

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Corso di Laurea in Ingegneria Elettronica

Relazione per la prova finale

***«Sistemi Interattivi di Sonificazione per Installazioni Multimediali.
Uno Studio di Caso: Analisi dell'Interfaccia AQSoundscape per la
Rappresentazione Sonora di Dati Ambientali e suo Utilizzo
nell'Opera “Monitor Yin Yang” della Biennale d'Arte di Venezia»***

Relatore: Prof. Sergio Canazza Targon
Correlatore: Dott. Alessandro Fiordelmondo

Laureando: Simone Turatello
Matricola n.: 2072923

Padova, 22/07/2026

INDICE A BLOCCHI

SONIFICAZIONE

- Definizione
- Cenni di psicoacustica

PROCESSO

- Architettura
- Mapping
- Interpolazione

AQSOUNDSCAPE

- Principio di funzionamento
- Coerenza del risultato sonoro
- Analisi dati ambientali real-time

MONITOR YIN YANG *(BIENNALE DI VENEZIA)*

- Protocollo OSC
- Acquisizione dati
- Ricezione dati
- Interpolazione e spazializzazione

APPLICAZIONI

- Esempi
- Ambiti di applicazione

SONIFICAZIONE

Definizione

La sonificazione è il processo che riceve ed elabora dei dati complessi convertendoli in informazione sonora.

<i>SONIFICAZIONE</i>	<i>SONORIZZAZIONE</i>
Scopo informativo	Scopo commerciale

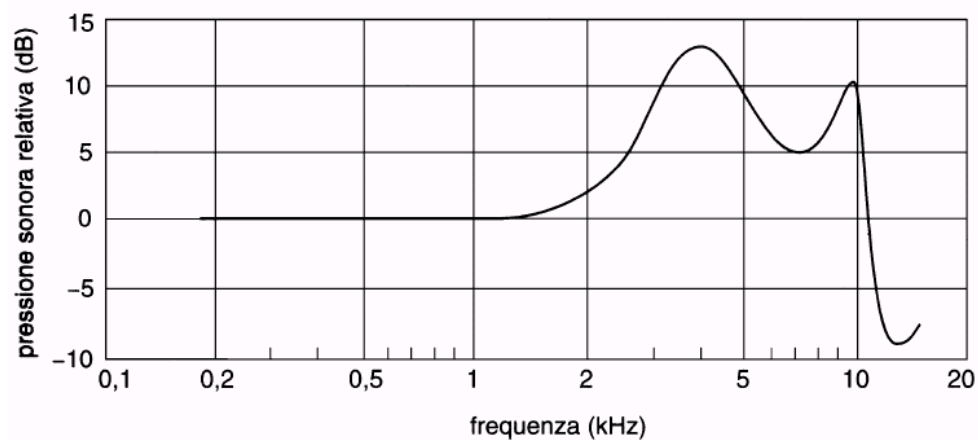
<i>AUDIFICATION</i>	<i>PARAMETER MAPPING SONIFICATION</i>
Sequenza di dati come forma d'onda diretta	Sequenza di dati per pilotare dei parametri

SONIFICAZIONE

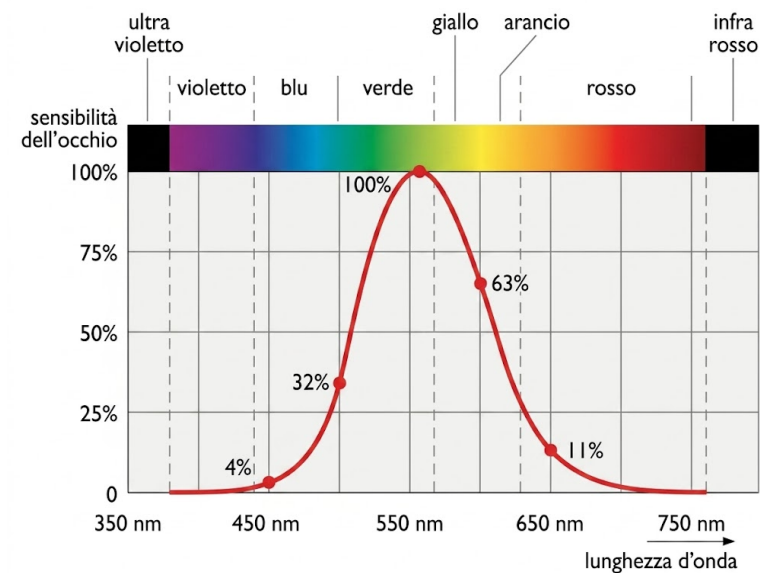
Risoluzione

Capacità di rilevare dei “gap” (brevi interruzioni) di un segnale sonoro o visivo continuo.

UDITIVA	VISIVA
2-5 ms	15-20 ms



RISPOSTA IN FREQUENZA SISTEMA Uditivo



RISPOSTA SPETTRALE SISTEMA VISIVO

SONIFICAZIONE : PROCESSO

Architettura

RICEZIONE

- Sensori IoT
- Web API

ELABORAZIONE

- Normalizzazione
- Vettorizzazione
- Python
- Protocollo OSC

SINTESI

- Sintesi sonora
- MAX/MSP
- Pure Data

INFORMAZIONE

- Spazializzazione
- Combinazione dati/parametri

SONIFICAZIONE : PROCESSO

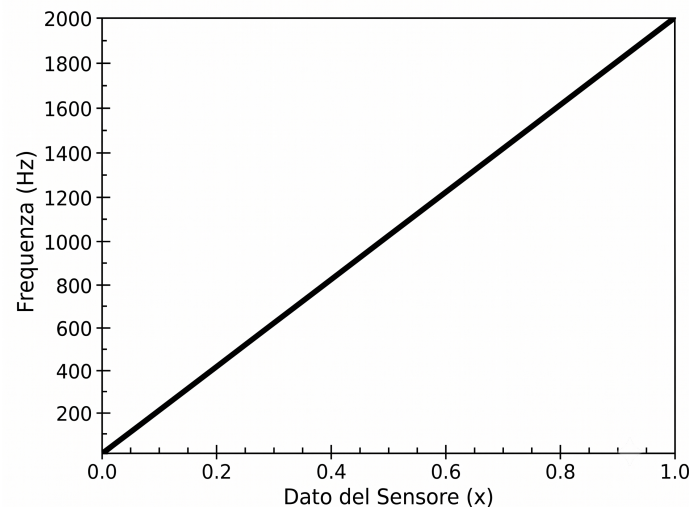
Mapping

Traduzione di un dato $x \in D$ (dominio dei sensori) ad un parametro $y \in A$ (dominio acustico)

LINEARE

Segue l'equazione di una semplice retta.
Inefficiente in campo audio.

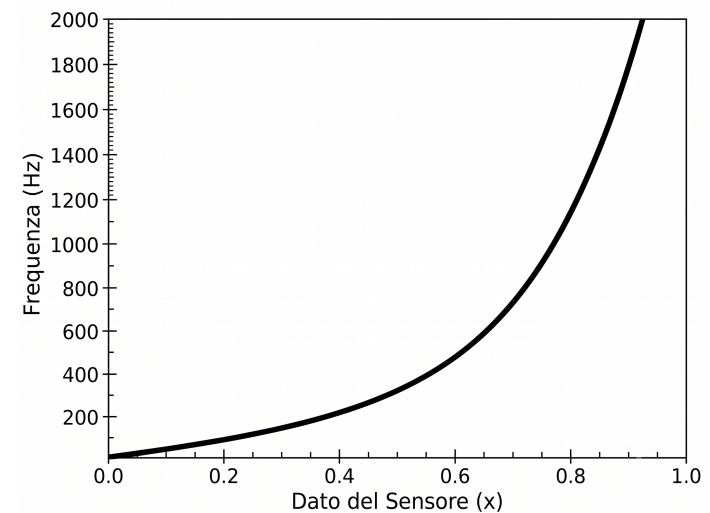
$$y = m \cdot \left(\frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) + q$$



ESPONENZIALE

Associando il suo andamento esponenziale alla risposta
logaritmica dell'udito si ottiene una **percezione lineare**

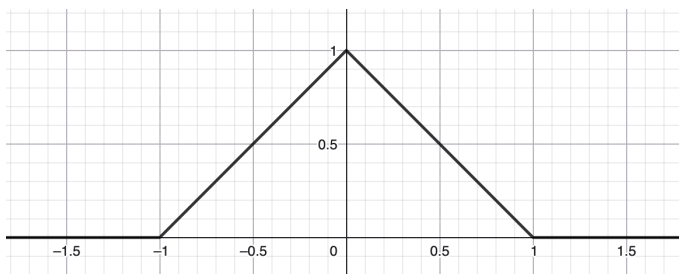
$$y = a \cdot b^x$$



SONIFICAZIONE : PROCESSO

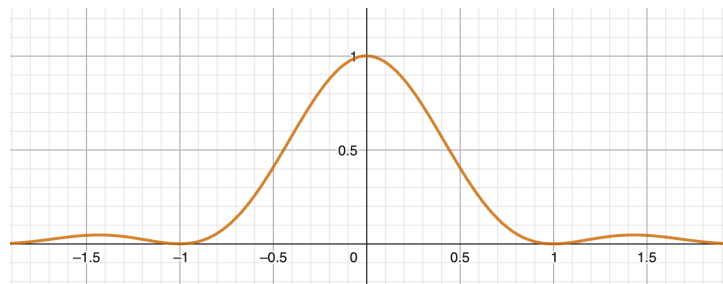
RISPOSTA IMPULSIVA INTERPOLATORE LINEARE

$$h(t) = \begin{cases} 1 - |t| & : -1 \leq t \leq 1 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$



RISPOSTA IN FREQUENZA INTERPOLATORE LINEARE

$$H(f) = \left(\frac{\sin(\pi f)}{\pi f} \right)^2$$



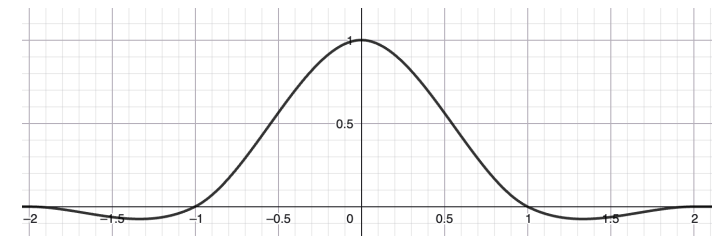
Interpolazione

Tecnica risolutiva al disallineamento tra frequenze campionamento di sensori (10-100 Hz) e audio (44,1 kHz).

LINEARE	SPLINE CUBICA (CATMULL-ROM)
Latenza zero	Latenza ridotta
Funzione C ⁰	Funzione C ¹
Introduzione di armoniche (click/ronzii)	Miglior trade-off fedeltà/latenza

RISPOSTA IMPULSIVA INTERPOLATORE SPLINE CUBICO CATMULL-ROM

$$h(t) = \begin{cases} \frac{3}{2} (|t|)^3 - \frac{5}{2} (|t|)^2 + 1 & : 0 \leq |t| \wedge |t| < 1 \\ -\frac{1}{2} (|t|)^3 + \frac{5}{2} (|t|)^2 - 4 |t| + 2 & : 1 \leq |t| \wedge |t| \leq 2 \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$



RISPOSTA IN FREQUENZA INTERPOLATORE SPLINE CUBICO CATMULL-ROM

$$H(f) = \frac{3 \sin^4(\pi f) - 2 \pi f \sin^3(\pi f) \cos(\pi f)}{(\pi f)^4}$$



CSC: CENTRO DI SONOLOGIA COMPUTAZIONALE

STORIA E RICERCA

- Formalizzato nel 1979
- Interdisciplinarietà
- Qualità e determinismo

BIENNALE DI VENEZIA

- Collaborazione dal 1979
- Punto di incontro tra nuove tecnologie e musica contemporanea

Introduzione al progetto

Sviluppato dal CSC di Padova, a cura del dott. Alessandro Fiordelmondo, esegue la sonificazione di dati ambientali.

- Principio di **tempo verticale** (Jonathan D. Kramer)
- Strumento di informazione

Principio di funzionamento (ambiente MAX/MSP)

Richiesta **HTTP GET**
tramite **WEB API**

Manipolazione
parametri sonori a
seconda dei dati

Sintesi granulare
con 4 sintetizzatori
che operano in
parallelo

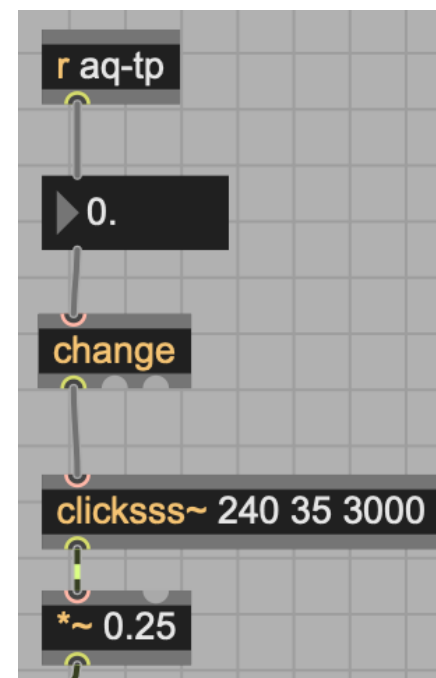
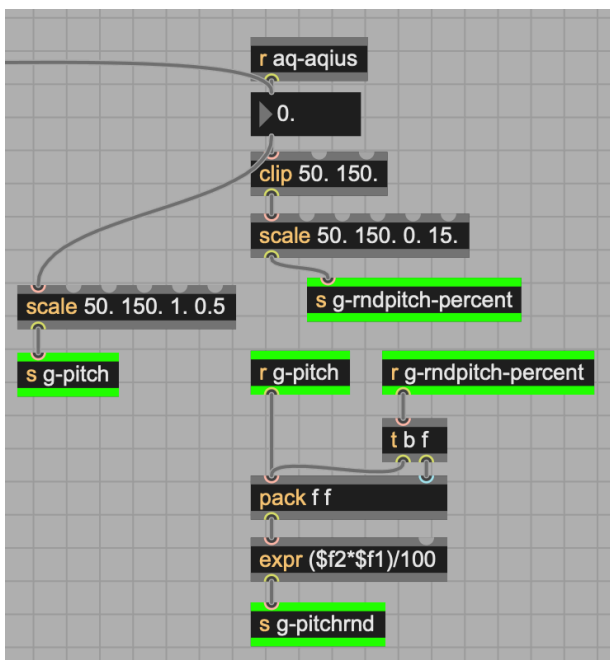
AQSOUNDSCAPE : ELABORAZIONE

AIR QUALITY INDEX → PITCH / SCOSTAMENTO %

Al peggiorare dell'AQI, il pitch diminuisce e lo scostamento microtonale aumenta, creando dissonanza

TEMPERATURA → GENERAZIONE DI IMPULSI

Ad ogni variazione di temperatura vengono generati tanti impulsi di Dirac quanti sono i gradi centigradi



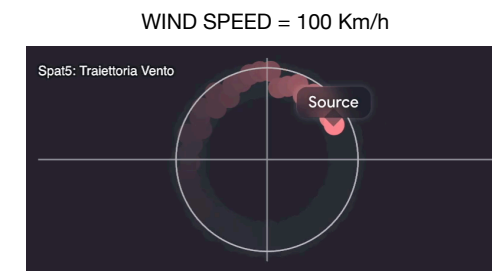
AQSOUNDSCAPE : ELABORAZIONE

UMIDITÀ → RIVERBERO

Il dato sull'umidità agisce aumentando l' RT_{60}

VELOCITÀ DEL VENTO → SPAZIALIZZAZIONE

All'aumentare della velocità del vento, aumenta la velocità angolare della sorgente sonora (libreria spat5 di IRCAM)



AQSOUNDSCAPE : CONCLUSIONI

Coerenza del risultato sonoro

Il sistema agisce come Auditory Display, affinché ad un peggioramento delle condizioni ambientali corrisponda un peggioramento del comfort acustico.

DISSONANZA → **SEGNALE D'ALLARME**

Un segnale **dissonante** è percepito come “sbagliato” o **ansiogeno**

RT₆₀ E SPAZIALIZZAZIONE → **SATURAZIONE SENSORIALE**

L'uso estremo di questi parametri simula cognitivamente un senso di **oppressione** e di **insicurezza**

MONITOR YIN YANG

Installazione del padiglione argentino alla Biennale d'Arte di Venezia, creata dall'artista Matias Duville e curata da Josefina Barcia.

Introduzione all'opera

Dal principio filosofico cinese dello Yin Yang, l'artista crea un'interconnessione tra forze apparentemente opposte tramite l'utilizzo di sale (Yin) e carbone (Yang).

Collaborazione con il CSC

L'opera implementa un sistema di sonificazione ad 8 canali, sviluppato dal CSC, a cura del dott. Alessandro Fiordelmondo, ispirandosi al precedente progetto AQSoundscape.



MONITOR YIN YANG

Protocollo OSC (Open Sound Control)

Protocollo di comunicazione a bassa latenza che interfaccia due dispositivi audio in tempo reale.

Caratteristiche

- Via UDP o TCP
- Numeri a virgola mobile a 32 o 64 bit

Pacchetto OSC

- Pattern di indirizzo /filter/cutoff
- Type Tag (tipo di dato) , f
- Dati/Argomenti 32/64 bit Data



MONITOR YIN YANG

Python

ACQUISIZIONE DATI

```
def airdata(lat, lon):
    global aqi
    res_pol = requests.get(f"http://api.openweathermap.org/data/2.5/air_pollution?lat={lat}")
    res_wea = requests.get(f"https://api.openweathermap.org/data/2.5/weather?lat={lat}&lon=...")
    data_pol = res_pol.json()["list"][0]["components"]
    data_wea = res_wea.json()["main"]
    aqi = res_pol.json()["list"][0]["main"]["aqi"]
    airarr[0] = data_wea['temp']-273.15      # TEMP (DEG)
    airarr[1] = data_wea['humidity']         # HUM (%)
    airarr[2] = data_pol['co']               # CARBON MONOXIDE (µg/m3)
    airarr[3] = data_pol['no']               # NITROGEN MONOXIDE (µg/m3)
    airarr[4] = data_pol['no2']              # NITROGEN DIOXIDE (µg/m3)
    airarr[5] = data_pol['o3']               # OZONE (µg/m3)
    airarr[6] = data_pol['so2']              # SOLPHUR DIOXIDE (µg/m3)
    airarr[7] = data_pol['pm2_5']            # FINES PARTICLES MATTER (µg/m3)
    airarr[8] = data_pol['pm10']             # COARSE PARTICLES MATTER (µg/m3)
    airarr[9] = data_pol['nh3']              # AMMONIA (µg/m3)
```

GENERAZIONE FLUSSO OSC

```
def main():
    # GET COORDINATES
    data = requests.get("https://ipinfo.io").json()
    print(data)
    city = data['city']
    lat, lon = data['loc'].split(",")

    # START OSC CLIENT
    client = SimpleUDPClient(IP, PORT)

    client.send_message("/city", city)

    while True:
        try:
            # airdata(lat, lon)
            airdata(45.433836, 12.355328)
            client.send_message("/air", airarr)
            client.send_message("/aqi", aqi)
            print(airarr, aqi)
        except Exception as e:
            print("Error:", e)

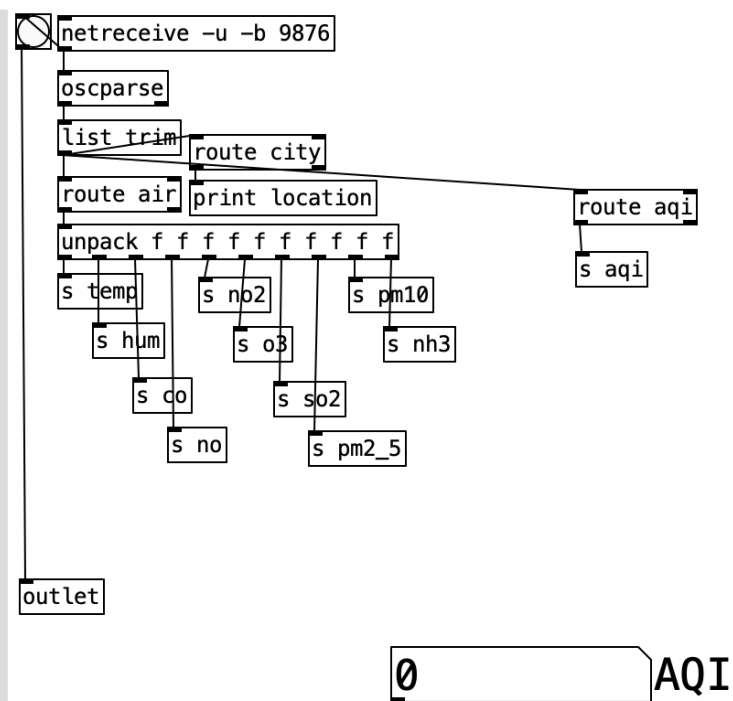
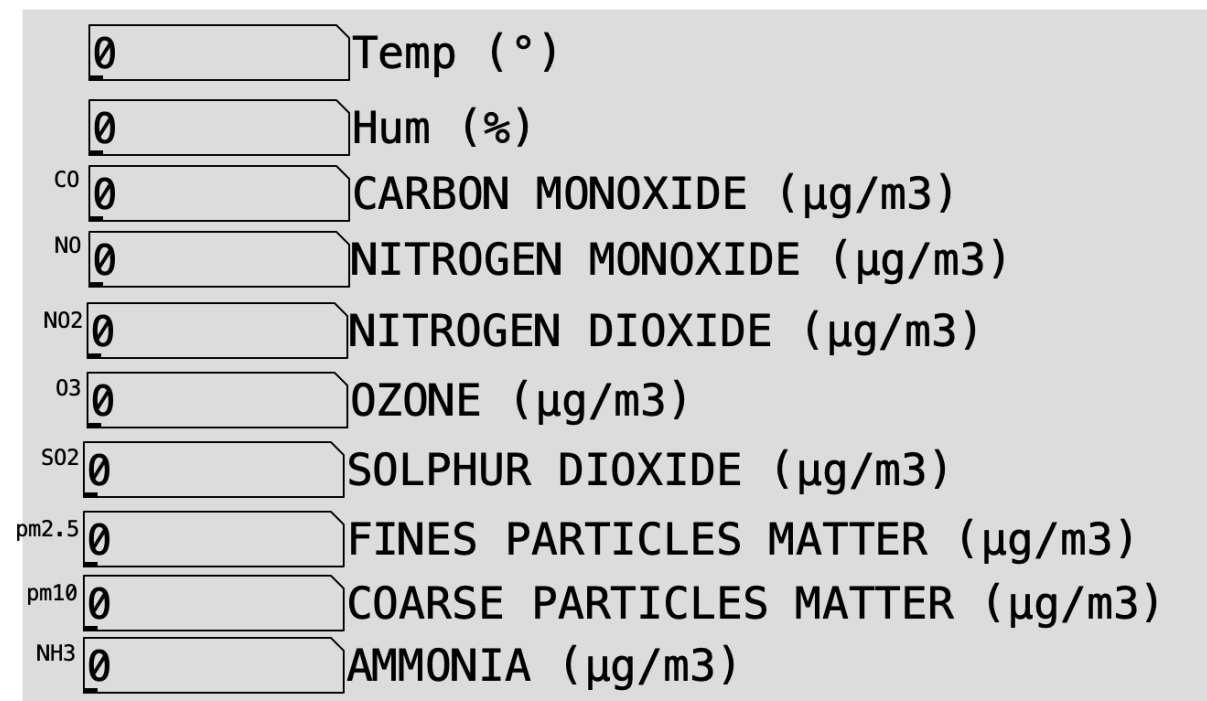
        time.sleep(300)
```



MONITOR YIN YANG

Pure Data

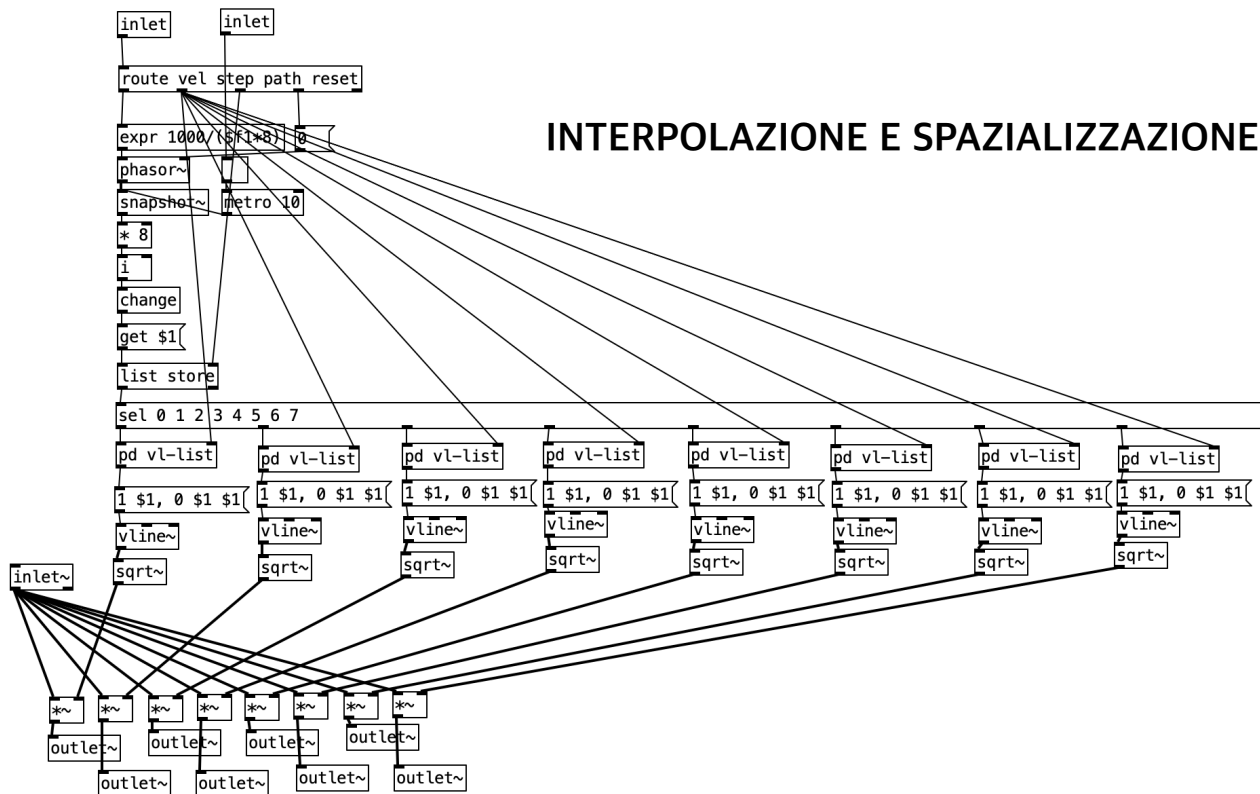
RICEZIONE DATI TRAMITE UDP



MONITOR YIN YANG

Pure Data

INTERPOLAZIONE E SPAZIALIZZAZIONE

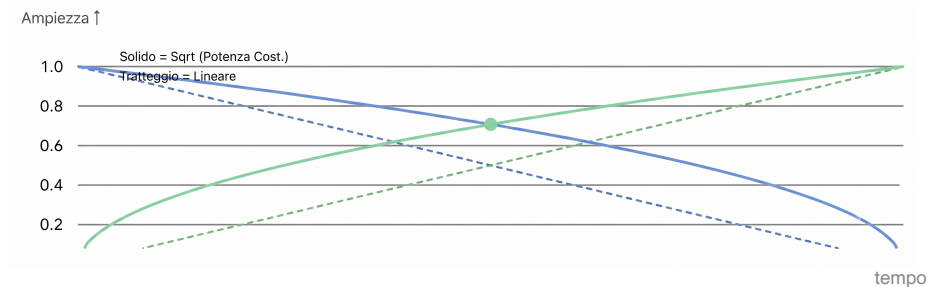


POTENZA E AMPIEZZA (ESEMPIO STEREOFONICO)

$$A_R(x) = x$$

$$A_L(x) = 1 - x$$

$$P_{\text{tot}} = A_L^2 + A_R^2$$

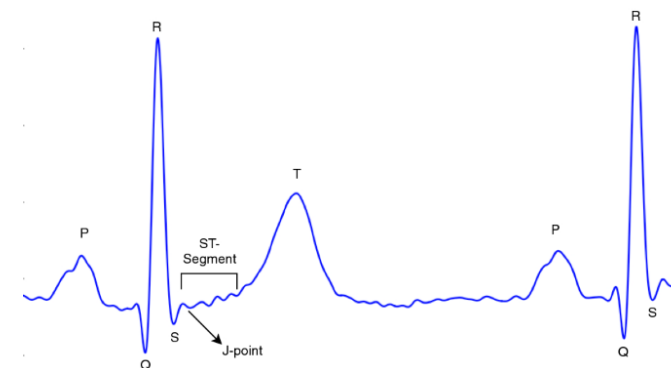


ESEMPI ED APPLICAZIONI

Monitoraggio

Data la natura informativa di questi sistemi, le applicazioni si dedicano a vari tipi di monitoraggio.

AMBIENTALE	STRUTTURALE	BIOMEDICALE
Traduzione di un ambiente in un paesaggio sonoro 3D	Conversione in file audio delle sollecitazioni o dei danneggiamenti di una struttura	Trasposizione di un segnale biologico in un documento sonoro





Bovermann, T., Großhauser, T., & Hermann, T. (2007). A modular architecture for sensor-based sonification. In *Proceedings of the International Conference on Auditory Display (ICAD)*.

Canazza, S., & De Poli, G. (s.d.). *Four Decades of Music Research, Creation, and Education at Padua's Centro di Sonologia Computazionale*.

Canazza, S., De Poli, G., & Vidolin, A. (s.d.). *When the Computer entered the music Scene. The Collaboration between the Centro di Sonologia Computazionale and La Biennale di Venezia*.

Chion, M. (1994). *Audio-Vision: Sound on Screen*. Columbia University Press.

Dubus, G., & Bresin, R. (2013). A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities. *Journal on Multimodal User Interfaces*, 7, 273–285.

Hermann, T., Hunt, A., & Neuhoff, J. G. (Eds.). (2011). *The Sonification Handbook*. Logos Verlag Berlin.

International Community for Auditory Displays (ICAD). (s.d.). *Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*. Recuperato da: <https://www.icad.org/websiteV2.0/References/nsf.html>

Kramer, G. (Ed.). (1994). *Auditory Display: Sonification, Audification, and Auditory Interfaces*. Addison-Wesley.

Kramer, J. D. (1988). *The Time of Music: New Meanings, New Temporalities, New Listening Strategies*. Schirmer Books.

Moore, B. C. J. (2012). *An Introduction to the Psychology of Hearing* (6th ed.). Academic Press.

OSC - Open Sound Control. (s.d.). Age of Audio. Recuperato da: <https://ageofaudio.com/en/osc-open-sound-control/>

Palmer, S. E. (1999). *Vision Science: Photons to Phenomenology*. MIT Press.

Risposta in frequenza dell'apparato uditivo. (s.d.). Recuperato da: https://www.itmarconinocera.org/sito/menu/dipartimenti/tecnico_scientifico_informatica/corso_musica_elettronica/13.htm

Risposta spettrale dell'apparato visivo. (s.d.). LUMSA. Recuperato da: <https://lumsa.it/sites/default/files/UTENTI/u225/La%20visione.%20Luce%20e%20occhio.pdf>

Roads, C. (1988). Introduction to Granular Synthesis. *Computer Music Journal*, 12(2), 11-13.

Roads, C. (2001). *Microsound*. MIT Press.

Sonnenschein, D. (2001). *Sound Design: The Expressive Power of Music, Voice, and Sound Effects in Cinema*. Michael Wiese Productions.

The Open Sound Control 1.0 Specification. (s.d.). Recuperato da: https://hangar.org/wp-content/uploads/2012/01/The-Open-Sound-Control-1.0-Specification-opensoundcontrol.org_.pdf

Unser, M. (1999). Splines: A perfect fit for signal and image processing. *IEEE Signal Processing Magazine*, 16(6), 22-38.

Virtualia: il futuro digitale che ci attende. (s.d.). Università degli Studi di Padova. Recuperato da: <https://dpg.unipd.it/virtualia-il-futuro-digitale-che-ci-attende>



DIPARTIMENTO
DI INGEGNERIA
DELL'INFORMAZIONE

GRAZIE PER L'ATTENZIONE!