

Esplorare il Passato Attraverso l'Auralizzazione Dinamica dei Beni Culturali: il Caso Studio del Teatro Greco-Romano di Tindari

*Original*

Esplorare il Passato Attraverso l'Auralizzazione Dinamica dei Beni Culturali: il Caso Studio del Teatro Greco-Romano di Tindari / Lavagna, L., Astolfi, A., Shtrepi, L., Farina, A., Farina, A.. - ELETTRONICO. - (2024). (50° Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Acustica Taormina (IT) ).

*Availability:*

This version is available at: 11583/2990113 since: 2024-07-01T15:20:15Z

*Publisher:*

Associazione Italiana di Acustica

*Published*

DOI:

*Terms of use:*

This article is made available under terms and conditions as specified in the corresponding bibliographic description in the repository

*Publisher copyright*

(Article begins on next page)

## ESPLORARE IL PASSATO ATTRAVERSO L'AURALIZZAZIONE DINAMICA DEI BENI CULTURALI: IL CASO STUDIO DEL TEATRO GRECO-ROMANO DI TINDARI

Lorenzo Lavagna (1), Arianna Astolfi (1), Louena Shtrepi (1) Angelo Farina (2), Adriano Farina (3)

1) Politecnico di Torino, [lorenzo.lavagna@polito.it](mailto:lorenzo.lavagna@polito.it), [arianna.astolfi@polito.it](mailto:arianna.astolfi@polito.it), [louena.shtrepi@polito.it](mailto:louena.shtrepi@polito.it).

2) Università di Parma, [farina@unipr.it](mailto:farina@unipr.it)

3) Politecnico di Milano, [adriano.farina@mail.polimi.it](mailto:adriano.farina@mail.polimi.it)

### SOMMARIO

Questo lavoro descrive le strategie impiegate per la creazione di un'esperienza audiovisiva in realtà virtuale che permette di esperire l'evoluzione dell'acustica del Teatro di Tindari (Sicilia) in 4 periodi storici: greco, ellenistico, romano, e odierno.

Tramite la simulazione e interpolazione di 1070 Risposte all'Impulso Ambisoniche (ARIR) distribuite sulla superficie del teatro, abbiamo creato un'auralizzazione dinamica a 6 gradi di libertà (6DoF), entro cui l'utente può muoversi liberamente.

### 1. Introduzione

L'auralizzazione dinamica, sta ricevendo notevole attenzione grazie alla popolarizzazione delle tecnologie di Realtà Virtuale (VR) [1]. A partire dai primi studi pionieristici degli anni '90 [2] sono state sviluppate molteplici soluzioni per permettere un'auralizzazione interattiva e immersiva che varia nel tempo in coerenza con i movimenti dell'utente nello spazio virtuale [3].

Questi nuovi strumenti costituiscono un'opportunità per sperimentare ambienti acustici di pubblico interesse, come gli edifici del patrimonio culturale, anche nelle loro configurazioni storiche precedenti, che non sono più accessibili fisicamente [4,5].

Questo lavoro si concentra sul loro utilizzo per la valorizzazione dell'acustica dei teatri romani e greci, un argomento di grande interesse sin dal progetto ERATO [6]. L'auralizzazione dinamica può consentire agli utenti di esplorare virtualmente questi luoghi e di apprezzarne le caratteristiche acustiche come se fossero realmente presenti al loro interno.

### 2. Simulazione

Attualmente esistono due metodologie principali per ottenere un'auralizzazione dinamica in 6DoF:

1) Interpolazione tra multipli ricevitori virtuali ambisonici: l'Ambisonics è intrinsecamente in grado di consentire il 3DoF, che limita il movimento dell'utente alla rotazione della testa; tuttavia è possibile estenderne le capacità interpolando più registrazioni ambisoniche o più ARIR (*Ambisonic Room Impulse Response*), come è stato fatto nel caso di studio della Cattedrale di Notre-Dame [7].

2) Simulazione in tempo reale: la propagazione dell'onda sonora viene computata durante l'interazione dell'utente con lo spazio, questo facilita la simulazione di scenari in cui si hanno sia ricevitori che sorgenti sonore in movimento. Tuttavia richiede una capacità di elaborazione computazionale notevolmente più elevata e comporta compromessi sul realismo del dettaglio sonoro, soprattutto per ambienti complessi [3].

La prima soluzione richiede una più lunga preparazione, ma è in grado di offrire un'elevata accuratezza senza necessitare di grande potenza computazionale, la nostra attenzione è quindi ricaduta su questa tecnologia.

### 3. Metodologia

La metodologia di lavoro si basa sul posizionamento di una griglia di ricevitori virtuali all'interno della cavea e sul tracciamento dei dati di traslazione e rotazione ricevuti dall'Head-Mounted Display (HMD) indossato dagli utenti. A tal fine:

- 1) Abbiamo effettuato una ricerca storica sul sito e sull'evoluzione del teatro.
- 2) Abbiamo costruito un modello 3D accurato della configurazione attuale, lo abbiamo calibrato e successivamente utilizzato come base per modellare le configurazioni passate (questo passaggio è descritto approfonditamente in [8]).
- 3) Abbiamo eseguito simulazioni tramite beam-tracing piramidale con il software Ramsete [9] per calcolare le ARIR in 3° Ordine Ambisonico per 535 posizioni (Figura 1).
- 4) Abbiamo posizionato due sorgenti virtuali in modo di favorire la sensazione di spazialità sonora; è stato quindi necessario raddoppiare il numero di simulazioni, portandole a 1070 per ogni configurazione storica.
- 5) Abbiamo caricato le ARIR in una catena di plug-in VST open source (descritta nel paragrafo 5), controllati da remoto tramite il protocollo Open Sound Control (OSC).
- 6) Abbiamo utilizzato il motore di gioco Unity per inviare comandi OSC ai plug-in VST per fornire la postura, ovvero l'orientamento e la posizione del soggetto. Questi dati vengono utilizzati per selezionare le ARIR più prossime alla posizione dell'utente, che verranno interpolate in fase di convoluzione attraverso il plugin RoomZ [10].

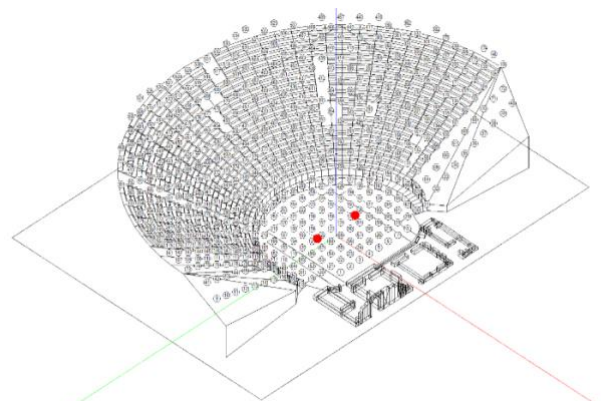


Figura 1 – Posizioni di ricevitori e sorgenti virtuali utilizzati per la simulazione. Le due sorgenti sonore sono evidenziate in rosso.

#### 4. Inquadramento storico

Il teatro di Tindari, in Sicilia, ha subito modifiche radicali nel corso dei secoli. Costruito nel IV secolo a.C. in epoca greca, poteva ospitare 3000 spettatori ed era costituito solo dalla cavea. In epoca ellenistica fu aggiunta la scena, fornendo forti riflessioni sonore grazie all'elevata riflettività dei blocchi di arenaria di cui è composta (Figura 2). L'intervento romano trasformò poi lo spazio in un'arena, abbassando l'orchestra e distruggendo parte della cavea [11]. Abbandonato e danneggiato da eventi naturali, il teatro fu riscoperto nel XX secolo. Oggi ospita concerti estivi con 900 posti, ma l'assenza della scena e il deterioramento della pietra hanno intaccato la sua acustica originaria.

#### 5. Applicazione immersiva audio-visiva

##### 5.1 Sistema in Unity

Il progetto Unity costituisce la connessione tra tutti i pezzi del puzzle: la catena di elaborazione del suono, l'HMD e i modelli visivi (Figura 3), che vengono renderizzati in tempo reale dal motore di gioco.

Si basa sul pacchetto OpenXR, a cui abbiamo aggiunto un'interfaccia utente (UI) per navigare tra le quattro configurazioni storiche, e uno script che permette di inviare due flussi di dati attraverso due porte OSC:

- 1) porta 9000: invia i dati di posizione al VST RoomZ.
- 2) porta 9001: invia i dati di rotazione al VST IEM SceneRotator [12].

Una schermata di selezione della scena viene proiettata davanti al controller sinistro. In questo modo l'utente può saltare da una configurazione storica all'altra per confrontare le loro qualità sonore.



Figura 2 – Vista renderizzata dei modelli 3D nella configurazione ellenistica del teatro di Tindari.

##### 5.2 La catena di elaborazione audio

La catena di elaborazione audio (Figura 3) è ospitata in Max/MSP, ma può essere riprodotta in qualsiasi Digital Audio Workstation che supporti il l'ambisonics di terzo ordine. Di seguito in breve il suo funzionamento:

- 1) Due tracce musicali registrate in camera anecoica vengono riprodotte e inviate a RoomZ.
- 2) RoomZ seleziona 3 risposte all'impulso in base alla posizione dell'utente e le interpola usando il metodo Deluany [10]. Genera in questo modo un'unica ARIR che viene utilizzata per la convoluzione del segnale anecoico.
- 3) L'uscita Ambix a 16 canali di RoomZ viene elaborata dal plug-in SceneRotator, che ruota il campo sonoro, compensando la rotazione della testa dell'ascoltatore. Ciò è ottenuto grazie ai dati di catturati dall'HMD, e trasmessi tramite OSC da Unity.

- 4) Il segnale viene convertito in binaurale all'interno del VST IEM BinauralDecoder che utilizza i filtri HRTF standard della testa fittizia Neumann KU100.
- 5) L'audio binaurale viene infine riprodotto in delle cuffie Sennheiser HD600 equalizzate.

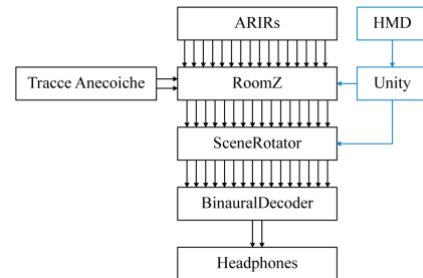


Figura 3 – Catena di elaborazione del segnale per l'auralizzazione dinamica. Le frecce nere rappresentano i canali audio, quelle blu il flusso di dati di tracciamento (posizione e orientamento) dell'utente.

#### 6. Conclusioni

Il sistema adottato offre una soluzione modulare e flessibile per ottenere l'auralizzazione dinamica 6DoF. Questo lavoro apre la strada a future ricerche per migliorare il realismo dell'auralizzazione. Una possibilità è sviluppare un'applicazione autonoma per smartphone o Meta Quest e una soluzione web-based per offrire l'esperienza di realtà virtuale audiovisiva a 6DoF direttamente nel browser, senza installazioni software.

#### 7. Ringraziamenti

Il finanziamento di questo studio è stato fornito dal progetto dell'Unione Europea Joint Programming Initiative on Cultural Heritage PHE (The Past Has Ears, [phe.pasthasears.eu](http://phe.pasthasears.eu)) nell'ambito della convenzione di sovvenzione N° 699523.

#### 8. Bibliografia

- [1] D. Poirier-Quinot, B.F.G. Katz, M. Noisternig: EVERTims: Open Source Framework for Real-time Auralization in Architectural Acoustics and Virtual Reality. (2017).
- [2] L. Savioja, J. Huopaniemi, T. Lokki, R.~Väänänen: Creating Interactive Virtual Acoustic Environments. *Journal of the Audio Engineering Society* 47 (1999) 675–705.
- [3] N. Raghuvanshi, H. Gamper: Interactive and Immersive Auralization, in: M. Geronazzo, S. Serafin (Eds.), *Sonic Interactions in Virtual Environments*, Cham, Springer International Publishing. 2023: pp. 77–113.
- [4] S. Girón, Á. Álvarez-Corbacho, T. Zamarreño: Exploring the Acoustics of Ancient Open-Air Theatres. *Archives of Acoustics* 45 (2020) 181.
- [5] B. Katz, D. Murphy, A. Farina: The Past Has Ears (PHE): XR Explorations of Acoustic Spaces as Cultural Heritage, in: *Virtual Reality and Computer Graphics AVR 2020*, Salento, Italy, 2020: pp. 91–98.
- [6] "Audio visual conservation of the architectural spaces in virtual environment". *Proceedings of the ERATO Project Symposium*, in: Istanbul, 2006.
- [7] N. Eley, S. Mullins, P. Stitt, B. Katz: Virtual Notre-Dame: Preliminary results of real-time auralization with choir members, in: *Intl Conf 3D Audio (I3DA)*, Virtual, Italy, 2021: pp. 1–6.
- [8] L. Lavagna, L. Shtrepi, A. Bevilacqua, A. Farina, A. Astolfi: Immersive audio inside the Greek-Roman theatre of Tyndaris: comparison between past, current and future conditions, in: *Proceeding of the 24th International Congress on Acoustics*, Gyeongju, Korea, 2022.
- [9] A. Farina: RAMSETE - a new Pyramid Tracer for medium and large scale acoustic problems. (1995).
- [10] D. Poirier-Quinot, P. Stitt, B.F.G. Katz: RoomZ: Spatial panning plugin for dynamic auralisations based on RIR convolution. (2023).
- [11] L. Bernabò Brea: Due secoli di studi, scavi e restauri del teatro greco di Tindari. *Rivista Dell'Istituto Nazionale Di Archeologia e Storia Dell'Arte XIII–XIV* (1965) 100–144.
- [12] IEM Plugins. (2023). <https://plugins.iem.at/> (accessed 1 February 2023).