POLITECNICO DI TORINO
Repository ISTITUZIONALE

Integrazione della simulazione acustica con ricostruzione fotorealistica immersiva: Un protocollo sperimentale applicato al Maneggio Alfieriano

Original
Integrazione della simulazione acustica con ricostruzione fotorealistica immersiva: Un protocollo sperimentale applicato al Maneggio Alfieriano / Sileo, G., Bono, F., Lavagna, L., Shtrepi, L., Calandra, D., Pratticò, F.G., Astolfi, A.. - ELETTRONICO. - (2026), pp. 1-2. (52° Convegno Nazionale Associazione Italiana di Acustica (AIA 2026) Perugia (IT) June 10-12, 2026).

Availability:
This version is available at: 11583/3012154 since: 2026-08-15T16:51:06Z

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)

12 November 2026

Associazione Italiana di Acustica
52° Convegno Nazionale
Perugia, 10-12 Giugno 2026

INTEGRAZIONE DELLA SIMULAZIONE ACUSTICA CON RICOSTRUZIONE FOTOREALISTICA IMMERSIVA: UN PROTOCOLLO SPERIMENTALE APPLICATO AL MANEGGIO ALFIERIANO

Giulia Sileo (1), Francesco Bono (2), Lorenzo Lavagna (1), Louena Shtrepi (1), Davide Calandra (2), Filippo Gabriele Pratticò (2), Arianna Astolfi (1)

1) Dipartimento Energia "Galileo Ferraris", Politecnico di Torino, Torino, s327311@studenti.polito.it, louena.shtrepi@polito.it. lorenzo.lavagna@polito.it – arianna.astolfi@polito.it
2) Dipartimento di Automatica e Informatica, Politecnico di Torino, Torino, s329847@studenti.polito.it, davide.calandra@polito.it, gabriele.prattico@polito.it

SOMMARIO

La fruizione audiovisiva degli ambienti architettonici in fase di progetto anticipa l'esperienza sensoriale altrimenti accessibile unicamente a opera realizzata. Questo lavoro presenta un modello digitale che coniuga le auralizzazioni e una visualizzazione immersiva verosimile dell'esecuzione musicale di un violinista analizzata come caso studio all'interno del Maneggio Alfieriano alla Cavallerizza di Torino. Il risultato è una forma di rappresentazione che descrive digitalmente l'ambiente nella sua totalità sensoriale.

1. Introduzione

La rappresentazione audiovisiva costituisce uno strumento fondamentale per migliorare la fruizione immersiva dello spazio architettonico in fase progettuale [1]. Questo studio, focalizzato sulla volumetria del complesso della Cavallerizza Reale di Torino, analizza lo scenario di recupero del Maneggio Alfieriano, dove lo spazio architettonico è rappresentato nella sua condizione attuale.

La ricerca propone di superare i limiti della canonica rappresentazione visuo-centrica d'assetto degli spazi al fine di innestare un cogente paradigma multisensoriale immersivo.

Il lavoro consiste nello sviluppo di un metodo che permette di introdurre una sorgente sonora sincronizzandola al suo corrispettivo visivo, all'interno di un modello 3D di un ambiente, fruibile con tecnologie immersive. L'esecuzione musicale di un violinista è stata registrata nella camera anecoica e video-catturata nel VisionaryLab del Politecnico di Torino durante una performance. Tali catture audiovisive sono state integrate nel modello virtuale della sala del Maneggio Alfieriano. Questo è reso possibile dall'unione di due tecnologie: un ambiente virtuale immersivo realizzato tramite Unreal Engine 5 e le auralizzazioni ottenute con il software di room acoustics Odeon 19 [2], che permettono di ascoltare la risposta acustica dello spazio simulato [2].

2. Metodologia

2.1 Acquisizione dei dati in campo e in laboratorio

La ricerca è partita dall'acquisizione di dati sperimentali in campo e in laboratorio. Il sopralluogo al Maneggio Alfieriano ha permesso, tramite rilievi fonometrici e fotografici, di misurare il tempo di riverberazione reale dello stato di fatto e caratterizzare i materiali riprodotti nel modello acustico e visivo. Tale operazione è stata determinante per calibrare il modello acustico digitale, garantendo che la simulazione acustica riproducesse fedelmente il volume architettonico reale.Successivamente, presso la camera anecoica, l'esecuzione del violinista è stata registrata tramite quattro microfoni omnidirezionali disposti ortogonalmente attorno alla sorgente all'altezza di circa 1,7 m da terra e alla distanza di circa 1 m, ad azimut 0°, 90°, 180°, 270°. Di seguito, nel VisionaryLab, la stessa performance è stata video catturata tramite videocamera Sony A7M3 (obiettivo Tamron A032) con una configurazione basata su schermo verde (Figura 2.dx), per facilitare il necessario processamento rotoscopico in fase di post-produzione. La videocamera è stata posizionata rispetto allo strumentista per riprodurre tre punti di osservazione/ascolto (PO) nel volume architettonico, ad equi-altezza di 1,2 m attorno alla sorgente posta in posizione centrale, a 0°, 120° e 240° azimut, e distanza 4, 5 e 6 m, rispettivamente, per poter garantire coerenza e corrispondenza prospettica del risultato visualizzato. A supporto di tali acquisizioni, sono stati prodotti due modelli digitali distinti: uno semplificato realizzato tramite il software SketchUp per la simulazione acustica in Odeon e uno ad alto grado di dettaglio realizzato tramite il software Rhinoceros (v8) utilizzato invece per la restituzione visiva nella simulazione realizzata tramite UE5.

2.2 Simulazione acustica e auralizzazione

La simulazione acustica è stata eseguita tramite due diverse metodologie (Figura 1). Nel primo caso (metodo 1, tradizionale) , per calcolare le risposte all'impulso ambisoniche e i parametri acustici nelle tre posizioni di ascolto attorno ad essa, P1, P2 e P3 lo spazio è stato eccitato da una singola sorgente posta al centro della sala, con direttività e potenza sonora corrispondenti ad un "violinista" posto a 1,7 m da terra. Per preservare il timbro del violino registrato, le simulazioni finalizzate all'auralizzazione sono state eseguite utilizzando il ballon di direttività "Violin_Natural" fornito in Odeon [3], appositamente equalizzato per presentare una risposta in frequenza piatta sull'angolo 0, ovvero nella direzione frontale. L'auralizzazione dell'audio per i tre ricevitori è stata effettuata convolvendo ogni risposta all'impulso ambisonica con la traccia anecoica registrata nella direzione 0° azimut.

Nel secondo caso (metodo 2, a sorgente composita), è stato adottato un approccio volto a superare le approssimazioni del primo scenario, discretizzando la sorgente in un gruppo di 4 unità. Ogni unità è stata caratterizzata da una direttività parziale uniforme che limita la radiazione a un singolo quadrante sferico (π steradianti) [4], [5]. La convoluzione è stata effettuata in seguito fra la risposta all'impulso ottenuta per le tre posizioni di ascolto e le tre tracce anecoiche registrate ad azimut 0°, 90° e 180°, ritenute le più prossime ai punti ricevitori. Superando la rappresentazione puntiforme, questo metodo integra le componenti sonore multidirezionali, definendo con precisione la densità delle riflessioni precoci nell'auralizzazione. Questo metodo

Associazione Italiana di Acustica, 2026
ISBN: 978-88-88942-71-1

può essere utilizzato se non si dispone del file di direttività di una sorgente sonora.

Al segnale acustico del violino è stato aggiunto il brusio ambientale (*soundscape*) per aumentare la verosimiglianza dell'esperienza. Il risultato è stato codificato in formato Ambisonics di terzo ordine (HOA) a 16 canali, seguendo la gerarchia spaziale $(L+1)^2$.

Le tracce sono state infine elaborate con il software Audacity per normalizzare il segnale assicurando la perfetta sincronizzazione con la componente visiva durante la fruizione immersiva in realtà virtuale.

Figura 1 - Schema delle sorgenti e dei solidi di direttività: (sx) sorgente naturale con direttività violinista; (dx) sorgente composita per la ricostruzione del campo sonoro tramite settorializzazione dell'emissione in 4 angoli solidi.

2.3 Integrazioni in ambiente virtuale immersivo

Per la fase di restituzione visiva, il modello 3D del Maneggio è stato processato per riprodurre visivamente il degrado e le irregolarità geometriche delle superfici. L'illuminazione è stata realizzata simulando la luce naturale (*global illumination*) il 29 luglio 2025 a Torino (altitudine solare 45°, irradianza 1kW/m^2).

Per la restituzione dello strumentista sono stati predisposti per l'osservatore virtuale PO corrispondenti a quelli di cattura (Sez. 2.1), e al fruitore dell'esperienza immersiva è stata data la possibilità, tramite il modulo VRPawn di UE5, di selezionarli interattivamente durante la riproduzione, a sua discrezione (tecnica di locomozione *blink teleport*). Su un piano virtuale di proiezione, in posizione fissa e auto-orientante rispetto al PO attuale, è stato associato dinamicamente il video corrispondente allo stesso. Lo strumentista è stato isolato dallo sfondo verde tramite l'approccio della chiave colore applicata al canale alfa (trasparenza), in modo da renderlo compatibile per la corretta riproduzione con il plug-in Media Framework di UE. L'auralizzazione HOA è stata delegata al software Plogue Bidule (v1.123). La comunicazione tra questo e la simulazione UE5 avviene tramite protocollo OSC[6], permettendo di sincronizzare in tempo reale la decodifica binaurale ai movimenti dell'utente tramite tracciamento della testa (3GdL rotazionali) e garantendo quindi la fedeltà dell'esperienza immersiva. Il risultato è riportato in Figura 2.sx. La simulazione immersiva è stata fruita tramite il visore indossabile Meta Quest 2.

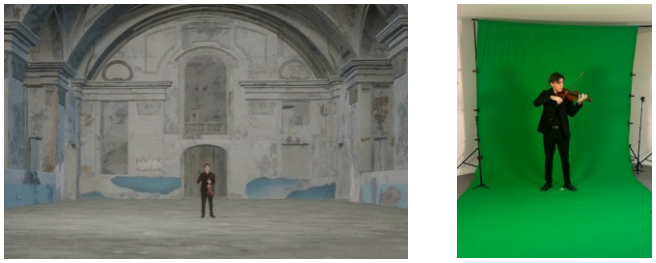

Figura 2 – (sx) Fotogramma dell'ambiente virtuale (UE5) che mostra la ricostruzione multisensoriale del volume architettonico e lo strumentista; (dx) fase di acquisizione video nel Visionary Lab.

3. Risultati, conclusioni e sviluppi futuri

Dallo studio preliminare è emerso che nel punto di ascolto più critico (P3), osservare la gestualità del musicista sembra compensare la minore chiarezza dovuta al riverbero, facilitandone la decodifica [7]. Dalle analisi qualitative effettuate il metodo 2 appare superiore, offrendo un fronte sonoro più avvolgente e una spazializzazione più ricca rispetto al metodo 1. Sembra confermarsi che la percezione di un volume architettonico monumentale possa essere influenzata dalla sinergia multisensoriale di stimoli uditivi e visivi. In futuro saranno integrate nell'ambiente immersivo la locomozione a 6GdL, verrà migliorata la resa tridimensionale dello strumentista con l'adozione di tecniche di cattura e restituzione volumetrica (*4D Gaussian Splatting)*.

4. Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il violinista *Antonio Molle* per il contributo come soggetto delle esecuzioni musicali.

5. Bibliografia

[1] R. M. Schafer, *The Soundscape: Our Sonic Environment and the Tuning of the World*. [United States]: Distributed to the book trade in the United States by American International Distribution, 1977.

[2] M. Kleiner, B. Dalenback, e P. Svensson, «Auralization - an Overview», *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 41, fasc. 11, pp. 861–875, nov. 1993.

[3] C. L. Christensen, G. Koutsouris, e J. Gil, *ODEON Room Acoustics Software - User's Manual Version 18*. 2024.

[4] F. Otondo, J. H. Rindel, e K. Lyngby, «The Influence of the Directivity of Musical Instruments in a Room», vol. 90, 2004.

[5] F. Otondo, J. H. Rindel, e K. Lyngby, «A New Method for the Radiation Representation of Musical Instruments in Auralizations», vol. 91, 2005.

[6] «OpenSoundControl». Consultato: 1 febbraio 2023. [Online]. Disponibile su: https://opensoundcontrol.stanford.edu/

[7] B. N. Postma e B. F. Katz, «Influence of visual rendering on the acoustic judgments of a theater auralization», *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 141, fasc. 5_Supplement, pp. 3934–3934, mag. 2017, doi: 10.1121/1.4988901.