, che consentirebbero una maggiore autonomia e una migliore integrazione con lo spazio, anche a livello concettuale. Aver immaginato un allestimento modulare, usando il legno e altri materiali eco-compatibili (grazie anche ai preziosi consigli dell'architetto e amico Claudio Rosa), fa sì che l'opera possa essere facilmente adattata allo spazio ospitante, integrandosi con quest'ultimo. Questa sua caratteristica, consente all'opera di slegarsi da un contesto unicamente artistico e diventare un possibile strumento di indagine del territorio e di sensibilizzazione verso temi di natura ambientale ed ecologica attraverso il paesaggio sonoro, per esempio all'interno di progetti di rigenerazione urbana. Infine, fra le ambizioni del progetto, oltre alla partecipazione ad eventi, mostre, festival, residenze, ecc., mi piacerebbe realizzare una pubblicazione che raccolga i luoghi in cui si sarà intervenuto, accompagnata da schede tecniche e "istruzioni di montaggio", sperando che possa essere fonte di ispirazione e diventare parte di più ampi progetti di sviluppo sostenibile.

Riferimenti bibliografici

Fonti Primarie:

- Baalman, 2022 Marije Baalman, *Composing Interactions*, s.l., V2_, 2022
- Bjørn, 2018 Kim Bjørn, Chris Meyer, *Patch and Tweak*, s.l., Bjooks, 2018
- Galante, 2000 Francesco Galante, Nicola Sani, *Musica Espansa: Percorsi elettroacustici di fine millennio*, s.l. , Le Sfere, Casa Ricordi s.r.l. e LIM Editrice S.r.l., 2000
- Howell, 2004 Wayne Howell, *Rock Solid Ethernet*, s.l., Entertainment Technology Press, 2004
- Mocchi, 2020 Martino Mocchi, *Città di suono_per un incontro tra architettura e paesaggio sonoro*, s.l., LetteraVentidue Edizioni, 2020
- Olson, 1940 Harry F. Olson, *Elements of Acoustical Engineering*, New York, D. Van Nostrand Company Inc., 1940
- Schaeffer, 2025 Pierre Schaeffer, *Alla Ricerca di una Musica Concreta*, s.l., Shake, 2025

- Schafer, 1985 R. Murray Schafer, *Il Paesaggio Sonoro*, s.l., Le Sfere,
Casa Ricordi s.r.l. e LIM Editrice S.r.l., 1985
- Truax, 1984 Barry Truax, *Acoustic Communication*, Norwood, New jersey,
Ablex Publishing Coproration, 1984
- Weibel, 2019 Peter Weibel, *Sound Art: Sound as a Medium of Art*, s.l., ZKM,
MIT press, 2019

Articoli:

- Alexandra Supper, *Singing Data: Sonification and the Relation between Science and Art*,
«Sound Art: Sound as a Medium of Art», s.l., ZKM, MIT press, 2019, pp. 497-499
- Andrea Polli, *Soundscape, sonification, and sound activism*, in «AI & Soc», 27 (2012), pp.
257–268.
- Thomas Hermann, *Taxonomy and Definitions for Sonification and Auditory Diplay*, in
«Proceedings of the 14th international Conference on Auditory Display», Parigi, 24-27
giugno 2008, <http://hdl.handle.net/1853/49960>.

Sitografia: (*ultima consultazione 30.11.2025*)

http://archivio.torinoscienza.it/dossier/onde_radio_2296.html

<http://hdl.handle.net/1853/49960>

<http://labmaster.mi.infn.it/a2/a2169.html>

<https://code.visualstudio.com/>

<https://electricalwalks.org/>

https://files.seeedstudio.com/wiki/SeeedStudio-XIAO-ESP32S3/res/esp32-s3_datasheet.pdf

<https://github.com/guysoft/FullPageOS>

<https://github.com/stziopa/RadioConcreta>

<https://github.com/vaclav-bastl/PALM01>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Pacchetto_\(reti\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Pacchetto_(reti))

https://it.wikipedia.org/wiki/Radiazione_elettromagnetica

https://it.wikipedia.org/wiki/Sistema_embedded

<https://makezine.com/projects/weekend-project-sample-weird-sounds-electromagnetic-fields/>

<https://manifesta.org/about>

<https://oit.williams.edu/ats-posts/what-is-smart-technology/>

https://phd.uniroma1.it/web/site-specific-architecture_-prof-r-bocchi_nS2877IT_IT.aspx

<https://puiaudio.com/file/specs-AOM-5024L-HD-R.pdf>

<https://stanza.co.uk/sonicity/index.html>

<https://store.lom.audio/products/mikrousi-ultrasonic-horn?variant=53195942232398>

<https://support.omadanetworks.com/it/document/4123/>

<https://v2.nl/people/david-rokeby>

<https://web.archive.org/web/20070423185540/http://wlan.interfree.it/index.htm>

<https://wicard.net>

https://wiki.seeedstudio.com/xiao_esp32s3_getting_started/

https://wikidevi.wi-cat.ru/Broadcom_BCM2711

<https://wndw.net/>

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/max9814.pdf>

<https://www.artescienza.info/ita/2006/installazioni.htm>

<https://www.catalannews.com/politics/item/turning-an-old-power-plant-into-catalonias-audiovisual-content-creation-hub>

<https://www.chromium.org/chromium-projects/>

<https://www.diodes.com/assets/Datasheets/AP2112.pdf>

<https://www.ibm.com/it-it/think/topics/microcontroller>

<https://www.landviews.org/articles/heat-ap.html>

<https://www.sfu.ca/~truax/scomp.html>

<https://www.treccani.it/enciclopedia/musica-concreta/>

<https://www.w3schools.com>

46

46

