



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA  
*DIPARTIMENTO DI PSICOLOGIA DELLO SVILUPPO E DELLA SOCIALIZZAZIONE*

FACOLTA' DI SCIENZE PSICOLOGICHE DELLO SVILUPPO, DELLA  
PERSONALITA' E DELLE RELAZIONI INTERPERSONALI (L4)

**DAL DATO ALLA  
PERCEZIONE:**  
*Sonificazione di curve di luce.*

*Relatore: Massimo Grassi*

*Correlatrice: Lucrezia Guiotto Nai Fovino*

**Tesi di Antonio Rizzioli**  
*ANNO ACCADEMICO 2025-2026*

## Abstract

Guiotto Nai Fovino, Zanella e Grassi (2024), nello studio *Evaluation of the Effectiveness of Sonification for Time Series Data Exploration*, hanno dimostrato che la sonificazione di dati astronomici può essere utile, anche per persone non esperte, nella comprensione delle variazioni di luminosità stellare. L'obiettivo del loro studio era valutare empiricamente l'efficacia della sonificazione, per la comprensione di serie temporali astronomiche, concentrandosi sull'analisi di curve di luce simulate. Lo scopo è stato realizzato tramite il mapping sonoro dei dati, quindi la traduzione dei dati stessi in suoni. Gli autori evidenziano come la sonificazione possa aprire nuove prospettive per l'analisi di grandi dataset temporali, e per l'accessibilità dei dati scientifici.

L'Università degli Studi di Padova è tuttora attiva in questo ambito di ricerca. La presente tesi si basa su un ulteriore studio condotto da Guiotto Nai Fovino (2025), con l'obiettivo di: approfondire l'efficacia della sonificazione nel riconoscimento delle variazioni di luminosità stellare; confrontare le prestazioni tra i non-astronomi dello studio precedente e i non-astronomi di questo; valutare come diverse strategie di sonificazione delle curve di luce influenzino la capacità dei partecipanti di individuare transiti; contribuire all'avanzamento delle ricerche nel campo della sonificazione. Nelle seguenti pagine riporterò dei concetti utili per la comprensione della ricerca condotta, successivamente descriverò le procedure e i risultati dell'esperimento proposto a partecipanti e svolto in prima persona.

Una differenza cruciale riguarda la composizione del campione fra i due esperimenti. Il dataset utilizzato nel presente studio include esclusivamente partecipanti non esperti, mentre nello studio precedente erano presenti due gruppi distinti (astronomi e non-astronomi).

## **CAPITOLO 1 – INTRODUZIONE**

### ***1.1 Sonificazione, Pitch e Durata, mapping***

La **sonificazione** è l'uso di suoni non verbali per rappresentare dati o informazioni. Si applica trasformando relazioni numeriche o fenomeni fisici in segnali acustici percepibili, così da facilitare la comprensione dei dati attraverso l'ascolto. Si incontra quotidianamente: basta pensare ai sensori di parcheggio, che esprimono un dato numerico, la distanza, tramite le caratteristiche di un suono.

La storia della sonificazione risale ai primi del Novecento: nel 1908 il contatore Geiger produceva *clic* acustici per rilevare radiazioni ionizzanti, mentre nel 1913 Edmund Fournier d'Albe sviluppò l'optofono, uno strumento che convertiva il testo scritto in suoni per consentire ai non vedenti di leggere tramite l'ascolto. Tra gli anni '60 e '80, si sono moltiplicati gli esperimenti che hanno impiegato la sonificazione per analizzare dati, ma le ricerche del campo rimanevano comunque frammentate ed isolate con studi in differenti discipline. La svolta effettiva, che consolida la ricerca, arriva con la fondazione dell'International Community for Auditory Display (ICAD).

Fondata nel 1992 per riunire ricercatori, ingegneri e artisti interessati all'uso del suono come mezzo di rappresentazione dei dati. Sono infatti gli anni 90' a portare le prime vere e proprie teorizzazioni sull'utilizzo del suono per la rappresentazione dei dati. Greogory Kramer fondatore e promotore dell'ICAD, oltre che curatore di parti di letteratura fondamentale, studiò i display uditivi, da intendere come rappresentazioni di dati in suoni. In *Auditory Display: Sonification, Audification and Auditory Interfaces* (Kramer 1994), sottolinea come l'obiettivo della sonificazione non sia solo tradurre numeri in suoni, ma sfruttare le specifiche capacità percettive dell'udito per individuare pattern e variazioni che potrebbero sfuggire alla vista. L'udito è un tema fondamentale che narrerò, esplorando articoli di ricerca, e riportando alcune basi di psicoacustica. Gaver (1993) nell'articolo *How do we hear in the world? Explorations in ecological acoustics*, pubblicato su *Ecological Psychology*, ha invece introdotto il concetto di Auditory Icons. Si tratta di rappresentazioni sonore ispirate a suoni reali che rendono più intuitiva l'interazione con i dati e i sistemi digitali. Le sue ricerche hanno contribuito a collegare la sonificazione al sound design delle interfacce uditive, ponendo le basi per applicazioni più estese in ambito informatico e percettivo. Ad oggi le definizioni più recenti ed ufficiali si trovano in *The Sonification Handbook* (Hermann, Hunt, & Neuhoff, 2011). Hermann (2011), autore della letteratura più moderna, spiega: la sonificazione può essere definita come la generazione di suono dipendente dai dati, in modo sistematico e riproducibile, utilizzabile come metodo scientifico.

Questa tecnica di rappresentazione, oggi trova applicazione in ambiti molto diversi, dalla scienza alla medicina, permettendo di monitorare parametri vitali; dall'ingegneria all'arte, con interfacce utente e installazioni sonore; in astronomia, permettendo di analizzare serie temporali.

Un vantaggio fondamentale della sonificazione rispetto al verbale, che ne implica l'utilizzo, è la possibilità di percepire simultaneamente diverse dimensioni – come **intonazione (pitch) e durata** – sfruttando le capacità uditive umane. Immaginando di suonare una qualsiasi nota su una tastiera, l'orecchio umano è capace di percepirne la frequenza, quindi l'intonazione, e la durata, in termini di tempo. Questi sono due parametri fondamentali nel processo di *mapping*, ovvero la trasformazione dei dati in segnali sonori. Nei sensori di parcheggio dell'automobile, la trasformazione della distanza dal muro in caratteristica del suono, avviene attraverso l'emissione di un suono ripetuto (“*beep*”) capace di indicarci che minore è la durata del suono, e più alte sono le frequenze emesse, minore è la distanza dal muro: *noi sentiamo il beep riprodursi più velocemente, e alzarsi di intonazione.*

Su questa base si inseriscono oggi le ricerche più recenti, come quella di Fan et al. (2025), *Perceiving slope and acceleration: Evidence for variable tempo sampling in pitch-based sonification of functions*, presentata alla conferenza *IEEE Visualization and Visual Analytics (VIS)*.

Lo studio ha mostrato come modificare le due variabili di altezza (pitch) e durata potesse aiutare le persone a comprendere l'andamento di una funzione matematica; per comprendere meglio la ricerca si può pensare alla funzione come una curva ad *U*.

I ricercatori hanno sperimentato tre diverse sonificazioni: una continua (*Continuous*) in cui il suono varia intonazione in modo continuo, cambiando costantemente intonazione per seguire l'andamento della funzione. La seconda (*Variable pitch Interval*) prevede invece suoni non continui (discreti), ascoltati singolarmente. Udendo il primo suono e successivamente il secondo, si comprendeva la variazione di valore fra due dati distribuiti nella stessa funzione. Una notevole differenza, in senso crescente ad esempio fra dati viene rappresentata da un salto di pitch ampio, come da un Do ad un Fa. Un aumento minore corrisponde invece ad una differenza minore, come da un Do ad un Re.

La terza modalità di sonificazione (*Tempo Interval*) unisce pitch e durata. Le note, come nella modalità precedente, risultano discrete e non continue. In queste sonificazioni, si aggiunge, rispetto alle antecedenti, la velocità con cui le note si susseguono; questo rappresenta la rapidità della variazione dei dati. In questo modo, i partecipanti potevano percepire simultaneamente sia dove si posizionava un valore rispetto ad un altro, sia quanto rapidamente si modificava la curva della funzione. I risultati hanno mostrato che i partecipanti riuscivano a riconoscere abbastanza bene quando la "curva sonora" cresceva, diminuiva o accelerava, semplicemente ascoltando la sequenza dei suoni. Questo dimostra che variazioni di intonazione e di durata possono trasmettere in modo efficace informazioni complesse. Lo studio suggerisce inoltre che usare insieme pitch e durata rende la rappresentazione sonora più chiara e facile da interpretare, rispetto a quando si usa un solo parametro. La modalità "*Variable tempo*" risulta la più utile.

In sintesi, la sonificazione rappresenta uno strumento interdisciplinare potente, capace di ampliare le modalità di rappresentazione e comprensione dei dati oltre le tradizionali tecniche verbali, e si caratterizza di notevoli pregi e vantaggi.

## ***1.2 Vantaggi Rispetto al Parlato e al Visuale, il mapping efficace e Il Tempo di sonificazione***

Si incontrano diversi **vantaggi rispetto al parlato e al visuale** con la sonificazione.

Unendo diverse dimensioni, come ad esempio quelle già osservate, di intonazione e durata, la qualifica dell'informazione risulta conseguentemente più compatta. Ciò significa che si trasmette un maggior quantitativo di informazione, in una minore unità di tempo rispetto ad altre modalità. Si riduce così il carico cognitivo. I dati espressi acusticamente inoltre abbattano le differenze linguistiche, fornendo la possibilità a tutti di entrare a contatto con dati cui la comprensione sarebbe circoscritta ad un bacino limitato di utenti se fossero espressi verbalmente. In terzo luogo c'è più resistenza ai rumori di fondo, ad esempio in mezzo al traffico, o in un ristorante (*Cocktail Party Effect*) e la possibilità di superare barriere date da aree sensoriali compromesse, in primis la vista per i cechi.

Risulta molto variegata la lista delle discipline di ricerca necessarie per comprendere e realizzare sonificazioni e mapping di successo. È infatti fondamentale il dialogo interdisciplinare per l'avanzamento della sonificazione tra materie come: la fisica, l'acustica, la ricerca percettiva, l'ingegneria del suono, l'informatica e la psicoacustica,

che collaborano nel processo di mappatura dei dati. Un **mapping efficace** non è mai arbitrario: si fonda su criteri percettivi e psicoacustici che garantiscono coerenza e intelligibilità del segnale uditivo. Il legame tra capacità uditive e trasformazione dei dati in suoni è quindi molto stretto. Il nostro orecchio, si è evoluto in base alle necessità, tarandosi in maniera particolare su ciò di cui noi umani abbiamo bisogno e specializzandosi nel discriminare meglio i suoni acuti rispetto ai suoni molto gravi. Se viene suonato su un pianoforte un LA in una data ottava si producono i 220 hz, suonando la stessa nota nell'ottava superiore ci sarà un raddoppio delle frequenze, quindi 440 hz. L'orecchio percepisce questa differenza. Se invece suono un LA molto in basso a 2hz e poi lo suono a 4hz, il raddoppio di frequenza c'è, ma il nostro orecchio non lo percepisce, perché le frequenze sono troppo lente per essere interpretate come suono.

Nel *Sonification Handbook* (Hermann, Hunt & Neuhoff, 2011), viene osservato che sonificazioni più funzionali e processi di *mapping* efficaci devono tenere conto di queste caratteristiche costruendo corrispondenze percettivamente significative tra dato e suono, bilanciando rigore scientifico e sensibilità acustica. Il mapping oltre a pitch e durata si basa su altri riferimenti, come il **tempo di sonificazione**, che definisce la tempistica complessiva di tutti gli eventi sonori e determina la velocità con cui l'ascoltatore può percepire e interpretare i dati: in parole più semplici, un parametro modificabile è il tempo, in secondi ad esempio, utilizzati per la complessiva rappresentazione. Come evidenziato da Enge et al. (2023) nell'articolo *Towards a unified terminology for sonification and visualization*, pubblicato su *Personal and*

*Ubiquitous Computing*, la dimensione temporale è cruciale perché influisce sulla leggibilità e sull'efficacia della rappresentazione acustica, permettendo di adattare la sonificazione a diverse necessità: un tempo breve può offrire una panoramica rapida di grandi quantità di dati, mentre un tempo più lungo consente di percepire dettagli e variazioni più sottili. Dubus e Bresin (2013), nell'articolo *A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities* (*PLOS ONE*, 8(12), e82491) tramite un'analisi sistematica di oltre 150 studi per comprendere quali strategie di *mapping* sono più utili e frequenti, confermano che il tempo di sonificazione è una delle principali dimensioni utilizzate per rendere i dati udibili in modo significativo. Gli autori sottolineano come una scelta appropriata della scala temporale possa migliorare la comprensione e la valutazione delle informazioni rappresentate.

Compreso che una mappatura funzionale dei dati può dispiegare il potenziale della sonificazione, si intendono anche le ragioni per le quali viene applicata in diversi ambiti, dalla vita quotidiana alla ricerca e all'analisi scientifica.

### **1.3 Applicazione e potenziale della sonificazione: Le curve di luce in astronomia, i rapporti segnale/rumore (SNR)**

Un ambito di applicazione importante è quello dell'**astronomia**. È opportuno descriverlo se si vuole comprendere le grandi possibilità che si possono aprire adottando il suono come rappresentazione.

Nello studio di Guiotto Nai Fovino, Zanella & Grassi (2024) citato nell'abstract della tesi, l'obiettivo era di valutare empiricamente l'efficacia della sonificazione per l'esplorazione di serie temporali in astronomia, concentrandosi sulla variazione di curve di luce simulate. Una **curva di luce** è un grafico che mostra come varia l'intensità della luce emessa da una stella nel tempo. Dalle curve di luce gli astronomi possono comprendere molte informazioni, come la presenza di pianeti nell'orbita. Immagina che l'abatjour vicino al letto sia una stella, se qualcosa passasse fra chi osserva e la luce emessa dalla lampada, la luminosità che arriva all'osservatore diminuirebbe. Questo è ciò che accade per le curve di luce delle quali percepiamo variazioni per il transito di corpi celesti. La forza della sonificazione in questo studio si manifesta nel permettere a non-astronomi di avvicinarsi alla comprensione di dati, che se non tramite il suono, sarebbero incomprensibili a chi non è formato a fondo.

Gli autori sottolineano come il suono possa aprire nuove vie per l'analisi di grandi dataset temporali, e allo stesso tempo contribuire all'accessibilità dei dati. Per mettere alla prova concretamente questa ipotesi, lo studio costruisce un esperimento in cui 160 curve di luce simulate, con vari **rapporti segnale/rumore (SNR)**: una misura che confronta l'intensità del segnale utile rispetto al livello del rumore di fondo, indicando quanto il transito sia distinguibile dal rumore. I dati sono stati presentati a due gruppi di partecipanti, astronomi e non-astronomi, sotto quattro condizioni: visualizzazione grafica tradizionale oppure tre tipi di stream sonori differenziati per mapping sonoro: altezza/pitch, durata, o durata + pitch. I partecipanti dovevano rilevare la presenza o l'assenza del transito. Gli autori misurano non solo l'accuratezza della rilevazione ma

anche i bias di risposta (ad esempio la tendenza a rispondere “sì, c’è un transito”) nelle diverse condizioni. Lo studio fornisce un contributo importante anche per il mapping. Analizza quantitativamente come differenti mapping sonori (pitch, durata, combinazione) e condizioni visive/uditive influenzino la capacità di trovare eventi in serie temporali astronomiche. Sebbene la visualizzazione grafica rimanga prevalente in accuratezza, la sonificazione raggiunge performance sopra il livello casuale e presenta potenzialità reali, ma con limiti e differenze di bias da considerare.

La mappatura delle curve di luce in suoni dimostra come le informazioni temporali e luminose possano essere tradotte efficacemente in parametri acustici (pitch, intensità e tempo). La sonificazione è stata progettata in modo da tradurre variazioni di luminosità in altezze e intensità dinamiche, rendendo percepibili fluttuazioni minime che, sul piano visivo, sarebbero passate inosservate. La ricerca in quest’area è ancora attiva. Ho personalmente partecipato al lavoro di somministrazione di un esperimento, che presentava curve di luce sonificate, e l’ho svolto in prima persona.

#### **1.4 Il nostro studio**

Nel nostro studio la variazione di luminosità è stata collegata all’intonazione del suono: suoni acuti corrispondevano ad una bassa luminosità, suoni gravi invece ad un’alta luminosità. Anche in questa ricerca la variabile SNR è stata manipolata per creare varie condizioni e valutare come la qualità del segnale influisca sulla capacità delle persone di percepire.

# **CAPITOLO 2 – METODO**

## **2.1 I soggetti**

Hanno partecipato all'esperimento 40 soggetti volontari, di cui 14 maschi e 26 femmine, che sono stati sottoposti all'esperimento individualmente presso L'Università Degli Studi Di Padova. Tutti gli individui, eccetto un partecipante che esercita la professione di musicista (n=1), sono studenti: Psicologia (n=34); Studente istituto tecnico (n=1); ingegneria (n=2); medicina (n=1); studenti lettere (n=1). L'età dei partecipanti varia tra i 20 e i 24 anni. A ciascun soggetto è stato garantito l'anonimato, sono stati registrati con una sigla, formata dalle iniziali di nome e cognome, seguite da una serie numerica. Ai partecipanti sono stati corrisposti 8 euro per la loro partecipazione, nessuno di loro ha riportato di avere un udito disfunzionale.

## **2.2 Apparato**

L'esperimento è stato implementato utilizzando plugin della libreria jsPsych (De Leeuw, 2015) ed è stato ospitato online tramite JATOS (v. 3.6.1). I partecipanti hanno utilizzato il computer del laboratorio (processore Intel(R) Core (TM) i5-7400 @3.00GHz, 16 GB di RAM, e sistema operativo Windows 11 a 64 bit dotato di un'interfaccia audio Scarlett Focusrite 2i2. All'inizio dell'esperimento i partecipanti potevano regolare l'intensità del volume secondo le proprie preferenze e indossavano

cuffie Sennheiser HDA 300. Portare a termine entrambi i moduli dell'esperimento, MIDI e Timbro, richiedeva solitamente dai 40 ai 60 minuti. Le sonificazioni presentate con suoni orchestrali del modulo Timbro, sono state fatte utilizzando il VST BBC Orchestra. Le curve sono state create con un programma Python personalizzato.

## 2.3 Stimoli

Nell'esperimento sono state utilizzate come stimoli 80 curve di luce sintetiche, ciascuna delle quali rappresentava l'andamento della quantità di luce (flux) nel tempo. Ogni curva era composta da 80 punti dati equidistanti, corrispondenti a specifici istanti temporali e tradotti in toni sonori. Le sequenze sonore sono state sintetizzate a 44,1 kHz con risoluzione a 16 bit e successivamente esportate in formato .mp3, con una durata di 10 secondi ciascuna.

Si tratta di curve univariate, ovvero grafici che descrivono un solo tipo di variabile: la luminosità in funzione del tempo.

I due moduli dell'esperimento presentavano:

- stimoli con segnali causati dai transiti, distribuiti entro quattro SNR diversi
- *catch trial* senza transito, indipendenti dal rapporto SNR (SNR=999).

Per ottenere i quattro diversi rapporti segnale-rumore (SNR) è stato aggiunto rumore gaussiano. I livelli erano: 5, 10, 20 o 40 per il modulo MIDI, e 2, 4, 8, 16 o 36 per il modulo Timbro. Sebbene le differenze di SNR siano minime e non dovrebbero influenzare i risultati, questa scelta ha permesso una maggiore granularità negli stimoli a basso SNR. Per ogni livello di rumore, metà delle curve conteneva un transito, e metà

no: ad esempio, se consideriamo 20 curve ad un certo livello di rumore, 10 mostravano un passaggio di corpi celesti e 10 ne erano prive. Questo pattern permette di comprendere come i risultati vengano influenzati dal livello del rapporto segnale-rumore.

Le sequenze sonore con segnale presentavano curve gaussiane, percepite acusticamente come variazione di intonazione, che mostravano un abbassamento regolare e morbido del livello di luce. Le campane gaussiane in questione hanno larghezza fissa di 10 unità e una profondità di 20 unità. La larghezza indica per quanto tempo dura il calo, mentre la profondità indica di quanto diminuisce la luminosità nel punto più basso.

Nel modulo MIDI, tutti gli 80 toni della sonificazione erano realizzati come onde sinusoidali. Gli stimoli sono divisi secondo due algoritmi distinti. Nel primo (*pure frequency*), la durata di ciascun tono era fissata a 125 ms, mentre la frequenza variava da 100 Hz a 3200 Hz. Con il secondo algoritmo (*midi tone*), i toni avevano la stessa durata (125 ms) e coprivano lo stesso intervallo di frequenze, ma queste venivano approssimate a quelle del sistema temperato. In questo modo, ogni tono corrispondeva a una nota del sistema musicale temperato a 12 toni, tipico della musica occidentale.

Anche nel modulo Timbro, gli stessi dati venivano mappati con ulteriori due metodi: Con sinusoidi pure (*sinusoid*), come nella sezione MIDI; impiegando strumenti orchestrali (*orchestral*), cambiando quindi il timbro.

## 2.4 Procedura

I soggetti venivano accompagnati nel laboratorio C09 dell'Università di Padova, all'interno del quale è presente una cabina silenziosa per svolgere l'esperimento. Il primo passo, dopo la compilazione del consenso informato e dei dati anagrafici e bancari per la retribuzione, era la formazione necessaria per l'esperimento. Questa fase consisteva nel visionare un video con le nozioni necessarie per lo svolgimento, e l'ascolto di esempi per comprendere le tipologie di eventi sonori. Il partecipante o la partecipante procedeva successivamente nell'inserire la propria sigla per accedere ad una schermata di prova che richiedeva di selezionare "si" o "no", in base alla percezione sulla presenza o assenza della variazione. Iniziava poi l'esperimento con l'ascolto delle 80 sonificazioni.

Le due sezioni, MIDI e Timbro, venivano somministrate in ordine inverso tra un partecipante e l'altro, per evitare che i risultati venissero influenzati dall'ordine di somministrazione. L'insieme di sonificazioni ascoltate era randomizzato: i partecipanti non ascoltavano tutti la stessa serie di suoni. La randomizzazione riflette meglio l'effetto generale della variabile studiata, e non quello di una specifica combinazione di stimoli. Serve quindi ad ottenere risultati più affidabili e generalizzabili.

## CAPITOLO 3 – RISULTATI

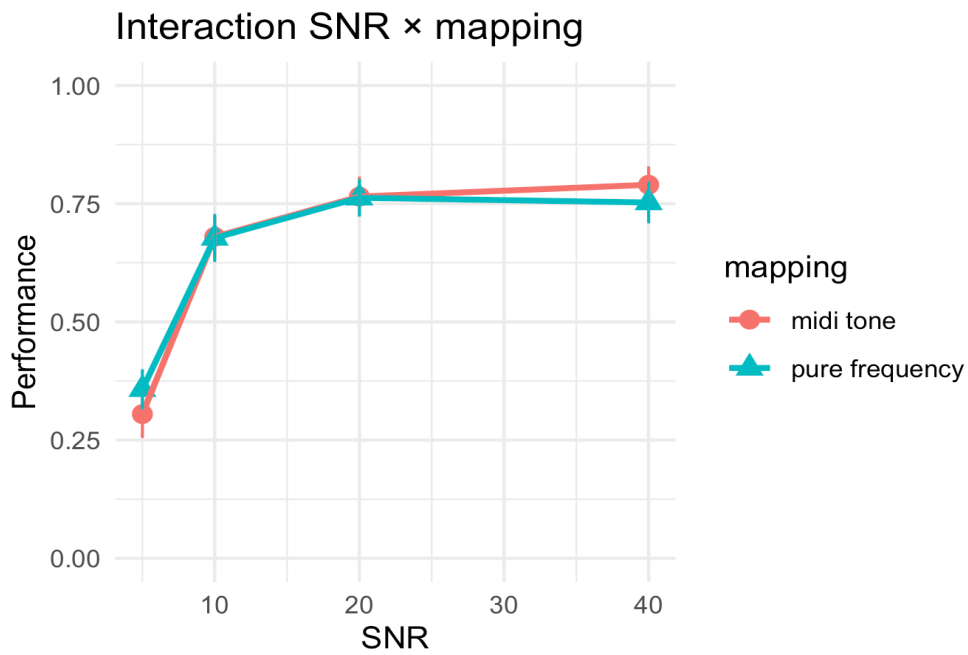
Abbiamo ricavato le seguenti proporzioni per ciascun partecipante e per ciascuna tipologia di mapping:

- Tasso di hit (H): proporzione di risposte “sì, il segnale è presente” nelle prove con segnale presente.
- Tasso di falsi allarmi (FA): proporzione di risposte “sì, il segnale è presente” nelle prove senza transito (*catch*). Le *catch trial* sono a SNR = 999, indipendenti dal rapporto segnale – rumore.
- Indice di performance (P):  $P = H - FA$ ; intervallo teorico  $[-1, 1]$ .

### 3.1 MIDI

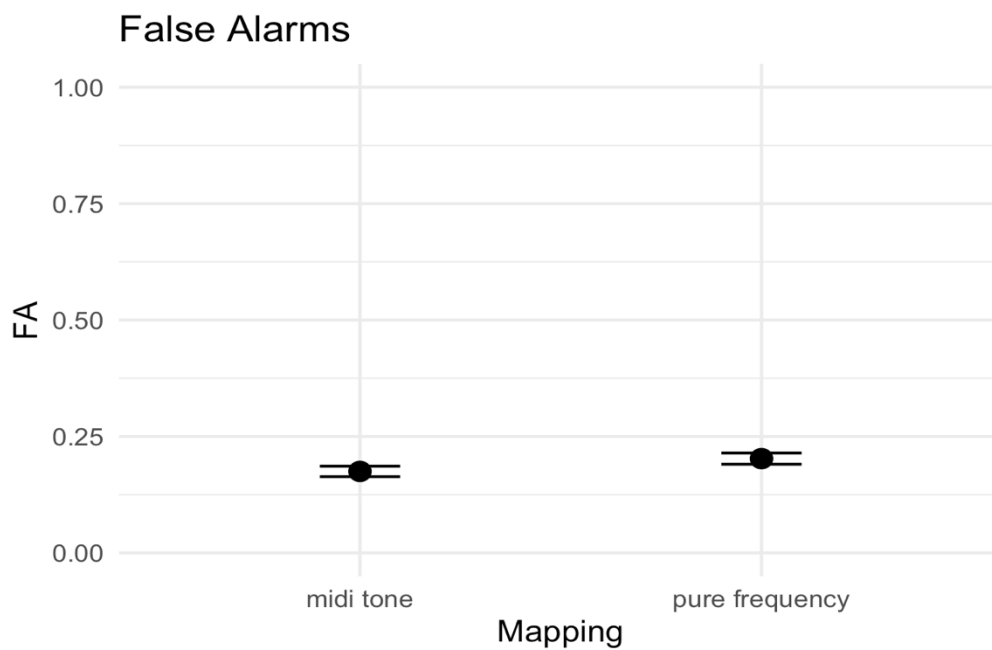
Performance (P):

Un forte effetto principale dell’SNR ha indicato che P migliorava con l’aumentare del rapporto. Il guadagno legato all’SNR si presenta in entrambi i mapping, che di conseguenza non hanno alcun effetto principale: *midi tone* e *pure frequency* non differiscono significativamente in termini di P.



Falsi allarmi (FA):

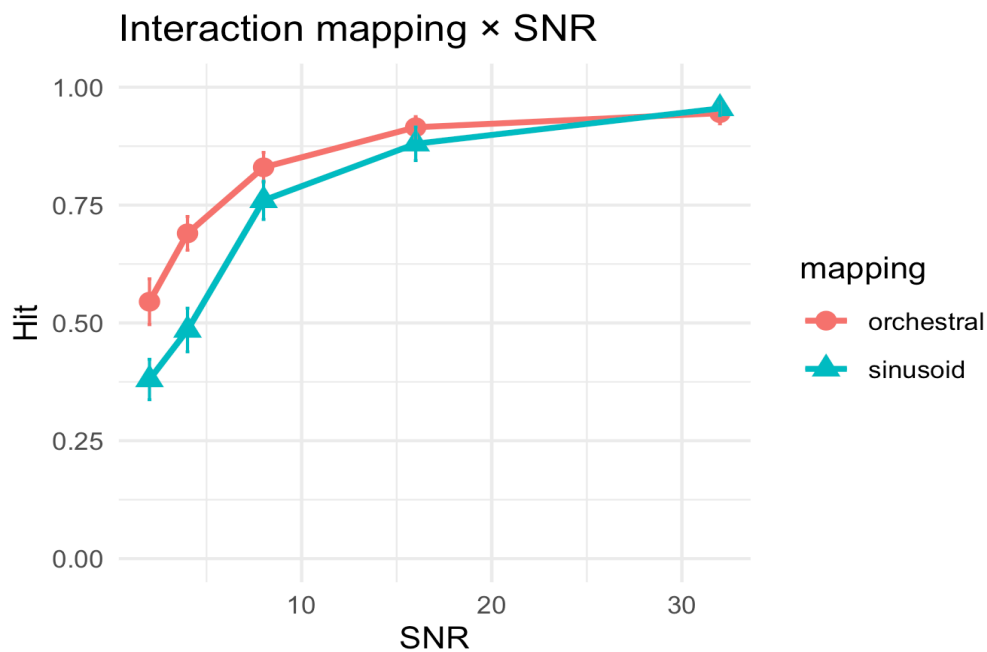
Nessun effetto ha raggiunto la significatività, né *midi tone* né *pure frequency* hanno prodotto cambiamenti affidabili nel FA. Dal grafico si nota una differenza non significativa, e che potrebbe essere causata dalla numerosità ridotta dei soggetti.



Tasso di hit (H):

A un dato SNR, un mapping sembra conferire un modesto vantaggio sugli hit.

Tuttavia, entrambi i mapping beneficiavano in modo simile dell'aumento dell'SNR.

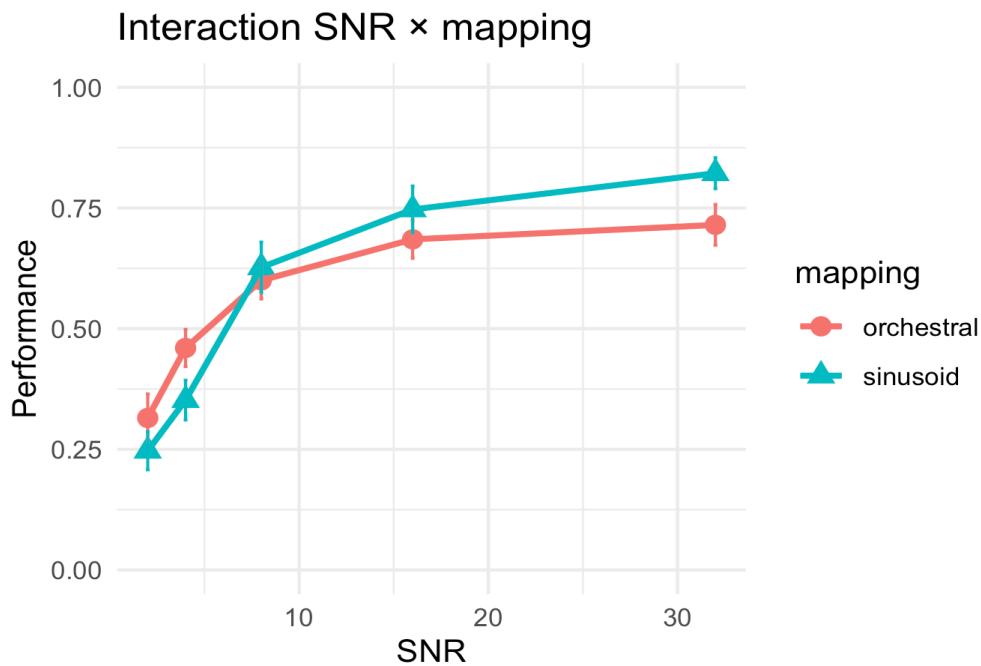


### 3.2 Timbro

Performance (P):

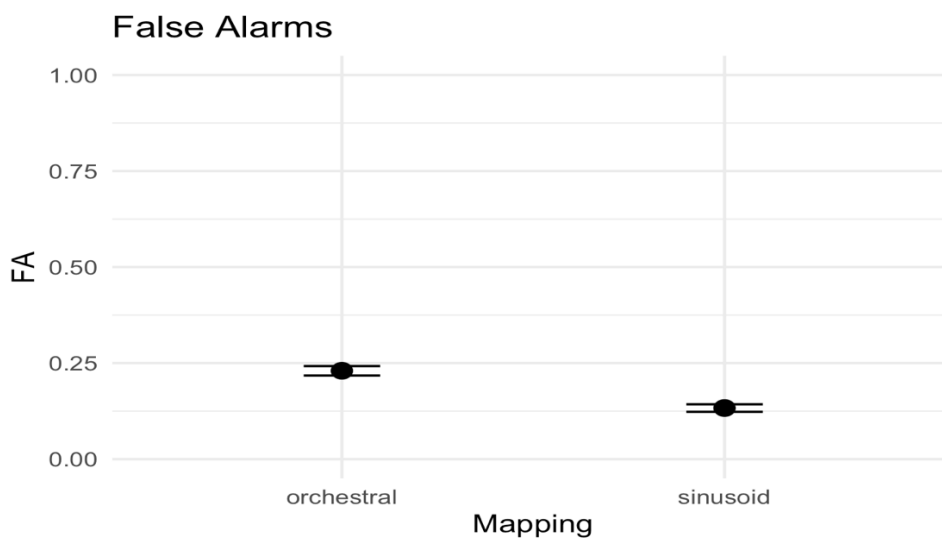
Risulta un rilevamento migliore con SNR più elevati. Questo effetto emerge come principale, ma non parallelo ad entrambi i mapping, poiché l'entità di questo miglioramento differisce tra le due modalità: l'interazione tra il mapping e SNR è quindi significativa.

Emerge con le sinusoidi una performance migliore. Con gli orchestrali comunque, c'è maggiore discriminazione con sonificazioni a SNR bassi.



Falsi allarmi (FA):

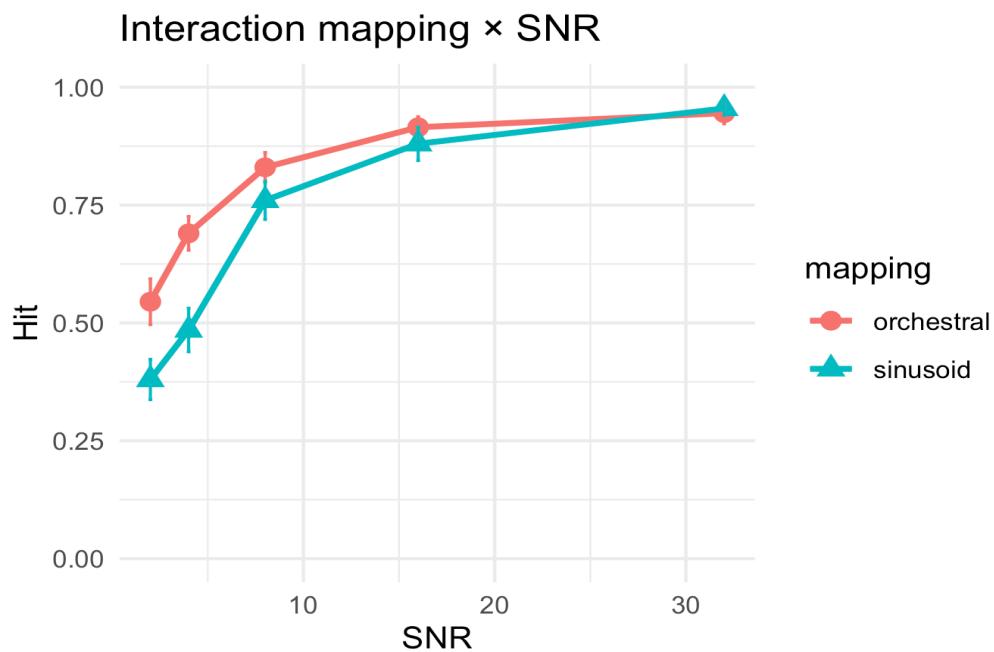
È stato osservato un effetto sostanziale del mapping, indicando FA più elevati nel mapping *orchestral*. Dunque, il mapping influenza i FA, ma tale effetto non dipende dall'SNR, essendo per i *catch trial* pari a 999.



Tasso di hit (H):

Il tasso di hit risulta incrementare all'aumento del rapporto SNR. Un effetto principale del mapping indica tassi di hit più alti con il mapping *orchestral*.

L'interazione tra mapping e SNR è significativa: gli hit aumentano con l'SNR più in un mapping che nell'altro.



# DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI

Nel complesso, il confronto tra i risultati ottenuti nel presente studio e quanto riportato da Guiotto Nai Fovino et al. (2024) evidenzia alcune differenze rilevanti in relazione ai tassi di hit, false alarms (FA) e performance (P).

Prima di confrontare i due studi ed avanzare alcune considerazioni personali, è importante ribadire la differenza nei campioni: Il presente studio include esclusivamente partecipanti non esperti, mentre lo studio precedente due gruppi distinti: astronomi e non-astronomi. Di conseguenza metterò a confronto i nostri risultati solamente con quelli dei non esperti della prima ricerca.

Per i non-astronomi, nello studio del 2024, un incremento dei *false alarms* non corrispondeva ad un miglioramento dell'accuratezza complessiva, nel nuovo dataset questa relazione cambia sostanzialmente. Nei nostri dati, infatti, un aumento dei FA risulta accompagnato da un incremento degli hit e, di conseguenza, da un miglioramento dell'indice di performance, in particolare in alcune condizioni di mapping sonoro. Ipotizzo che tale risultato suggerisca l'influenza di alcuni aspetti, che hanno portato i partecipanti ad un criterio di risposta liberale, coerentemente con quanto rilevato anche nelle sonificazioni dello studio precedente, ma con effetti prestazionali più marcati.

I partecipanti mostrano un comportamento in parte coerente con i non-astronomi del lavoro precedente, ma con una maggiore sensibilità complessiva. In particolare, i tassi di hit risultano più elevati in tutte le condizioni sperimentali, e questo aumento

non può essere attribuito a un cambiamento nella natura degli stimoli, bensì al contesto sperimentale. A differenza dello studio dell'anno scorso, somministrato online, il presente esperimento è stato condotto interamente in presenza. Il fatto di dover trovare scienziati specializzati, ha permesso di incontrare di persona i partecipanti per la somministrazione. Questo ha probabilmente garantito un maggior controllo delle condizioni di ascolto, una migliore qualità dell'attrezzatura e un minor numero di distrazioni, contribuendo a migliorare non solo la precisione ma anche la costanza delle risposte.

Il comportamento relativo ai FA avvalorava questa interpretazione. Nel modulo "Timbro", ad esempio, emerge un effetto marcato del mapping, con FA significativamente più elevati nelle sonificazioni orchestrali. Tuttavia, questo aumento non penalizza la performance, poiché i tassi di hit crescono parallelamente. È plausibile quindi che risposte più libere, date nel contesto adatto, abbiano portato a vantaggi prestazionali.

## Riferimenti e Bibliografia:

Brown, J. T., Harrison, C. M., Zanella, A., et al. (2022). Evaluating the efficacy of sonification for signal detection in univariate, evenly sampled light curves using Astronify. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 516(4), 5674–5683.

<https://doi.org/10.1093/mnras/stac2590>

Dubus, G., & Bresin, R. (2013). A systematic review of mapping strategies for the sonification of physical quantities. *PLOS ONE*, 8(12), e82491.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082491>

Ducci, M., & Mascetti, S. (2021). *La sonificazione: Tradurre informazioni in caratteristiche del suono*. In *Atti degli Accessibility Days 2021*. Milano/Online.

Enge, K., Rind, A., Iber, M., Höldrich, R., & Aigner, W. (2023). Towards a unified terminology for sonification and visualization. *Personal and Ubiquitous Computing*, 27(5), 1949–1963. <https://doi.org/10.1007/s00779-023-01720-5>

Fan, D., Smith, W., Fujioka, T., Chafe, C., O’Modhráin, S., Deutsch, D., & Follmer, S. (2025). Perceiving slope and acceleration: Evidence for variable tempo sampling in pitch-based sonification of functions. In *2025 IEEE Visualization and Visual Analytics (VIS)* (in press).

Fantozzi, F., Leccese, F., & Salvadori, G. (2017). *Valutazione numerica del cocktail party effect nell'acustica degli ambienti chiusi*. In *Atti del convegno*. ISBN 978-88-88942-54-4

Fournier d'Albe, E. (1913). *The Optophone: An instrument for reading by ear*. *Proceedings of the Physical Society of London*, 26(1), 1–12.

<https://doi.org/10.1088/1478-7814/26/1/301>

Gaver, W. W. (1993). *How do we hear in the world? Explorations in ecological acoustics*. *Ecological Psychology*, 5(4), 285–313.

[https://doi.org/10.1207/s15326969eco0504\\_2](https://doi.org/10.1207/s15326969eco0504_2)

International Community for Auditory Display (ICAD). (1992). *Proceedings of the First International Conference on Auditory Display*. Santa Fe Institute.

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

Leccese, F., Tuoni, G., & Silipo, M. (2007). *Il “cocktail party effect” e l'acustica dei ristoranti: un caso di studio*. In L. Marchegiani & S. G. Kardogan (Eds.), *Catalogo UNIFI. Contributo in atti del convegno*.

Marchegiani, L., Kardogan, S. G., Andersen, T., Larsen, J., & Harsen, L. K. (2011). *The role of top-down attention in the cocktail party: Revisiting Cherry's experiment after sixty years*. In *Proceedings of the 10th International Conference on Machine*

*Learning and Applications (ICMLA '11)*. IEEE.

<https://doi.org/10.1109/ICMLA.2011.143>

Misdariis, N., Özcan, E., Grassi, M., Pauletto, S., Barrass, S., Bresin, R., & Susini, P. (2022). Sound people speak to Star people – A sound experts' perspective on astronomy: Sonification projects. *Nature Astronomy*, 6(11), 1249–1255.

<https://doi.org/10.1038/s41550-022-01821-w>

Vickers, P., & Höldrich, R. (2019). Direct segmented sonification of characteristic features of the data domain. In P. Vickers, M. Gröhn, & T. Stockman (Eds.), *Proceedings of the 25th International Conference on Auditory Display (ICAD 2019)* (pp. 244–253). Newcastle upon Tyne, UK: Northumbria University.

<https://doi.org/10.21785/icad2019.043>

Hermann, T., Hunt, A., & Neuhoff, J. G. (Eds.). (2011). *The sonification handbook*. Logos Publishing House.

Hermann, T. (2011). *Taxonomy and definitions for sonification and auditory display*. In T. Hermann, A. Hunt, & J. G. Neuhoff (Eds.), *The Sonification Handbook* (pp. 5–25). Logos Verlag.