

# Sonificazione delle strutture cristalline per la didattica museale

Alessandro Monno

Giacomo Eramo

Ernesto Mesto

Mario De Tullio

Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro".

E-mail: [alessandro.monno@uniba.it](mailto:alessandro.monno@uniba.it); [giacomo.eramo@uniba.it](mailto:giacomo.eramo@uniba.it); [ernesto.mesto@uniba.it](mailto:ernesto.mesto@uniba.it); [mario.detullio@uniba.it](mailto:mario.detullio@uniba.it)

## RIASSUNTO

Il presente contributo espone una nuova strategia didattica applicata in ambito museale che si avvale di sonificazioni delle strutture cristalline ottenute mediante un metodo scientifico sviluppato dagli autori. L'ordine dell'arrangiamento degli atomi nelle strutture cristalline diventa percepibile attraverso i suoni, associando i parametri chimici e cristallografici (tipo di atomo, gruppo di appartenenza dell'atomo nella tavola periodica, periodo della tavola periodica, posizione angolare e distanza dell'atomo dall'asse di simmetria ecc.) a quelli musicali (durata, altezza, timbro, dinamica). Il metodo di sonificazione, quindi, ha prodotto melodie uniche per ogni struttura cristallina quali ad esempio ghiaccio, calcite, aragonite, diamante, grafite e altre ancora. Le melodie sono accompagnate da video che illustrano le simmetrie delle celle elementari dei cristalli, in modo da integrare il processo cognitivo e quello emotivo, creando un sistema efficace per l'apprendimento in ambito museale. Le sonificazioni sono state utilizzate nei percorsi e nei laboratori aperti del Museo di Scienze della Terra dell'Università di Bari e sono attualmente oggetto di progetti e studio nel campo delle STEAM.

Parole chiave:

sonificazioni, percezione, STEAM, didattica, cristalli.

## ABSTRACT

*Crystal structures sonifications for museum education*

*This paper presents a new teaching strategy for museum settings that uses sonifications of crystal structures obtained through a novel scientific method developed by the authors. The method associates chemical and crystallographic parameters (kind of atom, periodic table group, periodic table period, distance of an atom from the axis of symmetry, etc.) with musical ones (duration, pitch, timbre, dynamics) making the order of the atomic arrangement of the atom of the crystal structure perceptible through sound. Each crystal structure, such as ice, calcite, aragonite, diamond, graphite and others, is represented by a unique melody accompanied by videos illustrating the symmetries of the elementary cells of the crystals. The aim of the strategy is to integrate cognitive and emotional processes, creating an effective learning system for museum settings. The sonifications have been implemented in the itineraries and open laboratories of the University of Bari's Earth Science museum and are currently the subject of studies and projects in the STEAM field.*

Key words:

*sonifications, perception, STEAM, teaching, crystals.*

## INTRODUZIONE

Per contestualizzare il progetto "Aural Structures" è importante fornire una premessa riguardo alla mission del Museo di Scienze della Terra dell'Università di Bari, che ha ideato l'innovativa strategia didattica discussa nell'articolo. Negli ultimi anni, il Museo ha concentrato uno sforzo significativo nel campo della didattica museale, sperimentando nuovi percorsi didattici che collegano temi trasversali tra arte e scienza. L'arte, l'archeologia, la letteratura, il teatro, la danza, la biologia, la psicologia e altre discipline sono stati strettamente integrate alle tematiche mineralogiche, cristallografiche, petrografiche e paleontologiche, dando vita a esposizioni temporanee che hanno avuto feedback positivi a diversi livelli. In

questo contesto, la musica, definita dal poeta Longfellow "linguaggio universale dell'umanità", può fornire un supporto efficace alla comunicazione scientifica. L'idea di utilizzare le rappresentazioni sonore in relazione alla descrizione dei fenomeni naturali ha attirato molti scienziati nel corso degli anni. L'analogia tra suoni e orbite planetarie risale a Pitagora (ca. 580-495 a.C.) e fu poi adottata da Keplero (1571-1630) e Copernico (1473-1543). In questa rappresentazione, il Sole rappresenta il suono fondamentale di una serie di suoni in relazione matematicamente, che identificano i pianeti. Il chimico inglese John Newlands (1837-1898) ha suggerito, quattro anni prima della pubblicazione della tavola periodica di Mendeleev, una teoria denominata Legge delle Ottave, che si basa su un'analogia con le ottave musicali (Newlands,

1865). Al contrario, diversi compositori hanno utilizzato analogie con la scienza nelle loro composizioni, tra cui Paul Hindemith (1895-1963), Edgar Varèse (1883-1965) nella sua *Ionizzazione* e Karlheinz Stockhausen (1928-2007) in *Cosmic Pulses*. Edgar Varèse ha inoltre utilizzato i cristalli come modello simbolico per la composizione musicale, in cui struttura e forma hanno coerenza genetica, ma possono dare luogo a combinazioni praticamente illimitate (Delone & Wittlich, 1975). Esistono numerosi esempi e studi che dimostrano l'utilità della data sonification nella didattica delle STEAM. Solis-Moreira nel 2023, ad esempio, riporta uno studio sulla sonificazione degli spettri luminosi di emissione degli elementi (v. sito web 1). La conversione degli spettri caratteristici degli elementi in suoni può favorire una maggiore comprensione delle differenze tra gli elementi chimici. L'utilizzo della sonificazione dei dati può rappresentare un nuovo approccio all'apprendimento, che sfrutta i sensi uditivi, per aiutare i discenti a comprendere relazioni e modelli altrimenti difficilmente percepibili. Questa tecnica può essere applicata in molti campi, come ad esempio la fisica, la biologia, la chimica, l'informatica e molte altre discipline e può essere particolarmente utile anche per

persone ipovedenti, che altrimenti non avrebbero accesso a informazioni su dati visivi.

Tuttavia, al meglio delle conoscenze degli autori, a oggi non esiste ancora un sistema di rappresentazione musicale degli elementi e delle loro distribuzioni spaziali su base scientifica. L'obiettivo del presente progetto è lo sviluppo e sperimentazione di un metodo per descrivere le strutture cristalline in forma musicale, allo scopo di realizzare nuovi ed efficaci strumenti didattici per la comunicazione scientifica.

## LA SONIFICAZIONE DELLE SOSTANZE CRISTALLINE – "AURAL STRUCTURES"

Il metodo inventato per "tradurre" in musica le strutture cristalline discusso in questo studio e denominato "Aural Structures" ha come obiettivo fornire una rappresentazione sonora delle strutture cristalline dei minerali al fine di facilitare l'apprendimento della mineralogia e della cristallografia anche per i soggetti ipovedenti. L'algoritmo utilizzato per la traduzione dei dati cristallografici in suoni organizzati prevede la determinazione della durata

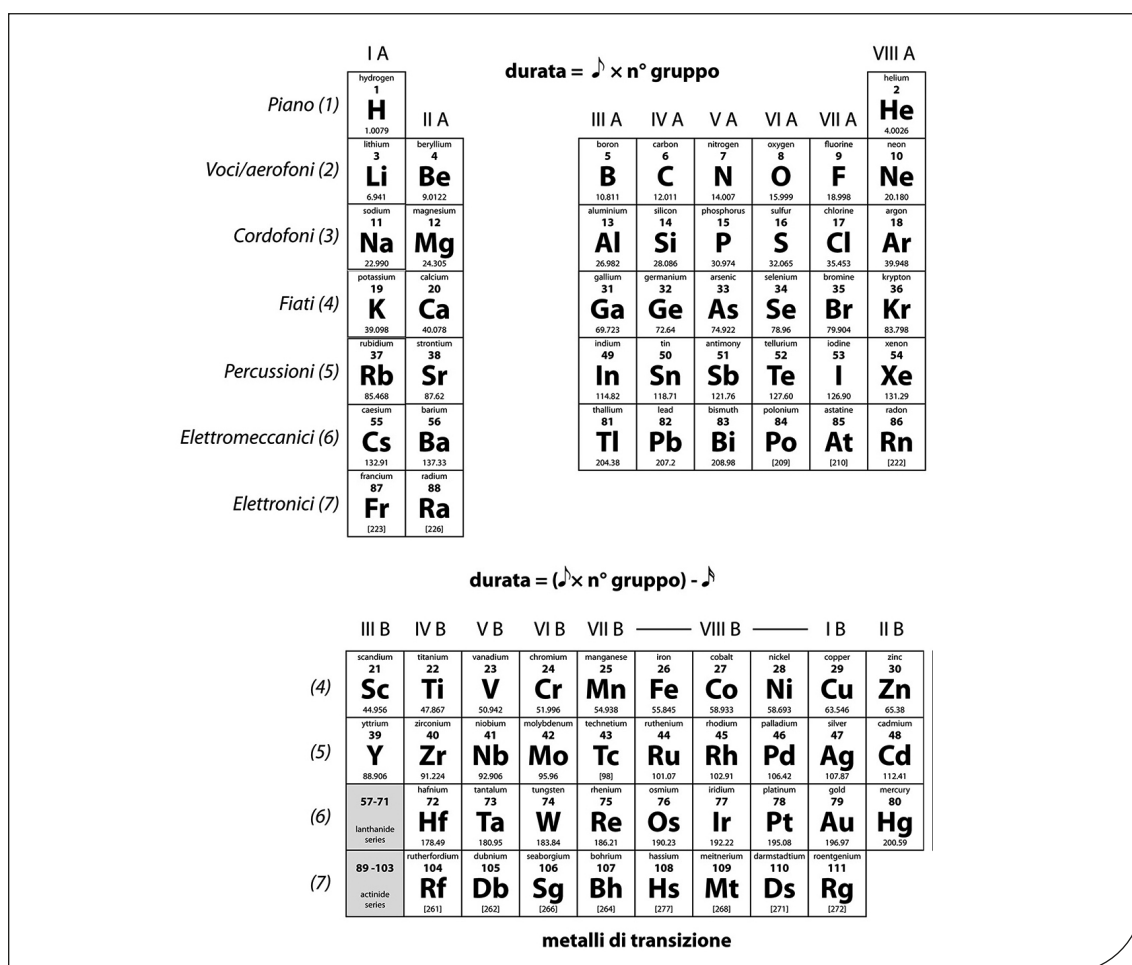


Fig. 1. Schema che illustra le modalità con cui sono stati scelti la durata e il timbro dei suoni associati ai diversi elementi (da Monno et al., 2016, modificato).

e del timbro delle note corrispondenti agli elementi chimici del cristallo. La posizione di ciascun elemento nella tavola periodica viene utilizzata come riferimento per assegnare la durata e il timbro delle note nella partitura musicale. La durata delle note è attribuita sulla base della regola dell'ottetto introdotta nel 1916 da Lewis e Kossel (Kossel, 1916; Lewis, 1916). La croma ( $\text{♩}$ ) viene utilizzata come unità ritmica per la durata di ogni nota. La durata di ciascun suono è quindi determinata dalla seguente equazione:  $\text{durata} = \text{♩} \times n^\circ \text{ gruppo}$  (fig. 1).

Il timbro delle note viene assegnato in base ai periodi della tavola periodica e alle relative famiglie di strumenti associate a essi (fig. 1). Ad esempio, gli elementi del secondo periodo, tipici delle molecole organiche (carbonio, azoto, ossigeno), sono rappresentati dalle voci umane che simboleggiano la vita, mentre i cordofoni rappresentano gli elementi del terzo periodo, e così via.

Una volta stabiliti timbro e durata delle note, occorre identificare la cella elementare del cristallo preso in esame. L'astrazione degli operatori di simmetria che operano nella

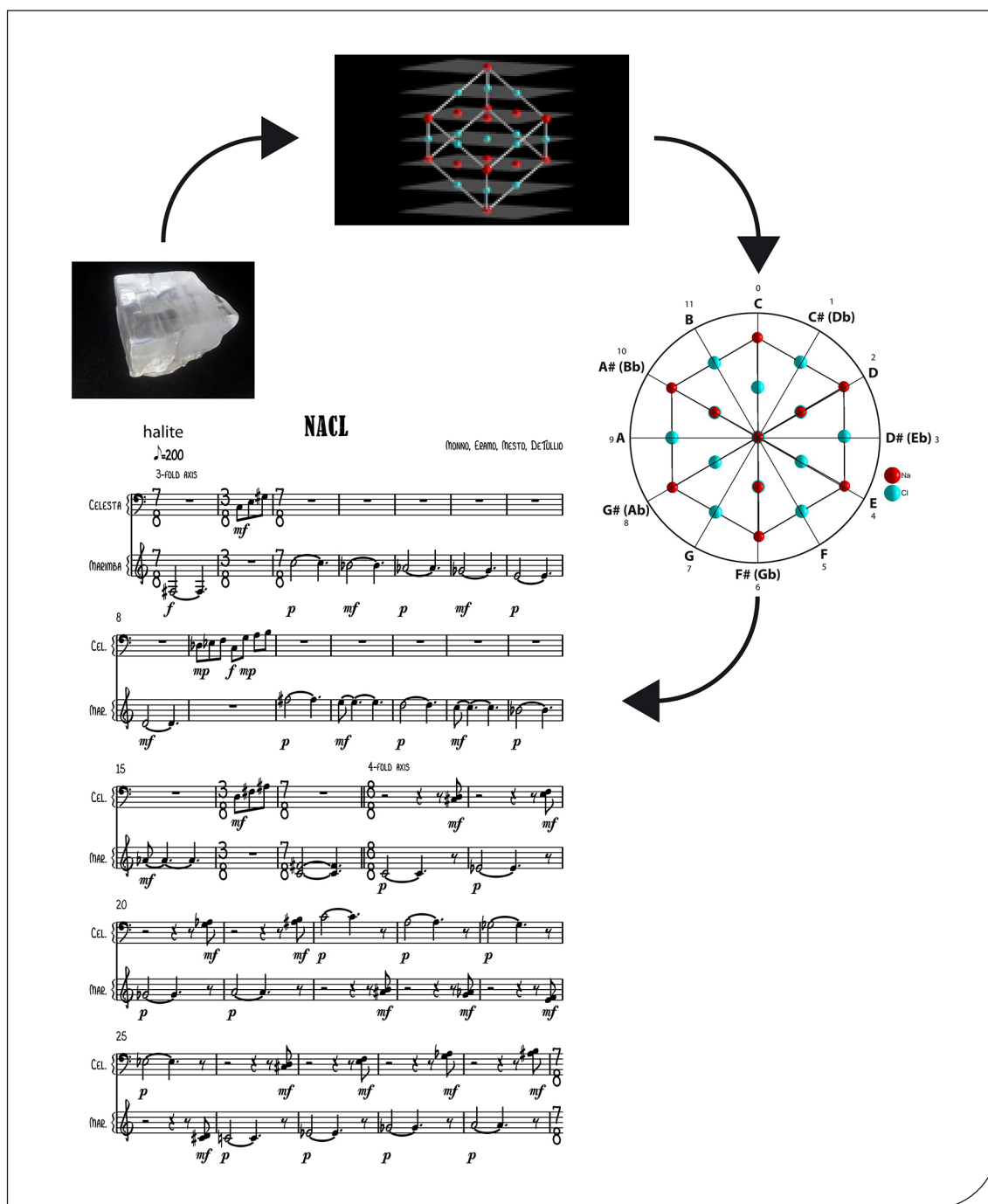


Fig. 2. Il cristallo di halite (NaCl) e la relativa partitura (da Monno et al., 2016).

cella elementare costituisce una chiave per la traduzione delle strutture cristalline, o più in generale delle strutture molecolari, in musica. Per identificare l'altezza delle note si utilizza l'angolo formato da ciascun atomo nella struttura cristallina e si assegna per convenzione la nota Do (C nella notazione anglosassone) al primo atomo preso in esame. L'asse di simmetria considerato passa attraverso l'origine del disco delle altezze. Pertanto, un atomo a 30° dalla posizione di partenza sarà un Do diesis (C#). Nel caso in cui un atomo sia in una posizione intermedia tra due angoli limite, la posizione verrà indicata da un bicordo formato dai due suoni adiacenti. Ad esempio, un angolo di 45° verrà rappresentato con le note Do diesis e Re (C# e D) suonate contemporaneamente. In tal modo, la posizione degli atomi che giacciono su un determinato piano definisce un insieme ordinato di altezze che viene utilizzato per la scrittura musicale. La sequenza complessiva dei diversi piani costituenti il cristallo si realizza alternando scansioni in senso orario e antiorario. Le dinamiche del suono (intensità) sono associate alle distanze degli atomi dagli assi di simmetria considerati nella scansione della struttura cristallina. Una indicazione di *fortissimo* (ff) viene attribuita agli atomi in posizione coincidente con l'asse di simmetria. In figura 2 viene riportata, a titolo di esempio, la partitura musicale originata dalla struttura cristallina del minerale halite (NaCl, cloruro di sodio). Ciascun atomo di sodio (Na) è rappresentato nel pentagramma superiore da una cromia, della durata di un ottavo (Na è nel primo gruppo, cfr. fig. 1). Gli atomi di cloro (Cl), rappresentati nel pentagramma inferiore, sono descritti da suoni della durata di sette ottavi (Cl è nel settimo gruppo). La scansione viene condotta lungo l'asse ternario, con l'orientazione mostrata in figura 2 (le sfere rosse indicano gli atomi di cloro, quelle blu gli atomi di sodio). Le dinamiche, che vanno dal *forte* (f) al *piano* (p) indicano le distanze degli atomi dall'asse di simmetria.

## IL PERCORSO MUSEALE "AURAL STRUCTURES"

All'interno degli spazi museali dedicati alla mineralogia e alla petrografia, è stato creato un percorso espositivo che illustra il metodo "Aural Structures". Tale percorso presenta delle sonificazioni delle strutture cristalline dei minerali più comuni, come la calcite, l'halite, il diamante, la grafite, l'aragonite, il quarzo e molti altri. Attraverso questa innovativa modalità di fruizione, i visitatori possono immergersi in un'esperienza sensoriale unica, che consente di apprezzare in modo nuovo e più completo la bellezza e la complessità del mondo minerale.

Per rendere l'esperienza più coinvolgente e immersiva, oltre ai consueti poster esplicativi che introducono al tema e fungono da supporto alla guida museale per spiegare il fenomeno scientifico in oggetto attraverso il metodo di sonificazione, sono state progettate e realizzate due cabine interattive di sonificazione ispirate alle forme di cristalli come il quarzo e il berillo. Tali cabine consentono a turno, a gruppi di quattro visitatori, di ascoltare e

visualizzare le sonificazioni proiettate su schermo in un ambiente tranquillo e raccolto, favorendo la concentrazione e l'attenzione. Inoltre, le cabine consentono un'ampia immersione e isolamento dal contesto museale, anche se solo per pochi minuti, al fine di ottenere un particolare effetto percettivo e suggestivo.

Oltre alle cabine di sonificazione, sono presenti modelli 3D di reticoli di Bravais e di celle elementari di minerali oggetto di sonificazione collocati su espositori adiacenti alle cabine. Lungo il percorso, sono previsti proiettori olografici che consentiranno una visione spaziale immediata ed efficace degli arrangiamenti atomici nelle strutture cristalline, lungo gli assi e i piani di simmetria operanti nelle stesse.

L'aspetto più interessante del percorso museale riguarda l'interdisciplinarietà dell'argomento, che si collega ad altri temi del sapere, rendendo più efficace e fluida la didattica museale.

Le potenzialità della comunicazione mediante sonificazioni sono state presentate in diversi ambiti scientifici (ad esempio in quelli gemmologico e cristallografico), umanistici, artistici e musicali (ad esempio l'Inferno di Dante). A titolo di esempio, durante l'esposizione temporanea "I campioni di Zolfo del Museo di Scienze della Terra", in collaborazione con il Sistema Museale di Ateneo dell'Università di Bari, nell'ambito del tema "Gli Zolfi italiani", organizzato dalla Commissione Musei della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia (SIMP), è stata sviluppata e presentata la sonificazione dello zolfo mediante l'algoritmo alla base del metodo "Aural Structures" che consente la conversione della composizione chimica e della struttura cristallina dello zolfo in suoni organizzati (Eramo et al., 2018). La melodia della cella elementare dello zolfo è stata associata a filmati che mostrano le esalazioni vulcaniche delle solfatare, creando suggestioni da paesaggio dantesco, di forte impatto emotivo e di significativa efficacia nella comunicazione.

Per la sonificazione dello zolfo, lo strumento preso in considerazione secondo il metodo "Aural Structures" è stato il violoncello. Oltre alla melodia ottenuta dalla cella elementare dello zolfo, sono state ottenute, in via sperimentale, anche delle armonie riferite alle forme cristallografiche dello zolfo (bipiramide rombica e bipiramide in combinazione con le facce del pinacoide), secondo la classificazione di accordi di Allen Forte, in funzione dell'orientazione dei cristalli nel piano della proiezione stereografica (Forte, 1973).

Uno storytelling dal titolo "Solfo: parole e musica dalle collezioni" (v. sito web 2), presentato al congresso "Il patrimonio culturale pugliese" tenutosi presso l'Università di Bari dal 28 al 30 settembre 2023, racconta l'esposizione temporanea immaginata al pari di una partitura musicale in cui assumono valore le parole e la musica. Le parole sono quelle presenti nei cataloghi e nei documenti annessi alle collezioni storiche, e non solo ci raccontano la storia dei campioni di zolfo con i loro personaggi, la loro origine ecc., ma si collegano idealmente anche a novelle della letteratura italiana come quelle di Pirandello e Verga, che

narrano la condizione dei Carusi delle miniere siciliane. La storia è basata sul passaggio cronologico e cromatico di immagini che dal bianco e nero, del primo Novecento, approdano alle meravigliose colorazioni gialle dei campioni di zolfo della collezione storica mineralogica "A. Pelloux", con il sottofondo delle sonificazioni delle strutture e dell'abito dei suoi cristalli.

Un altro particolare legame tra arte e scienza riguarda il Canto XXXII dell'*Inferno* di Dante Alighieri, che descrive il lago Cocito. Esso è stato oggetto di un'approfondita analisi scientifica per celebrare il settimo centenario della morte dell'autore. L'indagine si è concentrata sulla simmetria matematica e musicale dell'opera, rivelando equilibri strutturali e nella disposizione dei personaggi e dei luoghi. Le ambientazioni offerte dall'immaginario dantesco hanno ispirato numerose rappresentazioni cinematografiche fin dagli albori del cinema. Una delle rappresentazioni più celebri delle atmosfere infernali della Divina Commedia è il film del 1911 "L'*Inferno*" prodotto dalla Milano Films, diretto da Francesco Bertolini, Giuseppe De Liguoro e Adolfo Padovan (v. sito web 3). Il mondo del cinema incontra quindi quello delle scienze e, in tale connubio, l'espressione della simmetria presente nella musica del ghiaccio, idealmente del lago infernale Cocito, ottenuta tramite l'algoritmo "Aural Structures" offre ulteriori spunti immaginativi allo spettatore, rendendo il viaggio di Dante e Virgilio ancor più suggestivo. Nel video, disponibile online su YouTube (v. sito web 4), le simmetrie presenti nella struttura cristallina del ghiaccio sono diventate la colonna sonora di alcune sequenze di questo film muto. Interessante è anche l'applicazione dell'algoritmo per la sonificazione dei minerali alle gemme, che sembra offrire un'esperienza multisensoriale unica per i visitatori di un museo, che possono vedere e ascoltare le gemme contemporaneamente. Il progetto "Gem Session" parte dalla sonificazione del diamante, con "Aural Structures", e la combina con la sonificazione delle caratteristiche registrate sulla scheda di classificazione (peso, purezza, taglio ecc.). Il risultato costituisce un'ulteriore impronta digitale di tipo sonoro per ogni specifica gemma. La musica ottenuta è associata a immagini 3D della gemma che ruota intorno al suo asse di simmetria principale mentre sono esplicitate con sottotitoli le caratteristiche proprie della gemma stessa. L'effetto finale è il valore aggiunto dell'originalità dell'oggetto esposto che lo rende ancora più affascinante e suggestivo.

## CONCLUSIONI

L'utilizzo del metodo di sonificazione delle strutture cristalline illustrato in questo articolo potrebbe aprire nuove prospettive nel campo della museologia, offrendo un nuovo canale percettivo, quello sonoro, oltre al consueto canale visivo. Ciò potrebbe risultare molto interessante per visitatori, docenti e studenti coinvolti in diverse discipline STEAM, aprendo la possibilità di sviluppare progetti di collaborazione in ambito museale per ampliare la gamma di offerte didattico-educative.

È in corso d'opera "The Sound of Science(s)", un progetto di ricerca interdisciplinare, finanziato dall'Università di Bari, che vede il coinvolgimento di ricercatori di mineralogia, biologia, scienze della formazione e di insegnanti di scuola media superiore. L'obiettivo del progetto è comprendere l'efficacia reale sull'apprendimento dell'utilizzo delle sonificazioni. Le ricerche e le competenze trasversali relazionate in questo contributo possono essere condivise dalla comunità scientifica museologica, attraverso nuove proposte e collaborazioni tra musei interessati al progetto, ed essere certamente un elemento di discussione tra museologi aprendo nuovi spazi di riflessione sulla didattica museale. Inoltre, si potrebbe allargare il campo delle possibili applicazioni delle sonificazioni in ambiti non solo scientifici ma anche artistici, offrendo ai visitatori un'esperienza multisensoriale che potrebbe ampliare la loro comprensione e il loro apprezzamento delle strutture cristalline.

## BIBLIOGRAFIA

- DELONE R.P., WITTLICH G., 1975. *Aspects of 20th Century Music*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 541.
- ERAMO G., MONNO A., MESTO E., FERILLI S., DE TULLIO M., 2018. *Aural Structures: music as a tool to describe crystals and their origin*. In: Gómez Chova L., López Martínez A., Candel Torres I. (eds.), EDULEARN18 Conference Proceedings, 10th International Conference on Education and New Learning Technologies, Palma (Spain), 2-4 July 2018. IATED Academy, pp. 4098-4105 (ISBN: 978-84-09-02709-5).
- FORTE A., 1973. *The Structure of Atonal Music*. Yale University Press, New Haven, pp. 240.
- KOSSEL W., 1916. Über Molekülbildung als Frage des Atombaus. *Annalen der Physik*, 49: 229-362.
- LEWIS G.N., 1916. The Atom and the Molecule. *Journal of the American Chemical Society*, 38(4): 762-785.
- MONNO A., ERAMO G., MESTO E., DE TULLIO M., 2016. *The Music of Molecules: Novel Approaches for STEM Education*. In: Gómez Chova L., López Martínez A., Candel Torres I. (eds.), EDULEARN16 Conference Proceedings, 8th International Conference on Education and New Learning Technologies, Barcelona (Spain) 4-6 July 2016. IATED Academy, pp. 7442-7449 (ISBN: 978-84-608-8860-4).
- NEWLANDS J.A.R., 1865. On the Law of Octaves. *Chemical News*, 12: 83.

### Siti web (ultimo accesso 20.06.2023)

- 1) StudyFinds, Science & Technology News, "What does hydrogen sound like? Chemists create the first musical periodic table", J. Solis-Moreira, 27 march 2023 <https://studyfinds.org/first-musical-periodic-table/>
- 2) Solfo: parole e musica dalle collezioni <https://youtu.be/gGOkjfDjhjY>
- 3) L'*Inferno*, Milano Films, 1911 <https://www.youtube.com/watch?v=5E1jDn-tfQI>
- 4) Aural Structures all'*Inferno* <https://youtu.be/-3vFmDjmV9k>