

Data Sonification

Trasformare i dati in musica

Sofia Li

5 giugno 2026

Indice

1	Introduzione	2
1.1	Cos'è la Data Sonification?	2
1.2	Perché trasformare dati in suono?	2
1.3	Breve storia	3
2	Principi di funzionamento	3
2.1	Dal dato al suono: il parameter mapping	3
2.2	Tipi principali di sonificazione	4
2.3	Basi matematiche: frequenze, scale e sintesi	5
3	Applicazioni	6
3.1	Astronomia e astrofisica	6
3.2	Medicina e scienze della vita	6
3.3	Clima e ambiente	6
4	Conclusione	7
4.1	Vantaggi	7
4.2	Limiti e sfide interpretative	7
4.3	Possibili sviluppi futuri	7
	Bibliografia e sitografia	9

1 Introduzione

1.1 Cos'è la Data Sonification?

La **data sonification** (sonificazione dei dati) è la trasformazione di dati numerici in suoni non verbali, con lo scopo di facilitarne l'interpretazione e la comunicazione. In altre parole, è un modo per *ascoltare* i dati invece di vederli.

Per capire meglio il concetto, è utile pensare alla **data visualization** (visualizzazione dei dati), cioè la rappresentazione visiva dei dati tramite grafici, diagrammi o immagini. Così come un grafico rende visibili le relazioni tra i numeri, la sonification le rende udibili: ogni valore numerico viene tradotto in un parametro sonoro, come l'altezza della nota, il volume o il timbro.

Una definizione precisa è fornita da dott. Bardelli et al. (2021):

“La trasformazione di dati in segnali acustici, ovvero un modo per rappresentare valori e relazioni come suoni non verbali percepibili, con l'obiettivo di facilitarne la comunicazione e l'interpretazione.”

1.2 Perché trasformare dati in suono?

A prima vista, l'idea di trasformare dati in suono può sembrare insolita. Siamo abituati a rappresentare le informazioni visivamente con grafici, tabelle o immagini in quanto sono più facili da interpretare. Perché, allora, coinvolgere l'udito?

In realtà c'è più di una risposta:

L'accessibilità. La scienza spaziale si è storicamente basata su immagini e rappresentazioni visive. Questo esclude di fatto le persone con disabilità visiva dalla piena partecipazione alla ricerca scientifica. La sonification apre un canale alternativo, rendendo i dati accessibili a chi non può utilizzare strumenti visivi. Come sottolinea il rapporto UNOOSA (2023): *esplorare modi diversi di interpretare e comunicare i dati apre porte a nuove scoperte e a un futuro più inclusivo.*

Il suono è multidimensionale. Un singolo suono può trasmettere più informazioni contemporaneamente: l'altezza, il volume, il timbro, la durata, ecc. possono variare in modo indipendente. Questo permette di rappresentare più variabili nello stesso momento, cosa difficile da interpretare con un grafico bidimensionale.

L'udito è intuitivo nell'interpretazione. Il sistema uditivo umano riconosce schemi, variazioni e anomalie in modo naturale e immediato. Un

cambiamento improvviso in un flusso di dati può risultare immediatamente evidente all'orecchio, anche senza un'analisi consapevole: il cervello lo percepisce prima ancora che lo si cerchi attivamente.

1.3 Breve storia

Storicamente, l'idea è comparsa molto prima del termine stesso: tra i primi esempi vi erano strumenti in cui il suono comunicava immediatamente lo stato di un sistema, come il contatore Geiger - più frequenti sono i clic, più alto è il livello di radiazione; nel "**The Sonification Handbook**" esso viene indicato direttamente come esempio di rappresentazione sonora dei dati, mentre il rivelatore stesso risale al 1928. In seguito, un principio simile è stato utilizzato negli strumenti medici, nei sistemi di allarme aeronautici e in altri dispositivi in cui è importante che una persona possa percepire rapidamente un cambiamento attraverso l'ascolto, invece di leggere dei numeri.

Negli anni 90, la sonificazione ha iniziato a formarsi come ambito scientifico: nel 1992 è stata fondata l'International Community for Auditory Display, che ha riunito i ricercatori nel campo della rappresentazione sonora dei dati, e nel 1999 è stato pubblicato l'importante **Sonification Report**, che ha descritto gli obiettivi, i problemi e le direzioni di sviluppo di questo settore.

Oggi la sonificazione viene utilizzata non solo nella scienza e nella tecnologia, ma anche nell'educazione, nell'arte, nella medicina, nell'astronomia e nelle tecnologie inclusive: per esempio, la NASA trasforma i dati di Chandra, Hubble, James Webb e di altri telescopi in frequenze udibili, affinché i dati spaziali siano accessibili anche alle persone con disabilità visive. Le ricerche contemporanee mostrano che questi progetti non producono soltanto suoni esteticamente interessanti, ma possono anche aiutare la comprensione: in uno studio NASA/Frontiers del 2024, le sonificazioni di oggetti astronomici sono state valutate da 3.184 partecipanti, tra cui persone cieche e ipovedenti, e i risultati hanno mostrato un effetto educativo e inclusivo positivo.

2 Principi di funzionamento

2.1 Dal dato al suono: il parameter mapping

Il principio principale della data sonification è trasformare un dato numerico in una caratteristica del suono. In altre parole, un numero non viene solo mostrato in una tabella o in un grafico, ma viene associato a qualcosa che possiamo sentire: per esempio l'altezza della nota, il volume, la durata, il ritmo oppure il timbro.

Questo processo si chiama *parameter mapping*, cioè “mappatura dei parametri”. Significa stabilire una relazione tra un parametro dei dati e un parametro sonoro. Per esempio, se il dato aumenta, anche la frequenza del suono può aumentare; se il dato diminuisce, il suono può diventare più basso o più debole.

Prima di trasformare un dato in suono, spesso è utile normalizzarlo, cioè portarlo in un intervallo semplice, di solito tra 0 e 1. La formula può essere:

$$n = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

dove x è il valore misurato, $x_{\min}$ è il valore minimo previsto, $x_{\max}$ è il valore massimo previsto e n è il valore normalizzato. Se n è vicino a 0, il dato è vicino al minimo; se n è vicino a 1, il dato è vicino al massimo.

Dopo la normalizzazione, il valore può essere trasformato in un parametro sonoro. Per esempio, se vogliamo trasformare un dato in una frequenza sonora, possiamo usare:

$$f = f_{\min} + n \cdot (f_{\max} - f_{\min})$$

dove f è la frequenza finale del suono, $f_{\min}$ è la frequenza più bassa scelta e $f_{\max}$ è la frequenza più alta scelta. In questo modo il dato viene tradotto in un suono in modo proporzionale. Per esempio, se l'altitudine aumenta, anche la frequenza può aumentare: il risultato è che il suono diventa più acuto.

2.2 Tipi principali di sonificazione

Esistono diversi modi per trasformare i dati in suono. Uno dei più semplici è l'*audification*. In questo caso il dato viene trattato quasi come se fosse già un segnale sonoro. Per esempio, un segnale molto lento può essere accelerato fino a diventare udibile. Questo metodo è utile quando i dati hanno già una forma simile a un'onda o a una vibrazione.

Un altro metodo molto comune è la *parameter mapping sonification*. In questo caso ogni tipo di dato controlla una caratteristica diversa del suono. Per esempio, la temperatura può controllare il timbro, la pressione può controllare il volume o la densità del suono, mentre l'altitudine può controllare l'altezza della nota. Questo metodo è molto adatto quando si vogliono rappresentare più dati contemporaneamente.

Un terzo tipo è la *sonificazione basata su eventi*. In questo caso non tutti i dati producono sempre un suono continuo: il suono appare solo quando succede qualcosa di importante. Per esempio, se un gas supera una certa soglia, il sistema può produrre un segnale breve, come un "beep". Questo tipo

di sonificazione è utile nei sistemi di allarme, perché permette di riconoscere subito un evento critico senza dover controllare continuamente i numeri.

In generale, questi metodi possono anche essere combinati. Una sonificazione può avere un sottofondo continuo che rappresenta dati sempre presenti e, sopra questo sottofondo, segnali brevi che indicano eventi particolari.

2.3 Basi matematiche: frequenze, scale e sintesi

Per capire la sonificazione non è necessario conoscere la teoria musicale in modo approfondito. Tuttavia, è importante comprendere alcune idee di base. Il suono è una vibrazione: quando qualcosa vibra, produce onde che arrivano al nostro orecchio. La frequenza indica quante vibrazioni avvengono in un secondo e si misura in hertz (Hz). Un suono con frequenza bassa viene percepito come grave, mentre un suono con frequenza alta viene percepito come acuto.

La relazione tra frequenza e periodo è:

$$T = \frac{1}{f}$$

dove T è il periodo, cioè il tempo necessario per completare una vibrazione, e f è la frequenza. Per esempio, un suono di 440 Hz compie 440 vibrazioni al secondo.

Nella musica occidentale, le note sono spesso organizzate in semitoni. Una formula semplice per calcolare la frequenza di una nota a partire da una nota di riferimento è:

$$f(n) = 440\text{Hz} \cdot 2^{\frac{n}{12}}$$

dove 440 Hz è la frequenza della nota La, e n è il numero di semitoni di distanza da questa nota. Se $n = 12$, la frequenza raddoppia e diventa 880 Hz: questo significa che siamo saliti di un'ottava.

Per generare un suono semplice al computer si può usare una funzione sinusoidale:

$$s(t) = A \sin(2\pi ft)$$

dove $s(t)$ è il segnale sonoro nel tempo, A è l'ampiezza, cioè il volume, f è la frequenza e t è il tempo. Questa formula produce un suono puro e semplice. Nella pratica, però, i suoni possono essere resi più interessanti modificando il timbro, aggiungendo effetti o combinando più onde sonore.

Quindi, la data sonification funziona come una traduzione: i dati vengono prima analizzati, poi trasformati in parametri sonori e infine generati come

suono. Lo scopo non è soltanto creare qualcosa di musicale, ma rendere i dati più percepibili, immediati e comprensibili.

3 Applicazioni

3.1 Astronomia e astrofisica

Una delle applicazioni più interessanti della sonificazione si trova nell'astronomia. Molti fenomeni spaziali non possono essere osservati direttamente in modo semplice: per esempio, un buco nero non emette luce visibile, ma possiamo studiare la materia che si muove intorno ad esso attraverso diversi tipi di radiazione. Nel progetto *Growing Black Hole*, i dati dei raggi X e della luce visibile provenienti dal sistema MAXI J1820+070 sono stati trasformati in suono. La luce visibile è stata rappresentata con suoni musicali a sinistra, mentre i raggi X sono stati rappresentati con un suono simile al rumore del vento a destra. Quando la luminosità aumentava, anche il suono diventava più intenso. In questo modo, l'ascoltatore poteva percepire i cambiamenti del fenomeno non solo guardando un grafico, ma anche ascoltandolo.

3.2 Medicina e scienze della vita

La sonificazione può essere usata anche nelle scienze della vita, perché molti processi biologici producono dati che cambiano nel tempo. Un esempio artistico e scientifico è *Biokāu: Music Generated by Plants*, un progetto in cui i ritmi circadiani di alcune piante endemiche messicane sono stati collegati a sintetizzatori per generare suoni. L'idea non è far "cantare" le piante in senso letterale, ma trasformare alcune loro variazioni biologiche in segnali sonori. Questo tipo di progetto aiuta a creare un rapporto più immediato tra l'essere umano e i processi naturali, rendendo percepibili fenomeni che normalmente restano invisibili o difficili da immaginare.

3.3 Clima e ambiente

Un altro ambito importante è quello del clima e dell'ambiente. In questo caso la sonificazione può aiutare a seguire cambiamenti atmosferici, qualità dell'aria, temperatura, pressione o altri parametri ambientali. Un esempio può essere una mia esperienza personale durante il concorso CanSat¹ 2026, per il quale io, con l'aiuto del mio team, ho realizzato una vera e propria

¹CanSat è una competizione educativa in cui gli studenti progettano e costruiscono un piccolo satellite delle dimensioni di una lattina.

sonificazione dei dati. I sensori del nostro satellite raccoglievano dati su altitudine, temperatura, pressione atmosferica, CO, NH₃ e NO₂. I primi tre parametri formavano un “sottofondo” composto da suoni continui e facilmente distinguibili tra loro: per esempio, più il satellite prendeva quota, più si alzava la nota del suono. Sopra questo sottofondo si sentivano brevi segnali acustici che indicavano quanti gas superavano la soglia massima stabilita. In questo modo, l’ascolto permetteva di capire rapidamente sia l’andamento generale del volo sia la presenza di possibili eventi critici legati alla qualità dell’aria.

4 Conclusione

4.1 Vantaggi

La data sonification mostra che i dati possono essere compresi non solo attraverso numeri, tabelle o grafici, ma anche attraverso il suono. Questo è uno dei suoi vantaggi principali: l’ascolto permette di percepire rapidamente cambiamenti, ripetizioni o anomalie. Per esempio, un aumento improvviso di un valore può essere riconosciuto subito se corrisponde a un suono più acuto, più forte o più frequente. Inoltre, la sonificazione può rendere i dati più accessibili anche a persone con disabilità visive, perché offre un modo alternativo per esplorare le informazioni.

4.2 Limiti e sfide interpretative

Tuttavia, la sonificazione ha anche alcuni limiti. Il primo problema è che un suono non è sempre facile da interpretare: se la relazione tra dato e suono non è chiara, l’ascoltatore può confondersi. Inoltre, se ci sono troppi parametri sonori nello stesso momento, il risultato può diventare caotico e difficile da capire. Per questo motivo, una buona sonificazione deve essere progettata con attenzione: ogni suono deve avere un significato preciso e deve essere distinguibile dagli altri.

4.3 Possibili sviluppi futuri

In futuro, la data sonification potrebbe diventare sempre più importante in diversi campi, come la ricerca scientifica, la medicina, l’ambiente, l’astronomia e l’educazione. Grazie allo sviluppo dell’intelligenza artificiale e dei sistemi interattivi, sarà possibile creare sonificazioni più precise, personalizzate e facili da usare. La sonificazione non sostituirà i grafici o le tabelle, ma

potrà completarli, offrendo un nuovo modo di percepire e comprendere i dati. In conclusione, trasformare i dati in suono significa rendere l'informazione più immediata, inclusiva e, in alcuni casi, anche più emozionante.

Riferimenti bibliografici

- [1] G. Kramer, B. Walker, T. Bonebright, P. Cook, J. Flowers, N. Miner e J. Neuhoff, *Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda*, International Community for Auditory Display, 1999.
- [2] T. Hermann, A. Hunt e J. G. Neuhoff, *The Sonification Handbook*, Logos Verlag, Berlino, 2011.
- [3] K. K. Arcand, J. S. Schonhut-Stasik, S. G. Kane, G. Sturdevant, M. Russo, M. Watze, B. Hsu e L. F. Smith, *A Universe of Sound: processing NASA data into sonifications to explore participant response*, Frontiers in Communication, 2024.
- [4] United Nations Office for Outer Space Affairs, *Sonification: A Tool for Research, Outreach and Inclusion in Space Sciences*, UNOOSA Special Report, 2023.
- [5] Focus, *Sonificazione: suoni e sound del cosmo e del mondo*, Focus.it, 2025. Disponibile online: <https://www.focus.it/scienza/spazio/suoni-spaziali>
- [6] NASA, *Data Sonifications*, NASA, 2025. Disponibile online: <https://www.nasa.gov/data-sonifications/>
- [7] Data Sonification Archive, *Biokāu: Music Generated by Plants From San Luis Potosí*, 2023. Disponibile online: <https://sonification.design/>
- [8] Audio Universe, *Growing Black Hole*, Newcastle University. Disponibile online: <https://www.audiouniverse.org/research/sonifications/growing-black-hole>