

# Polifonica

17

Polifonica: una collana per persone di confine, che credono nel dialogo, talvolta anche conflittuale, tra i diversi sguardi disciplinari e nel confronto tra Scienze umane e Scienze naturali.

Specializzazione e approfondimento disciplinare non dovrebbero essere sinonimi di chiusura, poiché è esattamente dal dialogo con altri sguardi che si può rendere il proprio più profondo e complesso. Si può abitare un territorio collocandosi al suo centro e da lì osservarne l'estensione oppure privilegiarne i confini e spingere il proprio sguardo dentro e fuori per infrangere almeno un po' le barriere che li delimitano. Si tratta di qualcosa di simile a quanto accade in musica con la polifonia: un modo di comporre, contrapposto alla monodia, che mette in dialogo voci diverse, umane e strumentali, con differenti disegni melodici e ritmici, ma con pari dignità le une rispetto alle altre. Il risultato è una sorprendente armonia d'insieme, ottenuta attraverso una ben precisa costruzione contrappuntistica, cioè di contrapposizione delle parti. La complessità, del resto, altro non è se non la capacità di individuare legami dove non sembrano essercene o di crearne di nuovi ottenendo, così, una visione multiforme e creativa dell'oggetto di studio prescelto.

# Polifonica

Sguardi diversi tra immaginario, identità e culture

*Collana diretta da*

Maria Antonella Galanti  
(Università di Pisa)

*Comitato scientifico*

Alberto Mario Banti (Università di Pisa)  
Simonetta Bassi (Università di Pisa)  
Carla Benedetti (Università di Pisa)  
Stefano Brugnolo (Università di Pisa)  
Fabio Bocci (Università di Roma Tre)  
Franco Cambi (Università di Firenze)  
Lucio Cottini (Università di Udine)  
Luigi D'Alonzo (Università Cattolica di Milano)  
Lucia de Anna (Università di Roma "Foro italico")  
Adriano Fabris (Università di Pisa)  
Sergio Giudici (Università di Pisa)  
Alfonso Maurizio Iacono (Università di Pisa)  
Sandra Lischi (Università di Pisa)  
Alessandro Mariani (Università di Firenze)  
Roberto Maragliano (Università degli studi Roma Tre)  
Fabrizio Meroi (Università di Trento)  
Luigina Mortari (Università di Verona)  
Marisa Pavone (Università di Torino)  
Maria Grazia Riva (Università di Milano Bicocca)  
Bruno Sales (Neuropsichiatra Asl Toscana Centro)  
Alessandro Tosi (Università di Pisa)  
Tamara Zappaterra (Università di Ferrara)

Musica, Scienza e Linguaggio  
Dall'acustica musicale agli  
assistenti vocali

*a cura di*  
Sergio Giudici

*visualizza la scheda del libro sul sito [www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)*



Edizioni ETS



[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

© Copyright 2021

EDIZIONI ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16, I-56127 Pisa

[info@edizioniets.com](mailto:info@edizioniets.com)

[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

*Distribuzione*

Messaggerie Libri SPA

Sede legale: via G. Verdi 8 - 20090 Assago (MI)

*Promozione*

PDE PROMOZIONE SRL

via Zago 2/2 - 40128 Bologna

ISBN 978-884676133-0

# Indice

Introduzione 07

## Prima parte Musica e scienza

### Capitolo 1

La nascita dell'acustica musicale  
*Marco Sozzi* 17

### Capitolo 2

Musica, scienza e il *Nuovo Quadrivium* del '900  
*Sergio Giudici* 25

### Capitolo 3

Lo spettralismo musicale e contemporaneità  
*Alfonso Belfiore* 49

### Capitolo 4

Mozart gioca a dadi,  
musica e calcolo combinatorio nel XVIII secolo  
*Sergio Giudici e Ottaviano Tenerani* 67

## Seconda parte Suono, linguaggio e tecnologie

### Capitolo 5

La sonificazione delle onde gravitazionali  
*Francesco Di Renzo, Franco Frasconi, Massimiliano Razzano,  
Nunziato Sorrentino* 79

## Capitolo 6

Di suoni, sismi e sonificazione dei sismi

*Lapo Boschi, Spina Cianetti, Carlo Giunchi* 93

## Capitolo 7

Suono, linguaggio e intelligenza artificiale

*Mirko Tavoanis* 109

## Capitolo 8

Parlare con gli oggetti: tecnologia e filosofia  
delle interfacce vocali*Andrea Bolioli* 123

## Terza parte

## Suono, musica e didattica

## Capitolo 9

Musica da Liceo: un invito alla ricerca interdisciplinare

*Giordano Bindi, Anna Rita Giammetta, Lucia Neri,  
Marialuisa Pepi* 137

## Capitolo 10

Il temperamento: una questione musicale, scientifica e didattica

*Sergio Giudici e Ottaviano Tenerani* 151

## Capitolo 11

La costruzione della scala musicale

*Isidoro Ferrante* 163

## Capitolo 12

Dialoghi tra antiche e moderne musiche: una galileiana  
ricognizione*Manfred Gianpietro* 177

## Capitolo 13

Un Laboratorio di acustica e di ascolto musicale

*Sergio Giudici* 201

## Introduzione

La più antica polifonia europea di cui si conosce l'autore è il discanto *Viderunt Omnes* composto da Perotinus (ca. 1160-1230) ed eseguito per la prima volta nel giorno di Natale del 1198 nella cattedrale parigina di *Notre-Dame* ancora in costruzione. terminate le campate vicine alla crociera, i lavori si erano da poco trasferiti nell'area della facciata e, dunque, possiamo immaginare il pubblico di quella antica *première* – in parte formato dagli stessi cittadini impiegati nel cantiere – prendere posto tra impalcature, cordami e pietre appena sbozzate. Ecco che ad un cenno dell'officiante, il *tenor* attacca una lunga nota e su di essa si levano i danzanti arabeschi delle voci organali che, secondo precisi rapporti armonici, intonano le parole:

Viderunt omnes fines terrae salutare Dei nostri  
Exortum est in tenebris lumen [...]  
Sonet mare et terra et qui habitant in ea,  
et exultet in conspectu eius orbis terrarum.

Le lunghe note del *tenor* saturano gli spazi tra le navate e idealmente rimandano al cosmico bagno sonoro della *Musica Coelestis* nella quale ci si credeva immersi. Se non sapessimo che il Dio cantato è quello del cristianesimo potremmo confonderlo con il Sole stesso. Non è un caso, infatti, che il Natale cada prossimo al solstizio d'inverno, quando il *Sol Invictus* vince le tenebre autunnali e la durata del giorno ricomincia ad allungarsi. Nel cosmologico giubilo dei costruttori di cattedrali, musica e filosofia naturale si rispecchiavano e si davano reciproca conferma.

Quasi mille anni dopo, György Sándor Ligeti, ormai affermatissimo compositore, scriveva:

«Il pensiero e i metodi della Scienza sono talmente diversi da quelli dell'arte che non sono certo la tecnologia e le matematiche ad assumersi il compito di creare opere d'arte. I dati della scienza potrebbero invece fecondare il pensiero e l'immaginazione artistica raggiungendo in questo modo un risultato capace di incidere in maniera decisiva sullo sviluppo di una nuova arte visuale e di una nuova musica. Un'arte di questo genere sarebbe perfettamente in sintonia con lo spirito e la concezione della vita del nostro tempo»<sup>1</sup>.

Ligeti è troppo cauto nel dire che la fecondazione tra scienze e musica 'potrebbe' aver luogo; essa è già accaduta e continua ad accadere. Questioni musicali hanno avuto un ruolo importante nello sviluppo del pensiero scientifico e ora quello stesso pensiero pervade l'estetica musicale.

Le estasi dionisiache della musica rock hanno la loro base tecnica nei circuiti elettrici che amplificano e distorcono il suono. Ancora più astratte ma altrettanto significative sono le ibridazioni tra narrazioni scientifiche e immaginario musicale. Per analogia e somiglianza esse stabiliscono corrispondenze che - per quanto arbitrarie - creano significato ed è sulla base di questi processi che percepiamo proprie le tessiture micropolifoniche e i «meccanismi di precisione» di Ligeti come la *Musica Coelestis* di oggi, voce sirenica delle sideralità contemporanee.

I compositori utilizzano concetti derivati dalla fisica-matematica per parlare del suono, nel loro linguaggio e, dunque, nel pensiero, si trovano espressioni come 'parziale', 'involuppo spettrale', 'sintesi additiva'. In fisica, metafore tratte dall'acustica sono impiegate per dare concretezza ad astrazioni che nulla hanno a che vedere con il suono se non analogie formali. Alcuni processi in Fisica nucleare sono chiamati 'assorbimento risonante', e le particelle elementari sono concepite come modi vibrazionali del vuoto o di corde chiuse. Un fisico e musicista si occupano di vibrazioni: il primo le studia in laboratorio o astrattamente con la matematica, il secondo le produce sul suo strumento.

Tra gli algoritmi di maggiore impatto tecnologico è spesso citata la procedura nota come *Fast Fourier Transform* (FFT), ingegnosa

<sup>1</sup> G.S. Ligeti, *La mia posizione di compositore oggi*, in E. Restagno (a cura di), *Ligeti*, EDT, Torino, 1985, p. 5.



evoluzione delle tecniche matematiche inventate nell'Ottocento per risolvere un problema fisico-musicale: l'equazione delle onde di d'Alambert. L'algoritmo permette la rapida scomposizione di un segnale nelle sue componenti sinusoidali pure ed è il nocciolo computazionale dei formati audio e delle cosiddette tecnologie *Voice First* impiegate nel riconoscimento automatico del parlato e negli assistenti vocali.

Pensare il suono come somma di elementi puri ha permesso di realizzare voci e sonorità artificiali ed ha obbligato a rivedere le stesse categorie con le quali pensiamo la musica. Il paradossale glissando infinitamente discendente realizzato elettronicamente da Robert Shepard rivela che l'altezza di una nota è un parametro mal definito e suscettibile di inganno percettivo. Gli incroci compiuti tra tecniche strumentali e sintesi sonore realizzate al computer hanno ispirato la creazione di suoni che «senza essere ancora un timbro, non sono già più del tutto un accordo».

Oltre ai rumori naturali e ambientali, la sfera sonora in cui siamo immersi si compone in buona parte di suoni artificiali, di interazioni sonore e vocali con oggetti inanimati, segnali acustici, frammenti melodici e musiche di ogni tipo in cui antiche e nuove grammatiche coesistono elettronicamente.

Il *jingle* delle ferrovie francesi SNCF, diffuso oltre centomila volte al giorno, è famoso per la sua insolita tonalità minore e per aver colpito la fantasia di David Gilmour, il chitarrista dei *Pink Floyd*, che lo ha utilizzato in una canzone. Una indagine rivela che l'80% dei viaggiatori si dichiara legato a quella identità sonora, frutto di una raffinata progettazione acustica, caratterizzata da una certa sensualità timbrica e musicalmente confinata entro l'ambito di una sesta minore, intervallo che nel *sound design* è associato a «turbandamento, penombra sofferenza e malinconia» secondo uno schema che risale alle teorie barocche degli affetti.

Aspettando il TGV in stazione ci arrivano, dunque, suoni pensati in termini numerici e psico-acustici, organizzati secondo una retorica codificata all'epoca di Claudio Monteverdi e realizzati da circuiti elettronici.

Cogliere la complessità dell'esperienza sonora e musicale è, dunque, operazione che si può tentare solo mettendo in dialogo saperi

diversi ed è lo spirito dei saggi raccolti in questo volume. I contributi sono legati al pomeriggio di studi intitolato *Dalla nascita dell'Acustica Musicale agli assistenti vocali: Dialoghi su Musica, Scienza e Tecnologia*, inserito all'interno della *Giornata Galileiana* del 15 febbraio 2020 organizzata dall'Università e dal Comune di Pisa.

L'iniziativa è stata occasione per accogliere studiosi attivi nella ricerca accademica e d'impresa, invitati a ripercorrere l'itinerario che dalla nascita dell'acustica musicale giunge alla contemporaneità. Il volume raccoglie non solo gli interventi presentati in quella occasione ma anche altri pertinenti con il tema trattato e che non potevano essere inseriti nello spazio limitato di un pomeriggio.

Gli autori appartengono ad aree disciplinari diverse e l'intreccio dei loro sguardi – tra musica, storia della scienza, astrofisica, geologia, linguistica, filosofia e informatica – ha fornito le molteplici prospettive che insieme riescono a cogliere la frastagliata complessità del fatto sonoro.

La prima parte del volume affronta temi specificatamente musicali e si apre con il saggio di Marco Sozzi che discute la nascita della acustica musicale, avvenuta in quello spazio culturale, chiamato *Quadrivium*, in cui musica, aritmetica, geometria e astronomia erano contigue. Secondo lo studioso, quella contiguità non si è esaurita ma continua ad esprimersi nello sforzo di trovare chiavi di lettura oggettive e nei tentativi di formalizzazione dell'estetica.

Sergio Giudici analizza pagine musicali tratte da vari autori e discute come le musiche del Novecento operano in un *Nuovo Quadrivium* dove la tensione spirituale si alimenta di pensiero calcolante. L'autore si sofferma sulla l'antica idea di *Musica Coelestis* che, sebbene non più improntata ad un ideale eufonico, ancora costituisce un orizzonte di significato per le simbolizzazioni musicali contemporanee.

Alfonso Belfiore dedica il suo saggio allo spettralismo, la corrente musicale che a partire dagli anni '70 del XX secolo, ha saputo tradurre in risorsa espressiva lo studio delle caratteristiche del suono e delle sue componenti spettrali. Costruita attraverso strutture armoniche e inarmoniche, la musica spettrale ha inventato non solo paesaggi sonori inediti ma anche restituito ai suoi ascoltatori un'esperienza nuova nella percezione del suono stesso.

Nel saggio *Mozart gioca a dadi* Sergio Giudici e Ottaviano Tenerani ripercorrono la fortuna del gioco di società attribuito a Mozart e che permetteva di comporre un minuetto tirando una coppia di dadi. Gli autori analizzano le caratteristiche formali dello stile galante e mostrano come il gioco possa dare l'illusione del discorso musicale ispirato quando, in realtà si tratta di puro *patchwork* combinatorio.

La seconda sezione del volume è dedicata ad alcune particolari esperienze sonore che la digitalizzazione e la sintesi elettronica rendono oggi possibili, come le voci artificiali e la sonificazione di fenomeni di per sé non acustici.

Anche quando il suono è considerato come veicolo di significati esterni, esso non è mai puramente significante. Infatti, oltre all'eventuale significato, l'onda sonora trasporta sempre un metadato indissolubilmente legato alla propria materialità e che permette – ad esempio – di riconoscere una persona dal timbro di voce indipendentemente da ciò che dice. Allo stesso modo, il suono disarmonico di una campana che annuncia il mezzogiorno, diffonde l'informazione dell'ora ma dice anche qualcosa di sé, rivelando la natura metallica e la peculiare forma geometrica della sua sorgente.

Su scala cosmologica, lo stesso avviene con la sonificazione delle onde gravitazionali di cui discutono Francesco Di Renzo, Franco Frasconi, Massimiliano Razzano e Nunziato Sorrentino, astrofisici attivi presso lo *European Gravitational Observer* di Pisa. Gli autori mostrano come la traduzione dei segnali provenienti da sorgenti astrofisiche in elementi acustici è un artefatto cognitivo che permette – si può dire ad orecchio – la loro catalogazione e anche strumento di disseminazione culturale nelle forme della *citizen science*.

Tali esperienze rappresentano l'esito contemporaneo delle altrettanto rigorose sonificazioni proposte da Keplero, quando assegnava a ciascun pianeta un canto in base alle caratteristiche orbitali. Esse testimoniano le nuove forme in cui ancora si esprime l'antichissimo legame tra musica e cosmo.

Accanto alla *Musica Coelestis* esiste anche la musica tellurica, essa emerge con la sonificazione dell'attività sismica terrestre, di cui discutono Lapo Boschi, Spina Cianetti e Carlo Giunchi, ricercatori nel campo delle geo-scienze. Gli autori mostrano come l'ascolto di

un sismogramma permetta la classificazione di eventi sismici, distinguendo tra eventi naturali e artificiali e vedono nell'uso divulgativo e artistico della *Earthquake music* una sfida al primato epistemologico della vista.

Mirko Tavosanis dedica il suo saggio alle interfacce vocali, i dispositivi che sembrano oggi realizzare l'antico sogno di parlare con l'inanimato. Le prime ricerche nel settore risalgono agli anni '50 del secolo scorso e l'autore riassume le iniziali difficoltà incontrate nel riconoscimento del parlato dovute alla varietà timbrica della voce umana e alle diverse abitudini fonetiche. Gli attuali sistemi di dettatura automatica hanno percentuali di errore inferiori al 5% e si basano sulla combinazione di modelli acustici e linguistici. Il passaggio dal semplice riconoscimento alla comprensione automatica del parlato costituisce oggi una delle sfide alla intelligenza artificiale e – secondo l'autore – stanno inaspettatamente emergendo le potenzialità di sistemi ibridi che coniugano tecniche statistiche (reti neurali e apprendimento automatico) con tecniche più tradizionali basate su regole.

Le tecnologie *Voice First* e la filosofia del parlare con l'inanimato sono ulteriormente trattate nel contributo di Andrea Bolioli che introduce la *conversational engineering*: un gioco linguistico tra uomo e macchina, sicuramente nuovo ma ancora pensabile sul modello di quelli discussi da Wittgenstein. L'autore si sofferma sulla valutazione della accuratezza nella conversazione automatica dove il parlato umano è riconosciuto, compreso e uno *smart speaker* risponde.

La terza parte del volume è dedicata ad alcuni aspetti della didattica, in particolare al caso del Liceo Musicale, una scuola istituita in Italia soltanto da un decennio, la cui potenzialità interdisciplinare attende ancora una ricognizione ad ampio raggio.

La sezione si apre con il contributo di Giordano Bindi, Annarita Giammetta, Lucia Neri e Marialuisa Pepi, docenti presso il Liceo Musicale di Pisa, che discutono come l'autonomia scolastica consenta di ritagliare spazi per la sperimentazione interdisciplinare. Una di queste è l'esperienza performativa *Musica e Scienza ai tempi di Galileo*, ideata e realizzata dagli autori e dai loro allievi, con l'esecuzione degli inni di Mesomedes, musicista di età adrianea, nelle trascrizioni date da Vincenzo Galilei e che hanno contribuito alla for-

tuna del mito musicale greco nella Toscana tardo cinquecentesca.

Sergio Giudici e Ottaviano Tenerani affrontano la questione del temperamento musicale, riassumendo la tendenza storica che dal sistema mesotonico porta a quello equabile, e sottolineando come i temperamenti antichi che potrebbero suonare difettosi all'orecchio contemporaneo sono, in realtà, soluzioni perfettamente rispondenti alle estetiche del loro tempo. Tenuto conto della fortuna che oggi incontrano le esecuzioni storicamente informate, gli autori concludono che presentare gli aspetti sia musicali sia fisico-matematici del temperamento può essere una via interdisciplinare efficace per interiorizzare e quindi impiegare come risorsa espressiva i dettagli dell'intonazione.

Nel contributo di Isidoro Ferrante si affronta la questione delle scale musicali e della loro definizione proponendo una sequenza di insegnamento in cui la fisica-matematica risolve un problema tanto pratico quanto estetico. L'autore discute come dall'eredità teorica del mondo classico si giunge all'attuale sistema equabile pensato come compromesso tra ideale di consonanza e il vantaggio di avere la stessa distanza tra le note.

Il saggio di Manfred Gianpietro dedicato al recupero della tradizione musicale italiana risalente agli inizi del secolo scorso nel quadro del nazionalismo estetizzante dannunzianamente legittimato. L'autore si sofferma in particolare sull'interesse di Ottorino Respighi per alcune pagine di Vincenzo Galilei nelle quali il principale esponente storico del *recitar cantando* si rivela raffinato conoscitore delle dinamiche polifoniche.

Il volume si chiude con il contributo di Sergio Giudici che riprende gli argomenti trattati dagli altri autori calandoli entro un ideale "Laboratorio di acustica musicale e ascolto", in parte già realizzato presso il Museo degli Strumenti di Fisica di Pisa. In particolare, l'autore si sofferma sulla relazione tra simbolizzazioni musicali e alcuni semplici fenomeni acustici (risonanza, battimenti, onde parziali) oggetto di attività laboratoriale nella didattica.

\* \* \* \* \*

Oltre a ringraziare gli autori che hanno contribuito al volume, un ringraziamento va a coloro che, in forma diversa, hanno concorso al successo della Giornata Galileiana, in particolare i docenti e gli allievi della sezione musicale del Liceo Carducci di Pisa e l'Orchestra dell'Università di Pisa. Si ringrazia anche il coro "Vincenzo Galilei" della Scuola Normale di Pisa e quello della Università di Pisa e il suo direttore Stefano Barandoni.

Si ringrazia il pisano Sistema Museale di Ateneo, in particolare la sezione didattica del "Museo degli Strumenti per la Fisica" alla quale va il merito di aver realizzato e un percorso interattivo-laboratoriale per l'insegnamento della fisica, della teoria musicale e delle sue basi materiali. Si ringrazia Claudio Pallotino per l'aiuto con gli esempi musicali e Maura Capuzzo, preziosa interlocutrice in diverse occasioni.

Infine, un ringraziamento speciale al «Centro per la Diffusione della Cultura e della Pratica musicale» dell'Università di Pisa e alla sua direttrice Maria Antonella Galanti, pedagoga e appassionata cultrice di musica, per tutto il resto.

L'elenco completo delle pubblicazioni  
è consultabile sul sito

[www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)

alla pagina

<http://www.edizioniets.com/view-Collana.asp?col=Polifonica>



- 
18. Elena Falaschi, *Talento e resilienza. Dispositivi pedagogici per l'educazione del potenziale umano*, 2021, pp. 196.
  17. Sergio Giudici (a cura di), *Musica, Scienza e Linguaggio. Dall'acustica musicale agli assistenti vocali*, 2022, pp. 228.
  16. Donatella Fantozzi, *A regola d'arte. La street art tra didattica della legalità e paradosso della trasgressione*, 2020, pp. 120.
  15. Maria Antonella Galanti, Mario Paolini, *Un manicomio dismesso. Frammenti di vita, storia e relazioni di cura*, con prefazione di Gerardo Favaretto, 2020, pp. 268.
  14. Donatella Fantozzi, Tania Terlizzi (a cura di), *Insegnare e apprendere. Itinerari pedagogici e didattici nella scuola dell'infanzia e primaria*, 2019, pp. 232.
  13. Maria Antonella Galanti (a cura di), *Educabilità. Scuola ed educazione della persona: introspezione e relazionalità*, 2019, pp. 140.
  12. Andrea Sani, *Lo specchio della storia. Il grande cinema di ambientazione storica*, 2019, pp. 292.
  11. Matteo Borri, Samuele Calzone, *L'istruzione degli adulti in Italia. I CPIA attraverso la voce dei loro attori*, 2019, pp. 120.
  10. Edi Cecchini (a cura di), *Casa Futuro. Perché io no?*, 2019, pp. 120.
  9. Gianluca Corrado, *Processo alla verità o processo della verità? Il giudizio tra filosofia e diritto*, 2019, pp. 192.
  8. Carlo Coppelli, *La cornice e lo specchio. Riflessioni ed esperienze di terapia nei luoghi dell'arte*, 2018, pp. 264.
  7. Elena Marcheschi (a cura di), *Videogame Cult. Formazione, arte, musica*, 2019, pp. 176.
  6. Fabrizio Meroi, Paolo Vanini (a cura di), *Rivoluzioni. Aspetti del pensiero del Novecento*, 2018, pp. 284.
  5. Mariateresa Gammone, Francesco Sidoti, Corrado Veneziano, *I carabinieri e l'identità italiana*, con una nota di Nando dalla Chiesa, 2018, pp. 244.





Edizioni ETS

Palazzo Roncioni - Lungarno Mediceo, 16,  
I-56127 Pisa

[info@edizioniets.com](mailto:info@edizioniets.com) - [www.edizioniets.com](http://www.edizioniets.com)  
Finito di stampare nel mese di febbraio 2022

