



ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE  
INSTITUTE OF MARINE ENGINEERING



Consiglio  
Nazionale  
delle Ricerche



ISTITUTO DI  
SCIENZE DEL  
PATRIMONIO CULTURALE

# DOVE TANGIBILE E INTANGIBILE SI INCONTRANO

**COME ALCUNE TECNOLOGIE DELL'ACUSTICA APPLICATA  
STUDIANO E VALORIZZANO IL PATRIMONIO CULTURALE**

**Paola Calicchia**

CNR INM Istituto di Ingegneria del Mare,  
Sede Secondaria Acustica e Sensoristica "O. M. Corbino"

## LARCH

Laboratory of Acoustics Research  
applications for Cultural Heritage

01

## 3D MODELING

Principi di base della ricostruzione  
virtuale dell'ambiente sonoro

02

## IN DIALOGO CON IL PATRIMONIO

Potenziale e Informazioni per la  
Conoscenza, la Conservazione, e  
la Fruizione

03

# CONTENUTI

04

## INNOVAZIONE TECNOLOGICA

Qualche idea sulla diffusione  
sonora selettiva

05

## DIVULGARE LA SCIENZA

"Abitare il Suono" una passeggiata  
sonora al Museo MAXXI

06

## CONCLUSIONI

Uno sguardo al futuro



# 01

## **LARCH** – Laboratory of Acoustics Research applications for Cultural Heritage

CNR Area di Ricerca di Roma 2 Tor Vergata - CNR ARTOV



# LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA

MATERIALI, STRUTTURE E AMBIENTI

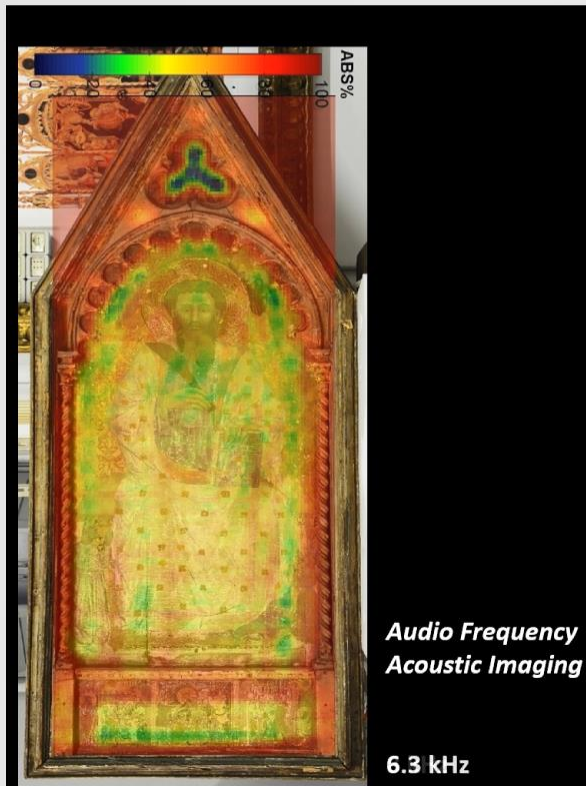




STUDIO QUALITÀ ACUSTICA DI AMBIENTI  
RIPRODUZIONE DI AMBIENTI SONORI

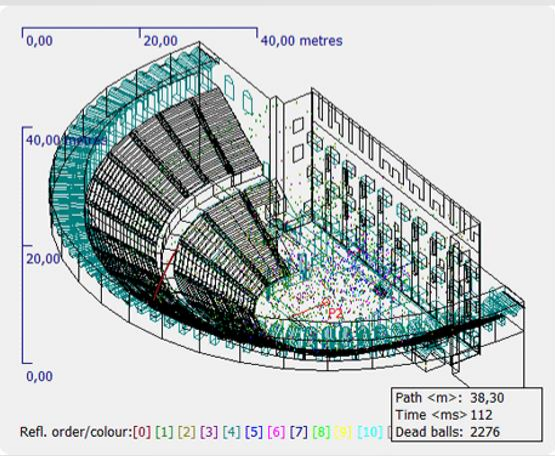


FREQUENCY RESOLVED ACOUSTIC IMAGING  
IN THE AUDIO FREQUENCY INTERVAL



# ATTIVITÀ

MISURE DI FONOISOLAMENTO  
DI BARRIERE ED ELEMENTI DEL COSTRUITO





02

## 3D MODELING

---

Principi di base della ricostruzione virtuale  
dell'ambiente sonoro

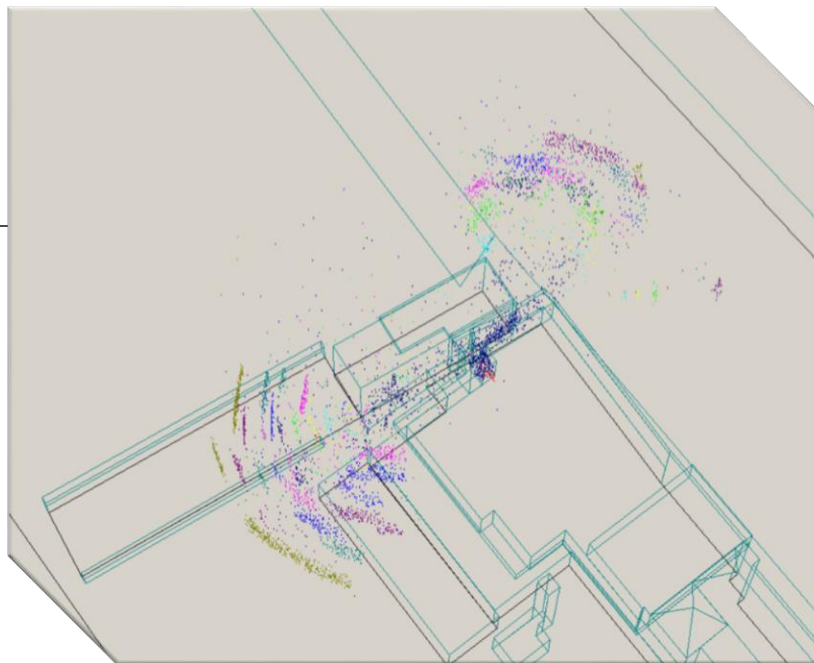
# RICOSTRUZIONE VIRTUALE DELL'AMBIENTE SONORO

## COME IL SUONO SI PROPAGA IN UNO SPAZIO

MODELLI NUMERICI per rappresentare come il suono si propaga in uno SPAZIO e interagisce con gli ELEMENTI in esso contenuti, determinando il modo in cui si distribuisce nello spazio. Adottano approssimazioni dell'ACUSTICA GEOMETRICA, basate sul concetto di RAGGI SONORI che, emessi da una sorgente, viaggiano in LINEA RETTA trasportando una QUANTITÀ DI ENERGIA.

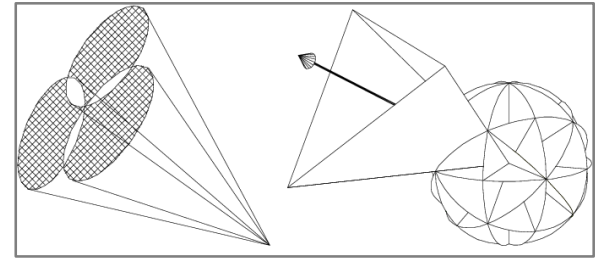
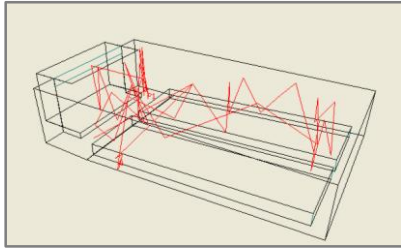
I RAGGI SONORI interagiscono con le SUPERFICI che incontrano nel loro percorso secondo RIFLESSIONI SPECULARI (legge di Snell).

Le SUPERFICI contribuiscono al processo in base alle proprietà di ASSORBIMENTO ACUSTICO, e allo SCATTERING nel caso di RIFLESSIONI DIFFUSE (legge di Lambert).



- ACUSTICA Fondamenti e applicazioni, a cura di Renato Spagnolo Edizioni UTET 2015. ISBN: 8860084466

# METODI



## SORGENTI VIRTUALI

Ogni riflessione crea una SORGENTE IMMAGINE di ordine crescente. Necessarie le verifiche di visibilità sorgenti-ricevitori. Le intensità al ricevitore si sommano. Funziona bene per le prime riflessioni, meno la coda sonora.

## RAY TRACING

Emissione random di RAGGI SONORI. Energia quantizzata. Ricevitore sferico di dimensioni finite.

## BEAM TRACING

Emissione dalla sorgente mediante CONI adiacenti, che però non coprono perfettamente una superficie sferica.

## PYRAMID TRACING

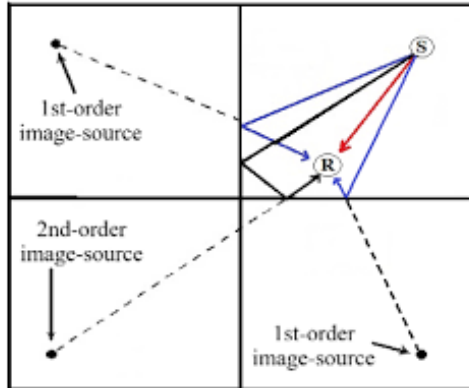
Emissione dalla sorgente mediante PIRAMIDI adiacenti, che coprono perfettamente una superficie sferica.

## LA GEOMETRIA

Lo spazio e gli elementi in esso contenuti sono rappresentati geometricamente, mediante modelli geometrici importati o realizzati direttamente in editor CAD. Le entità CAD sono le SUPERFICI.

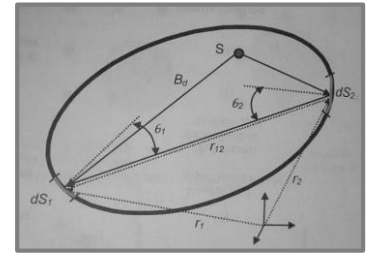
## RADIOSITÀ

Considera le SUPERFICI UNIFORMEMENTE DIFFONDENTI. Rappresenta bene la coda sonora.



## IBRIDI

Modelli misti, per rappresentare bene sia le prime riflessioni sia la coda sonora.





# SIMULAZIONE



## MATERIALI

Ad ogni SUPERFICIE è assegnato un materiale con le sue proprietà acustiche come COEFFICIENTE DI ASSORBIMENTO e SCATTERING



## SORGENTI

Le SORGENTI sono posizionate nello spazio, e definite in termini di EMISSIONE e DIRETTIVITÀ in funzione della frequenza



## RICEVITORI

Analogamente i RICEVITORI sono collocati nello spazio in base all'analisi che si intende eseguire

## INPUT

## OUTPUT



## DESCRITTORI

Restituzione delle STRUTTURA TEMPORALE delle riflessioni ad un ricevitore, e di RAPPORTI ENERGETICI



## MAPPE

Visualizzazione dei risultati come distribuzione nello spazio



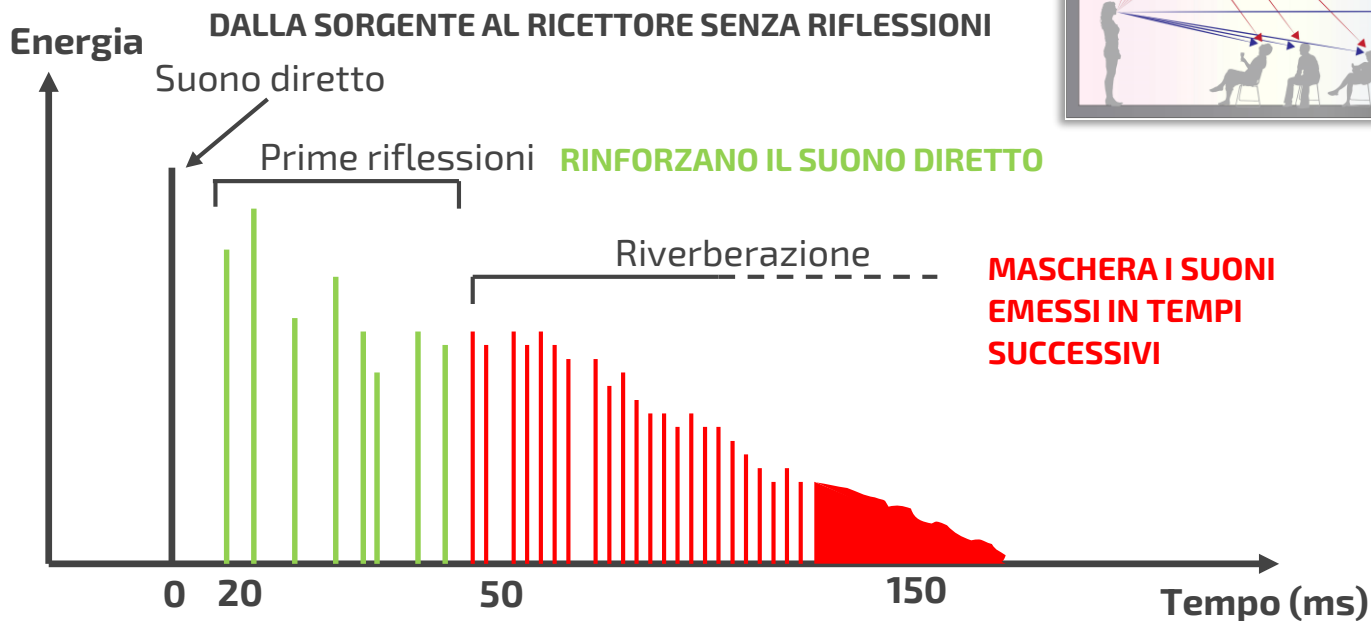
## AURALIZZAZIONE

RISPOSTA IMPULSIVA e sua convoluzione con un SUONO ANECOICO, restituisce la sensazione uditiva immersiva: tracce audio auralizzate

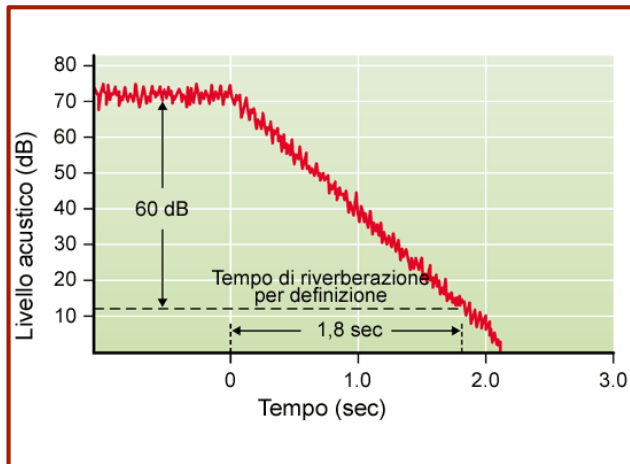


# RIVERBERAZIONE – SPAZIO INDOOR

## DIAGRAMMA DELLE RIFLESSIONI



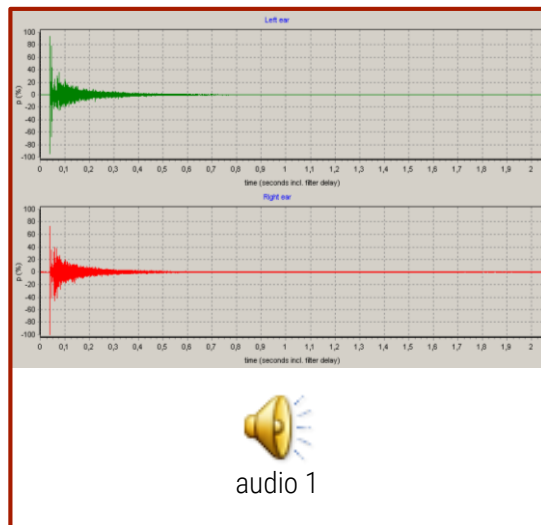
# RISULTATI - SPAZIO INDOOR



## RISPOSTA IMPULSIVA

Descrive il decadimento della pressione acustica in funzione del tempo ad un determinato ricevitore in risposta ad un impulso emesso dalla sorgente

Room Impulse Response  
Binaural RIR (left, right)



$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) dt} [dB]$$

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}$$

CHIAREZZA C80, C50; DEFINIZIONE D50

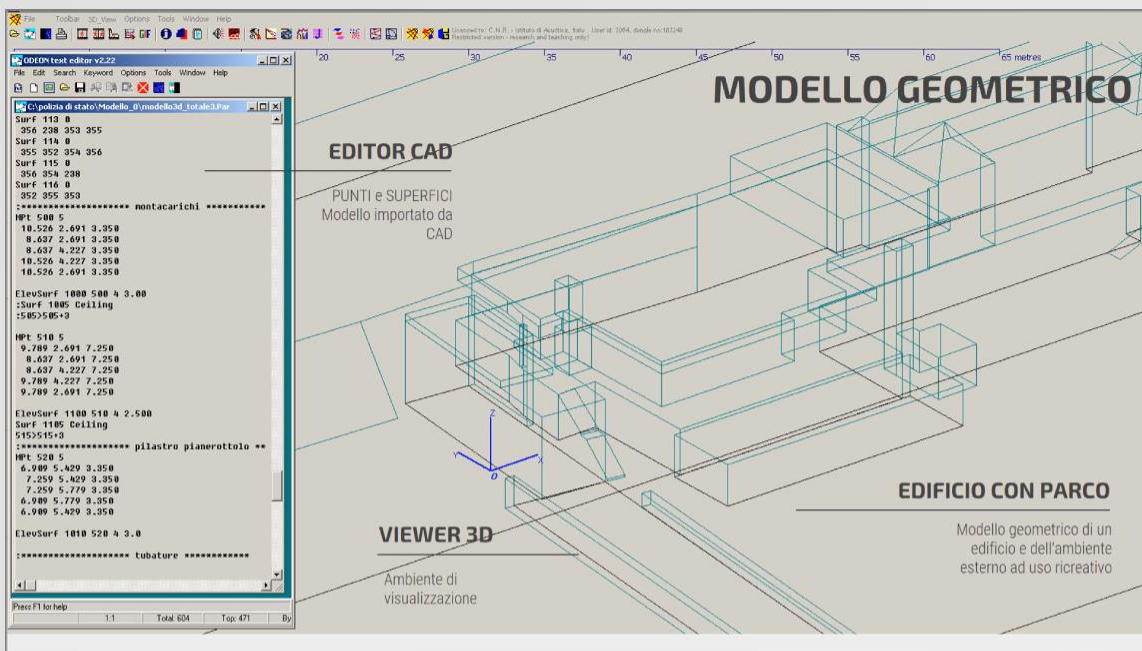
Intelligibility Rating	STI	Intelligibility of words in the sentence %
Excellent	>0.75	100
Good	0.60-0.75	100
Fair	0.45-0.60	100
Poor	0.30-0.45	70-100
Bad	<0.30	<70

## QUALITÀ ACUSTICA

Indici per la MUSICA D50, C80 (ISO 3382)  
e per il PARLATO STI, Intelligibility

## TEMPO DI RIVERBERAZIONE

In funzione della frequenza  
T60, T30, T20,  
EDT - EARLY DECAY TIME (i primi 10 dB)



# IL PROCESSO

**ASSEGNAZIONE  
DEI MATERIALI**

**POSIZIONAMENTO  
RICEVITORI**

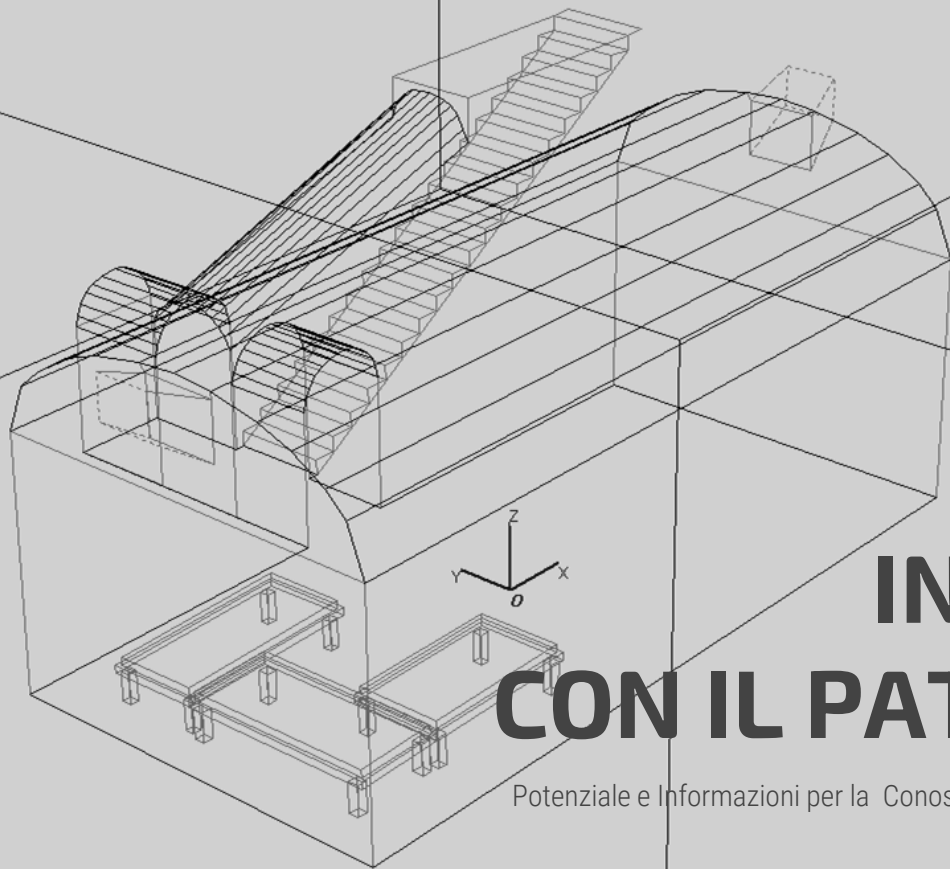
**SIMULAZIONE**

**MODELING  
DELLO SPAZIO**

**MODELING DELLE  
SORGENTI**

**TARATURA DEL  
MODELLO**





# 03

## IN DIALOGO CON IL PATRIMONIO

Potenziale e Informazioni per la Conoscenza, la Conservazione, e la Fruizione



# UN ESEMPIO DALLA VILLA DI LIVIA RELOADED

Date le caratteristiche acustiche risultanti dallo studio, ottenute per la sala vuota, abbiamo ricreato una esperienza immersiva basata sull'AURALIZZAZIONE

- della narrazione del Pittore,
- di un vocalizzo,
- di un brano musicale.

(Ing. Giorgio Agostini)

**IL NINFEO  
E LA SUA NARRAZIONE**



video 1

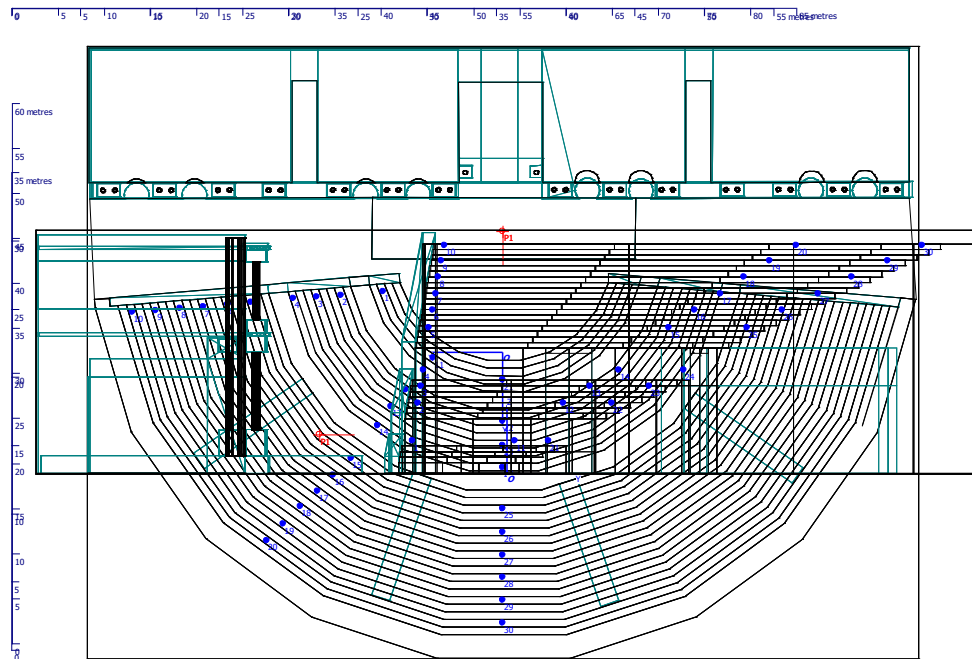
# PARTE DELLA TESI DI DOTTORATO DELLA DOTT.SSA CRISTINA MANZETTI, PRESSO INSTITUTE FOR MEDITERRANEAN STUDIES IMS FORTH “VIRTUAL ACOUSTICS ANALYSIS OF ANCIENT THEATRES”

## VALUTAZIONE DELLA STRUTTURA ARCHITETTONICA PIÙ PROBABILE T30 - EDT - C80 - D50 - STI

L'Analisi Acustica Virtuale applicata ai Teatri Romani di Creta dimostra la sua utilità nel verificare e identificare la struttura architettonica più probabile di questa tipologia di monumenti.

Dott.ssa Cristina Manzetti

**I TEATRI ROMANI A CRETA**



Odeon©1985-2008 Licensed to: C.N.R. - Istituto di Acustica, Italy Restricted version - research and teaching only!  
Odeon©1985-2008 Licensed to: C.N.R. - Istituto di Acustica, Italy Restricted version - research and teaching only!

In collaborazione con il Laboratory of Geophysical-Satellite Remote Sensing & Archaeo-Environment of the Insitute for Mediterranean Studies, FORTH



**FORTH**

INSTITUTE FOR MEDITERRANEAN STUDIES

# “VIRTUAL ACOUSTICS ANALYSIS OF ANCIENT THEATRES”

**Dott.ssa Cristina Manzetti**

## IL TEATRO ROMANO DI GORTINA

Molti documenti testimoniano la storia e la struttura del grande Teatro Romano di Gortina, localizzato sulle pendici dell'acropoli, ma risultano incoerenti tra loro mentre scavi archeologici sono ancora in corso.

### IPOTESI

basate su antiche piante, descrizioni, fotografie aeree e indagini geofisiche

### INTEGRANDO

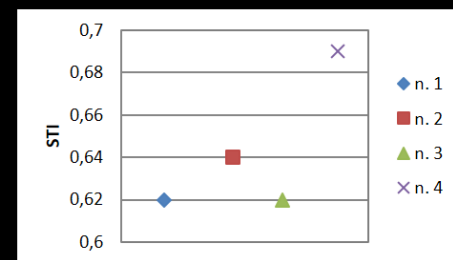
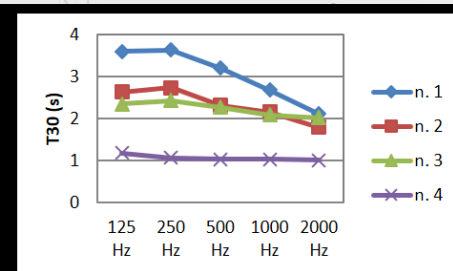
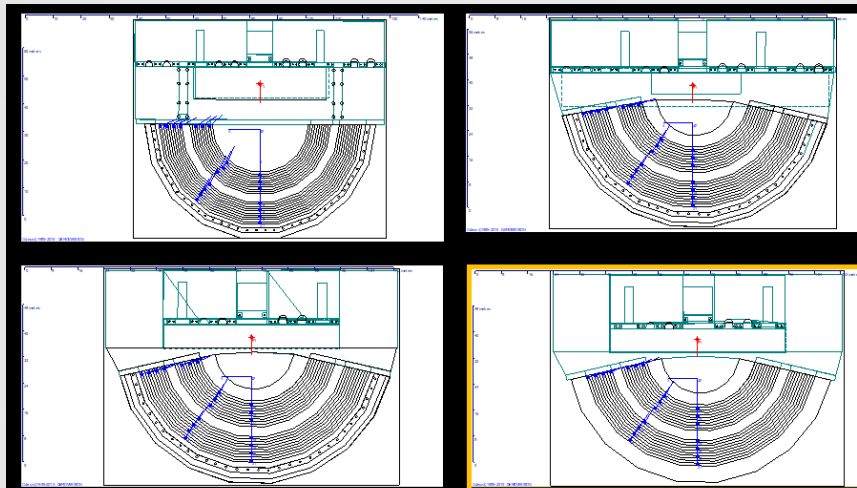
diversi tipi di indagine

### INVESTIGARE

differenti ipotesi di ricostruzione architettonica.

### INDIVIDUARE

la ricostruzione più probabile

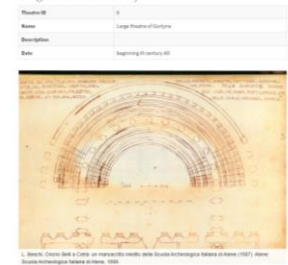


Valori molto buoni per ogni descrittore (T30 - EDT - C80 - D50 - STI) con la quarta ricostruzione, la quale è stata identificata come la più probabile



# DATABASE SUI TEATRI ROMANI A CRETA <https://romantheatres.ims.forth.gr/> Cristina Manzetti, Aris Kidonakis, Nikos Papadopoulos

## Large theatre of Gortyna



## Roman Theatres

Home About Contact Signup Login

### Acoustic Analysis

T30 125 Hz	1.4	EDT 125 Hz	1.22	C80 125 Hz	4	D50 125 Hz	0.57
T30 250 Hz	1.23	EDT 250 Hz	0.88	C80 250 Hz	6.1	D50 250 Hz	0.66
T30 500 Hz	1.1	EDT 500 Hz	0.66	C80 500 Hz	7.79	D50 500 Hz	0.73
T30 1000 Hz	1.04	EDT 1000 Hz	0.67	C80 1000 Hz	7.56	D50 1000 Hz	0.72
T30 2000 Hz	1	EDT 2000 Hz	0.63	C80 2000 Hz	7.79	D50 2000 Hz	0.73
STI	0.69						

IL SUONO DI UNA  
LINGUA ANTICA



audio 2  
anecoico

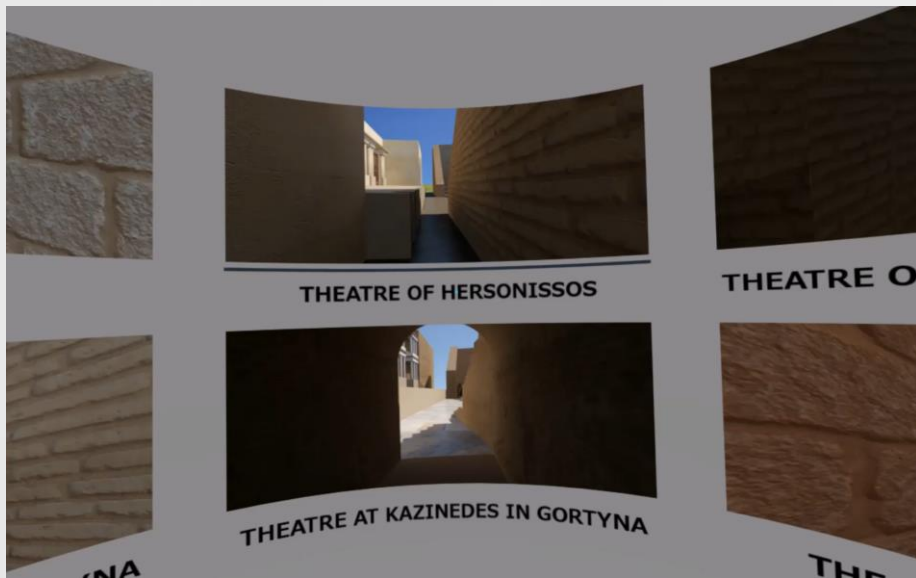
## Applicazione per Oculus Rift:

l'utente ha la possibilità di selezionare sei teatri. Entrerà virtualmente nel modello 3D del teatro, avrà delle icone contenenti diverse informazioni (posizione, immagini, disegni, livello di accuratezza della ricostruzione)?

Potrà inoltre selezionare alcuni sedili per poter ascoltare un brano audio AURALIZZATO recitato in greco antico:

da **Le Troiane di Euripide**

video 2





# 04

## INNOVAZIONE TECNOLOGICA

Qualche idea sulla diffusione sonora selettiva

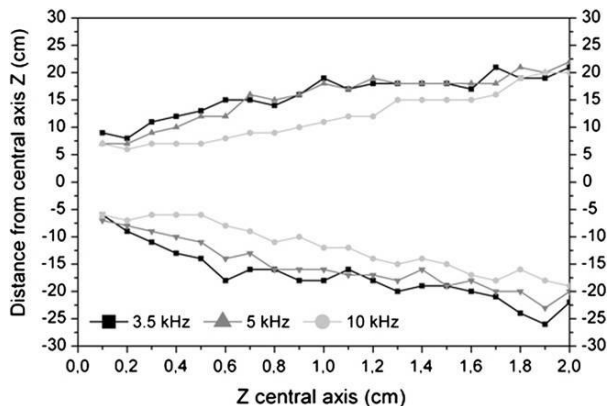


# CARATTERIZZAZIONE

## PARAMETRIC ACOUSTIC ARRAY

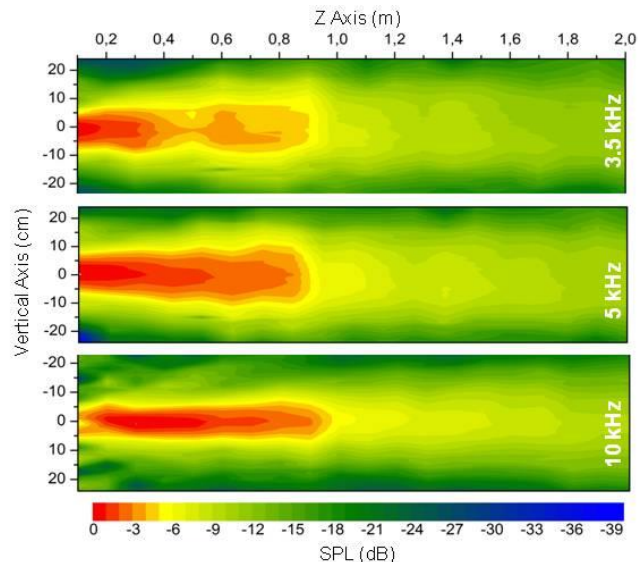
Questi diffusori coniugano le piccole dimensioni con l'elevata direttività dell'emissione.

Infatti emettono un fascio ultrasonoro modulato in ampiezza alle frequenze audio, e sfruttano la propagazione non lineare del fascio acustico.



## BEAM APERTURE

Apertura del fascio a  $-6$  dB dal Massimo per 3.5 kHz (linea nera), 5 kHz (grigio scuro) e 10 kHz (grigio chiaro).



## CAMPO DI PRESSIONE

Sezione verticale alle tre frequenze rappresentative 3.5 kHz, 5 kHz e 10 kHz.

- Gan W. S., Yang J., Kamakura T. (2012), A review of parametric acoustic array in air, Appl. Acoust., 73, pp. 1211-1219.

- Di Marcoberardino L., Calicchia P., De Simone S. (2013), Gli array parametrici: dalla loro scoperta ai giorni nostri, Rivista Italiana di Acustica, 37 (3-4), pp. 7-17.

# IN DIALOGO CON IL PATRIMONIO



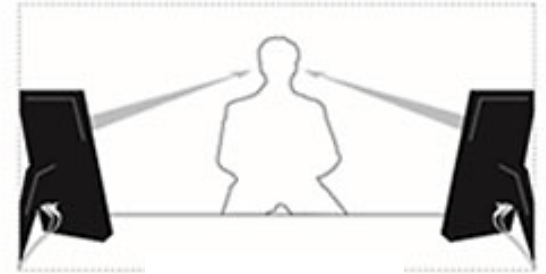
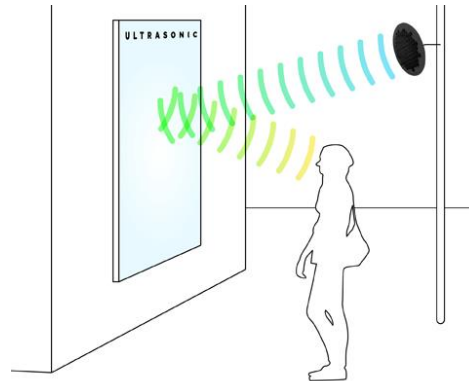
## ZONE QUIETE

Narrazioni differenziate e spazi dove il suono rispetta le zone quiete

## LA NARRAZIONE

Gli oggetti diventano STORY-TELLER, narrando loro stessi.

Si sfrutta la creazione di SORGENTI IMMAGINE che forniscono la sensazione della provenienza del suono dall'interno della superficie



## BINAURALE MA SENZA CUFFIE

Recenti ricerche si stanno orientando verso la Riproduzione Binaurale senza dispositivi headset per una esperienza immersive del 3D soundscape



# 05

## DIVULGARE LA SCIENZA

Imparare ad ascoltare ... una esplorazione dello spazio museale, dall'esterno all'interno, per riconoscere e qualificare i dettagli del paesaggio sonoro nel quale ci muoviamo



# UN ESEMPIO DI DIALOGO

7 punti di ascolto, 2 esterni e 5 interni,  
4 integrati alla mostra At Home.

MA **XXI**

Museo nazionale  
delle arti del XXI secolo

oosa accade



Foto di Musacchio, Iannelli & Pasquini

**evento** sabato 21 settembre 2019 ore 11:00 - 19:00

Estate al MAXXI.

**Abitare la scienza. Per un futuro più sostenibile**

## ABITARE LA SCIENZA

Evento realizzato nell'ambito delle attività di SCIENZAinsieme, presso il Museo MAXXI nel 2019

### UNA PORTA SULLA CITTÀ

In relazione con lo spazio urbano

### COME RIDURRE IL RUMORE?

Elementi che assorbono il suono

### COSA EVOCA IL SUONO?

Sonic Mappings 2014, by Bill Fontana

### COME SUONA LA MIA CASA?

Materiali e proprietà acustiche

### COSA RENDE UN SUONO UNICO?

Il paesaggio sonoro

### COME SI PROGETTA L'ACUSTICA DI UNO SPAZIO?

La geometria, i materiali, le sorgenti e i ricevitori

### E SE IL SUONO FOSSE GREEN?

Le soluzioni Green per abitare il suono in maniera sostenibile

## PER ASCOLTARE



## ABITARE IL SUONO

Una passeggiata sonora al Museo MAXXI, integrata alla mostra At Home. Progetti per l'abitare contemporaneo  
Dott.ssa Paola Calicchia, Ing. Sara De Simone

# IMPARARE AD ASCOLTARE



**UNA PORTA SULLA CITTÀ**  
In relazione con lo spazio urbano



**COSA EVOCA IL SUONO?**  
Sound Sculpture: Sonic Mappings  
2014, by Bill Fontana



# COMPRENDERE L'INTANGIBILE



## COSA RENDE UN SUONO UNICO?

Paesaggio sonoro

Padiglione bivacco Fanton dello Studio Associato DEMOGO,  
un "cannocchiale puntato verso valle"



## COME SI PROGETTA UNO SPAZIO?

Geometria, materiali,  
sorgenti, ricevitori

Padiglione con le due case progettate in Cile  
da Pezo Von Ellrichshausen



audio 5

# 06

## CONCLUSIONI

Uno sguardo al futuro

### AMPLIARE

- Ampliare il dialogo con il Patrimonio Culturale
- Esplorare le innumerevoli potenzialità del MODELING 3D nelle applicazioni dell'acustica nel settore HS;
- Le possibili richieste del settore HS possono orientare lo sviluppo tecnologico e i modelli numerici per i prodotti ad oggi sul mercato;

### INTEGRARE

- Integrare l'analisi acustica virtuale per ampliare l'interpretazione e la conoscenza del bene;
- Integrarla nella progettazione di prodotti media, e di spazi espositivi immersivi;
- Usata a supporto in esperienze di fruizione multidimensionali, e inclusivi

### IMMAGINARE

- Il SUONO è una forma espressiva altamente EVOCATIVA, portatore di un valore per la CONOSCENZA, la CONSERVAZIONE e la FRUIZIONE del patrimonio;
- Oggi abbiamo la CONOSCENZA e la TECNOLOGIA per potenziare questa contaminazione tra settori dell'HS;
- e immaginare nuove modalità di integrazione di tutte le dimensioni che costruiscono l'esperienza umana.

---

# GRAZIE!

Spazio per le domande

paola.calicchia@cnr.it

<http://www.inm.cnr.it/labs/larch/>

<https://www.researchgate.net/profile/P-Calicchia>