



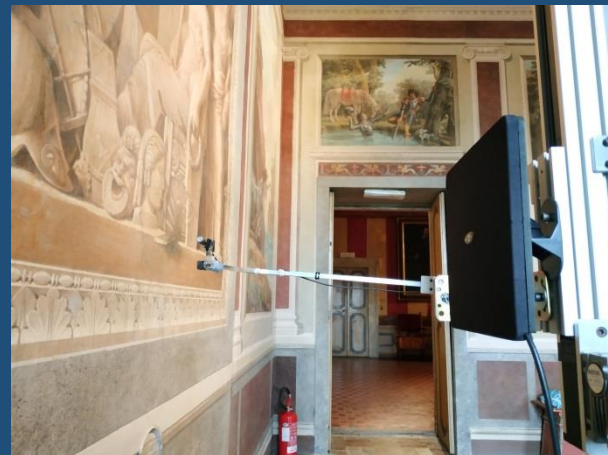
# INDAGINI ACUSTICHE E ULTRASONICHE PER LA VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLA STRUTTURA MURARIA DELLA SALA DELL'ARIOSTO E DELLA PITTURA MURALE *GRAECIA VETUS*



Sara De Simone<sup>1</sup>, Paola Calicchia<sup>1</sup>, Angelo Tatì<sup>2</sup>

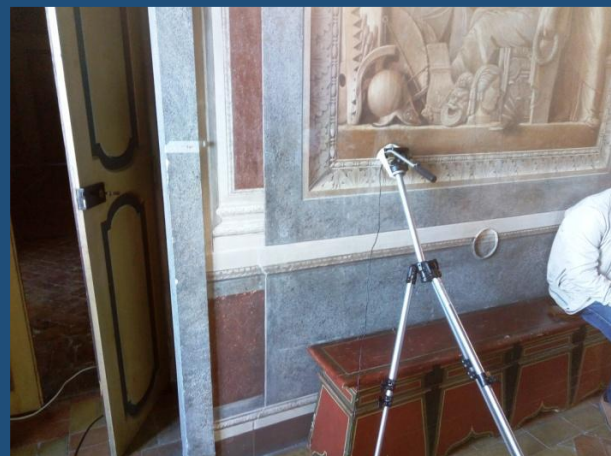
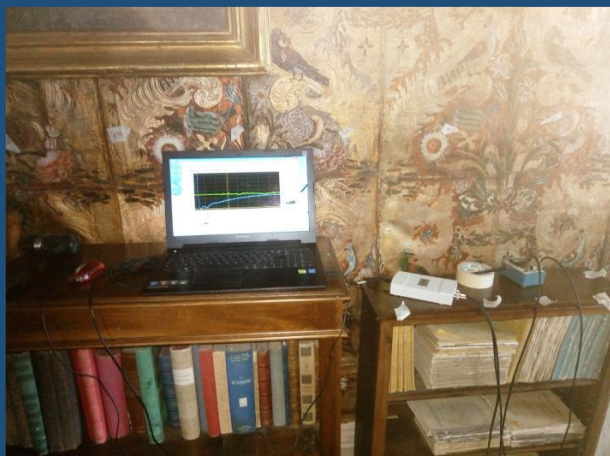
*1 Istituto di Ingegneria del Mare CNR-INM, Roma*

*2 ENEA Casaccia, Roma*



## INDAGINE ACUSTICA NON IN CONTATTO

S. De Simone, P. Calicchia



## INDAGINE SONICA E ULTRASONORA

A. Tati



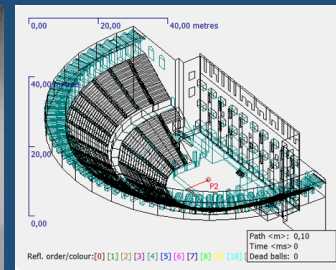


CNR Research Area of Rome 2 Tor Vergata - CNR ARTOV

# LARCH

LABORATORY OF ACOUSTICS RESEARCH APPLICATIONS FOR CULTURAL HERITAGE

ACOUSTIC PROPERTIES OF MATERIALS, STRUCTURES AND ENVIRONMENTS



Psicoacoustics - listening room and modeling



Reverberation Rooms



Non-Destructive Testing and Evaluation

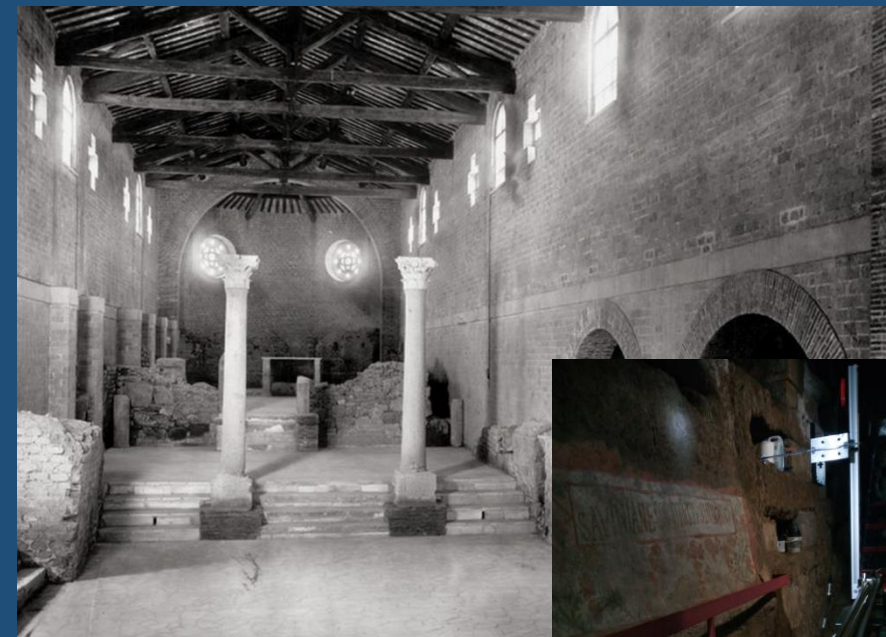
LARCH is part of the new Technological District for Cultural Heritage



<https://www.dtclazio.it/infrastruttura-di-ricerca>



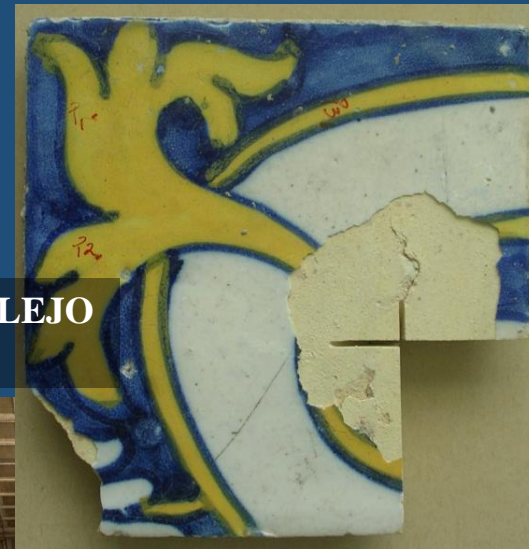




**CATACOMBE DI  
SANT'ALESSANDRO  
VIA NONENTANA - ROMA**



**MUSEU DO AZULEJO  
LISBONA (PT)**



**S. BARTOLOMEO  
COLLEZIONE PALAZZO PITTI (FI)**

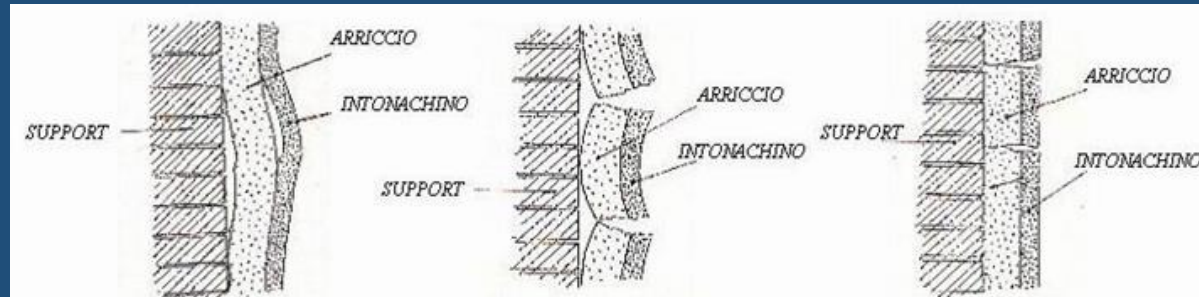
*G.B. Cannelli, P. Calicchia, Nondestructive acoustic method and device, for the determination of detachments of mural paintings, Brevetto EU EP1190243B1 (2006); Brevetto US US6728661 (2004)*

*P. Calicchia, S. De Simone, et al., Exploring the potential of a frequency resolved acoustic imaging technique in panel painting diagnostics, Measurement Vol. 118, pages 320-329 (2018). DOI: 10.1016/j.measurement.2017.08.017.*

*P. Calicchia, S. De Simone, et al., Validation of contactless vibro-acoustic imaging for the detection of glaze delamination in glazed ceramic tiles, GlazeArt 2018, LNEC - Lisbon*

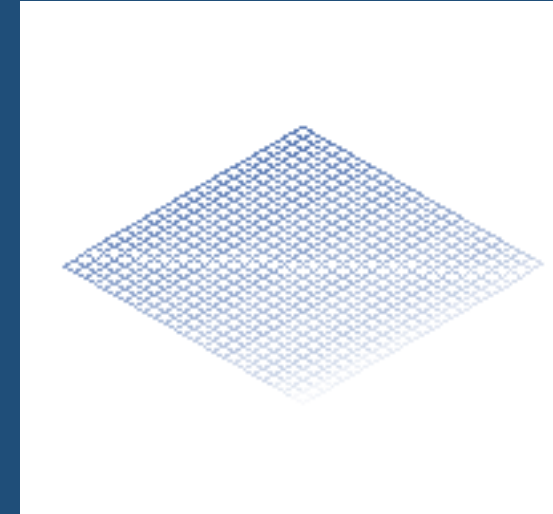
# PROCESSO DI DEGRADO

**DANNO TIPICO:  
DISTACCO = STRATO SUPERFICIALE - CAVITA' DI ARIA**



**MODELLO FISICO: SISTEMA MASSA – MOLLA D'ARIA**

## RISONANZA

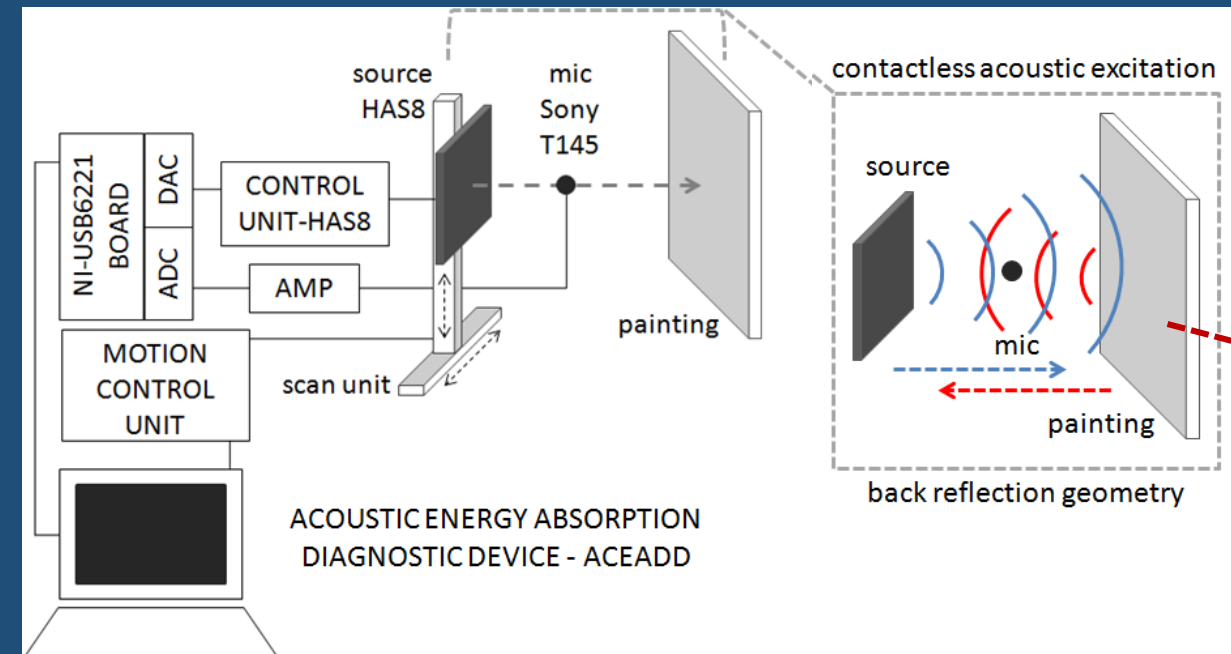


$$f_0 = (1/2\pi)\sqrt{k_{\text{air}}/M} = (c_0/2\pi)\sqrt{\rho_0/(\rho_s t d)}$$

$\rho_0$  densità dell'aria,  $\rho_s$  e  $t$  densità e spessore dello strato superficiale,  $d$  profondità della cavità d'aria,  $c_0$  velocità del suono in aria

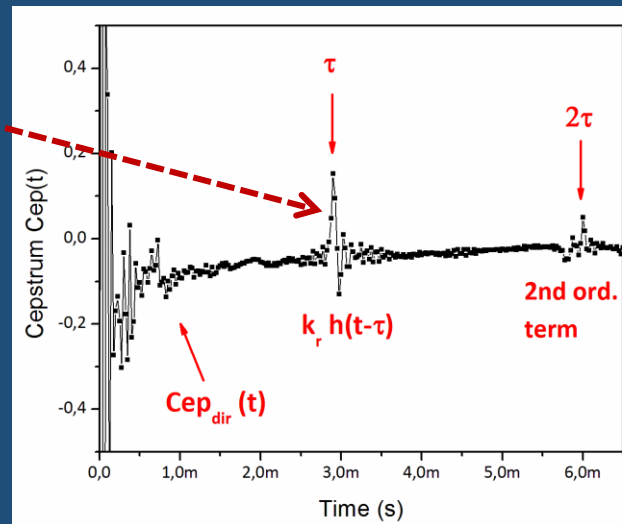
**ASSORBITORE ACUSTICO SELETTIVO  
PIÙ EFFICIENTE NELLE BANDE VICINO ALLA SUA RISONANZA**

## ACOUSTIC IMAGING



QUALSIASI PARTE CON UN'ADERENZA NON PERFETTA TRA STRATI ADIACENTI

VIBRA  
QUANDO ESPOSTO ALL'ECCITAZIONE ACUSTICA  
E  
ASSORBE UNA PARTE DELL'ENERGIA IN ENTRATA

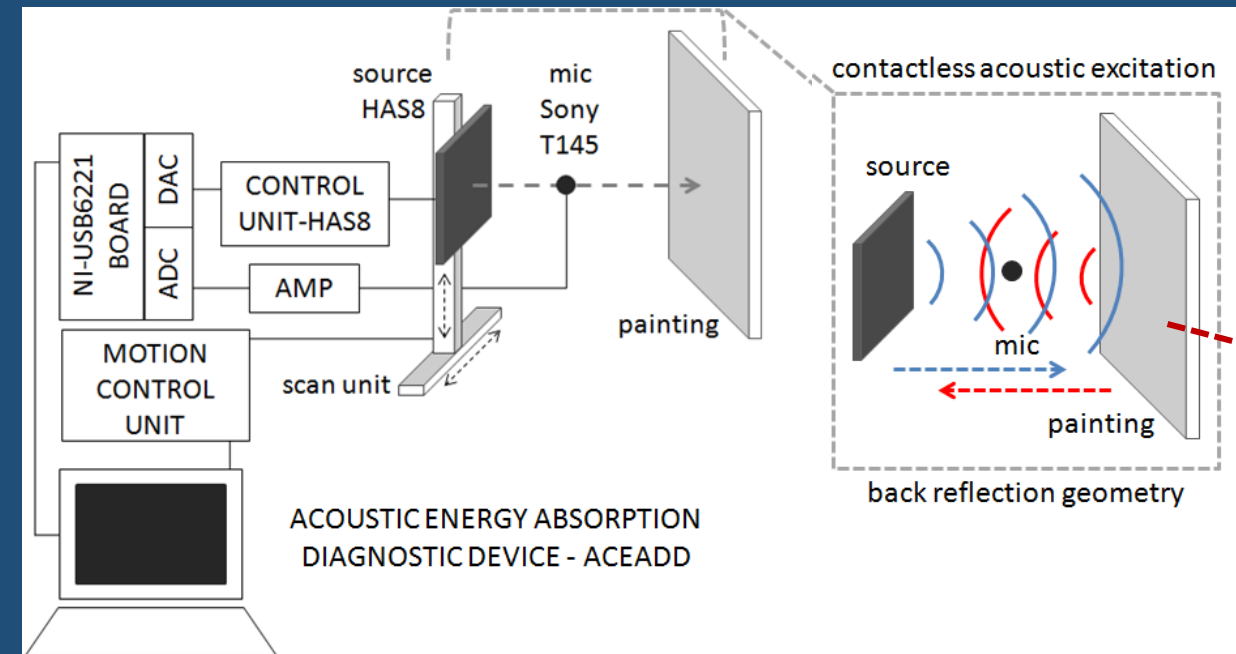


RISPOSTA ALL'IMPULSO

$$h(t - \tau)$$

- ENERGIA RIFLESSA  $\Sigma$
- PERCENTUALE DI ASSORBIMENTO ABS%

## ACOUSTIC IMAGING



## IMMAGINI ACUSTICHE

Punto (i)

TOTALE ENERGIA ACUSTICA RIFLESSA

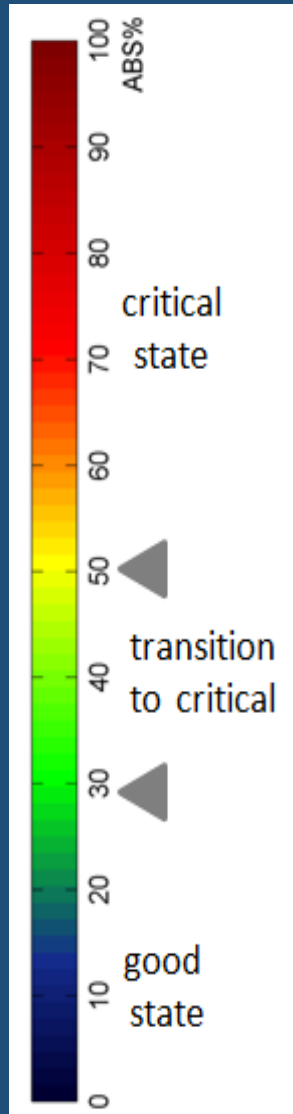
$$\Sigma_i$$

REFERENCE POINT – IL PUNTO PIU' RIFLETTENTE

$$\Sigma_R$$

PERCENTUALE DI ENERGIA DI ASSORBIMENTO ACUSTICO

$$ABS\%_i = (\Sigma_R - \Sigma_i) / \Sigma_R$$





## PITTURA MURALE GRAECIA VETUS

- ✓ Posizione: Sala dell'Ariosto
- ✓ Durata di misura: 5gg
- ✓ Numeri di punti investigati: 1419
- ✓ Area totale investigata: 3,2 mq
  
- ✓ Due posizioni del sistema di scansione
  
- ✓ Segnale a banda larga nell'intervallo di frequenza audio (500-12000) Hz
  
- ✓ Risultati: Immagine acustica integrata sull'intero intervallo di frequenze. Immagine 2D in falsi colori. Possibile estrarre altre immagini acustiche risolte in frequenza, in bande strette.



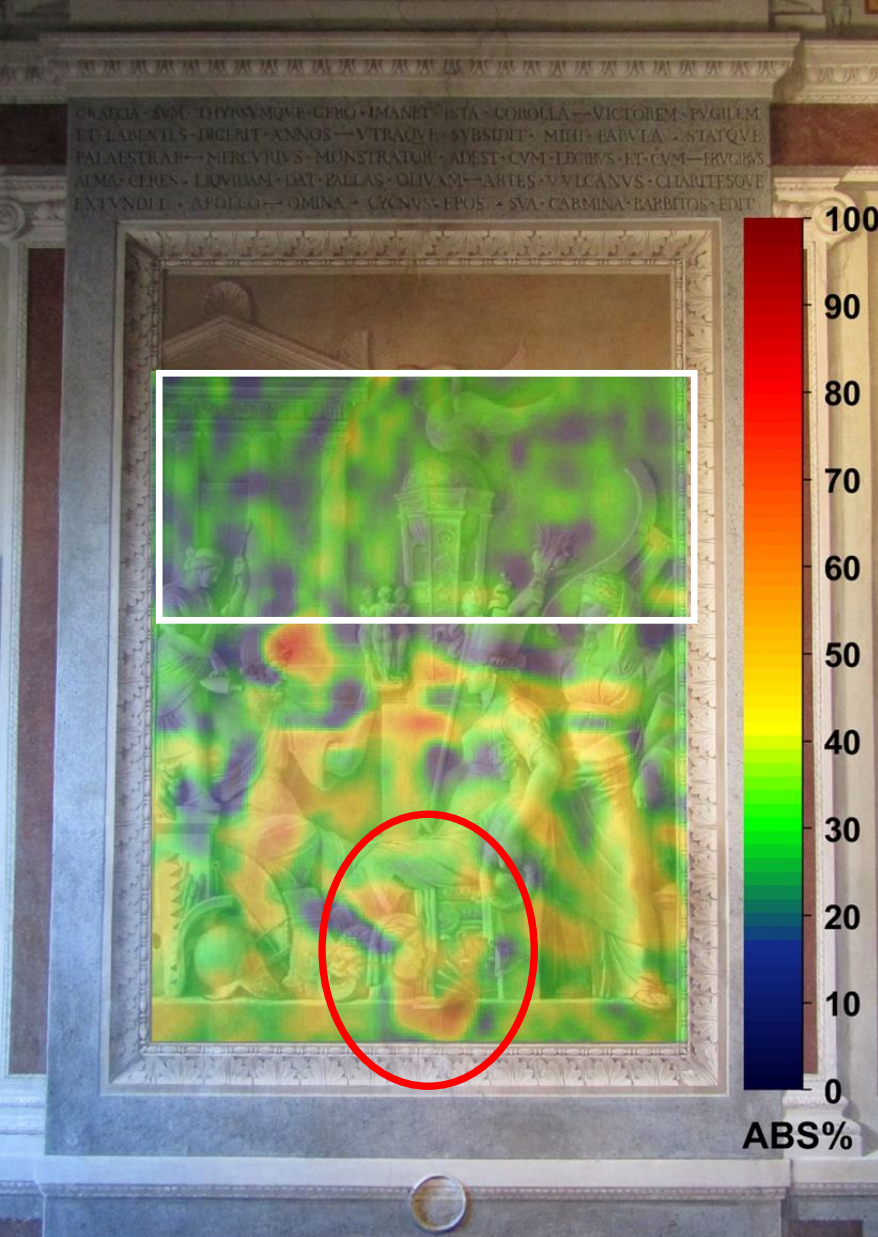


## RISULTATI

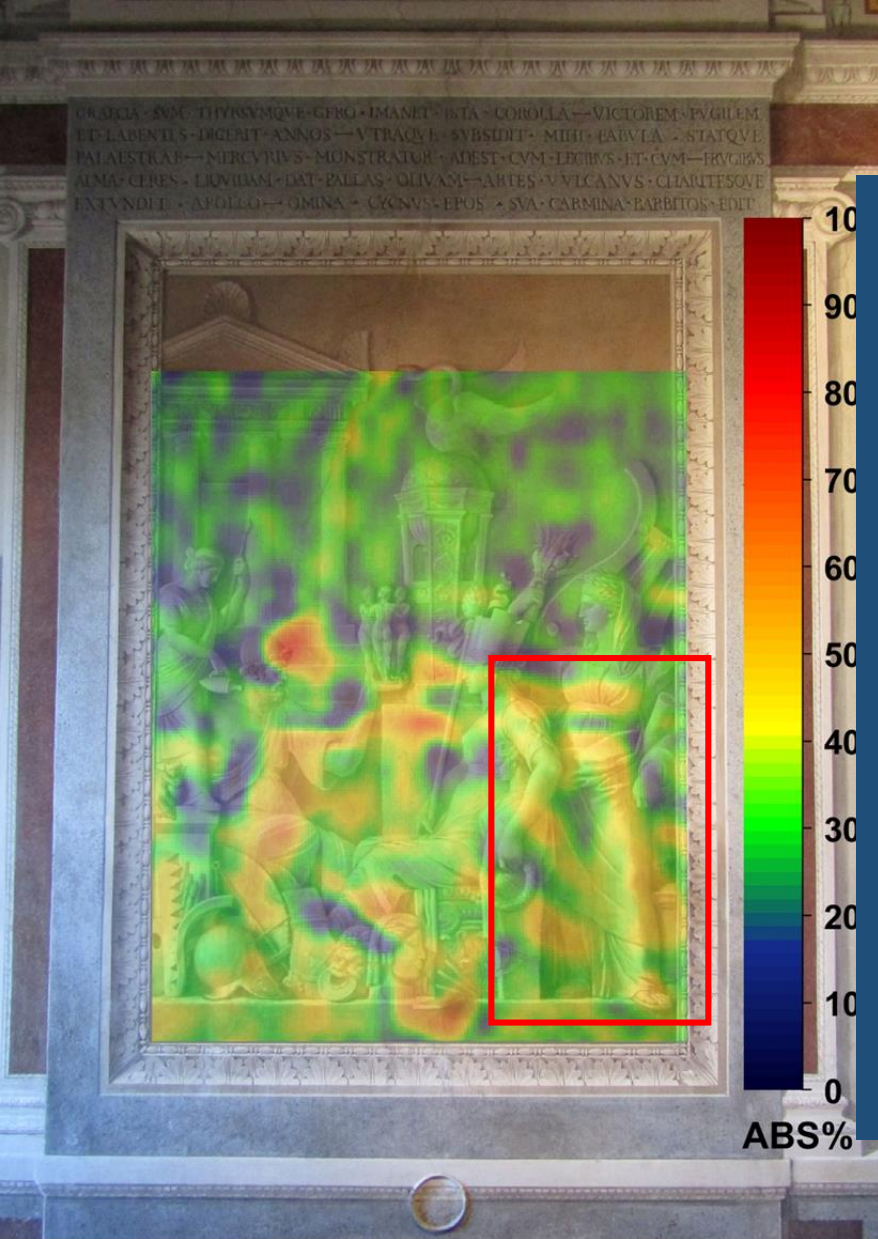
L'immagine acustica indica chiaramente uno stato conservativo migliore nella parte superiore del dipinto, sopra i volti dei personaggi

In basso e centralmente si rileva una cavità, presumibilmente in corrispondenza della canna fumaria

Si rileva la presenza di zone estese qualche centimetro che mostrano una risposta acustica compatibile con piccole cavità, disseminate in quasi tutta la muratura. Tali zone sembrano essere compatibili con cavità interne alla muratura.





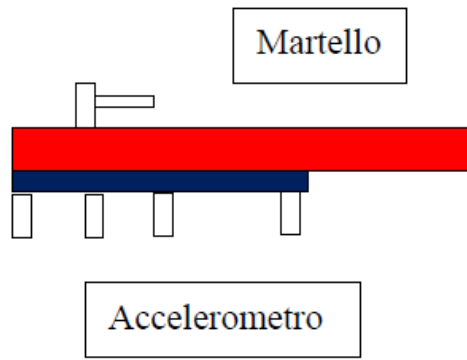


## RISULTATI

- Zone critiche in corrispondenza di fratture, più o meno evidenti.
- accostamenti di zone rigide e zone risonanti.

Questo ci suggerisce dei probabili interventi di consolidamento, che hanno modificato solo parzialmente le caratteristiche elastiche della struttura





## TOMOGRAFIA SONICA

- ✓ Altezza di posizionamento accelerometro: 1,40 m (spessore muratura ~ 1 m)
- ✓ Punti: 81 (combinazioni di 9 posizioni martelletto e 9 accelerometro)
- ✓ Scansione: 0,3 m

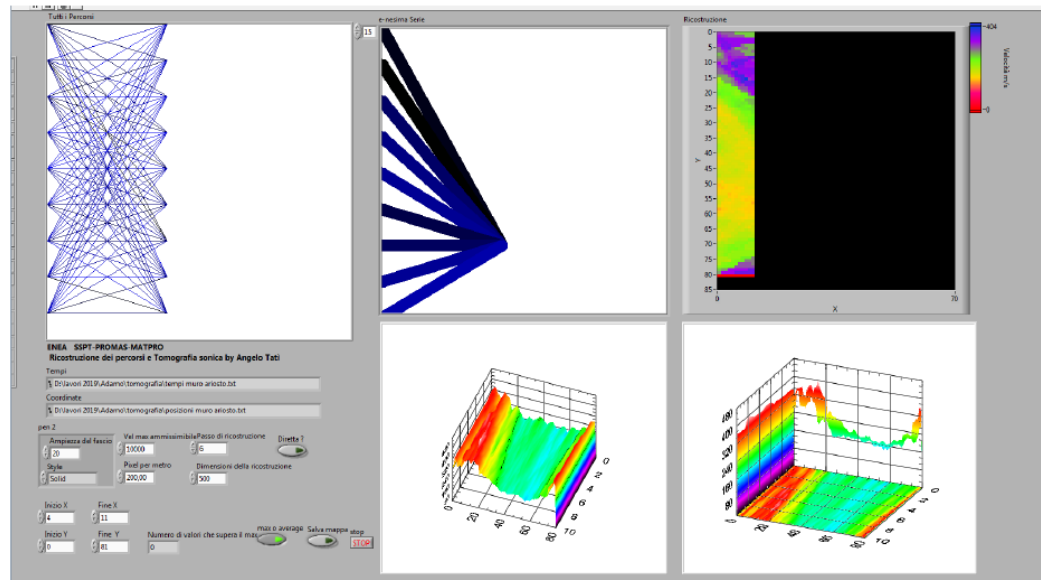


Figura 8 software di elaborazione

I risultati ottenuti mostrano una zona vuota sotto l'affresco nella zona centrale. Le velocità del suono sono molto basse e confermano una muratura a sacco con doppio paramento. La parte strutturale è visibile in rosso nel grafico 3D corrispondente ai lati dell'affresco. Una zona vuota di colore verde al centro corrispondente al bocchettone visibile in basso.

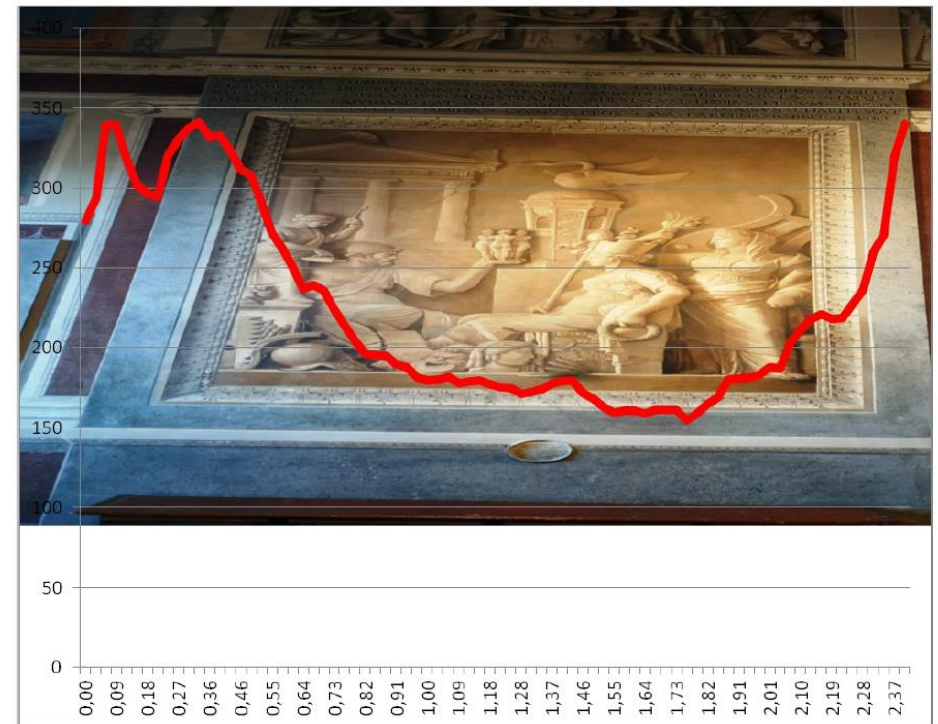


Figura 12 Profilo medio di velocità ultrasonora

## PROVE ULTRASONORE

Sonda ultrasonora a bassa frequenza 50Khz

- ✓ Punti: 9 posizioni
- ✓ Sonde: Trasmittente e Ricevente uguali
- ✓ Scansione: 2m con passo 20 cm

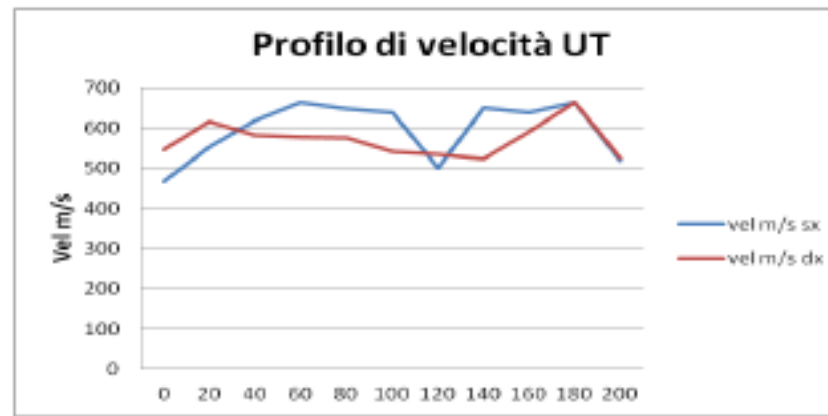


Figura 14 Velocità ultrasonora ai lati della porta che conduce alla sala del biliardo. Asse dell'ascisse in cm

L'attenuazione del segnale è molto elevata a conferma che la muratura è a sacco e il suono procede su percorsi più lunghi della distanza tra le sonde. Il profilo di velocità lungo la verticale ha un andamento costante a prova che la muratura conserva la sua forma procedendo in alto dal piano di calpestio fino a circa 2 metri



## CONCLUSIONI



### INDAGINE ACUSTICA NON IN CONTATTO

- ✓ L'indagine ha riguardato una superficie totale di 3,2mq
- ✓ Il dipinto risulta essere in buono stato nella parte superiore, mentre sono presenti distacchi più importanti nella parte sottostante
- ✓ L'analisi in frequenza ci permetterà di dettagliare le caratteristiche dei singoli distacchi e valutare il loro stato di degrado
- ✓ Le informazioni sulla modalità costruttiva ci permetterebbero la discriminazione tra struttura architettonica e il danno strutturale

### INDAGINE SONICA E ULTRASONORA



- ✓ La muratura si ipotizza a sacco.
- ✓ Sotto dipinto si ipotizza un intercapedine di grosse dimensioni che potrebbe essere o una canna fumaria o un condotto per l'aria (bianco).
- ✓ Il sacco potrebbe essere riempito di altro materiale (pietre non regolari senza malta) stipato all'interno e non vuoto (arancione).
- ✓ Le velocità più alte sono state registrate sulla muratura perimetrale



*Si ringrazia il Direttore Arch. Francesco Petrucci e tutto lo staff di Palazzo Chigi,  
la Dot.ssa Roberta Fantoni e tutti i colleghi del Coordinamento del Progetto ADAMO , DTC-Lazio*

**GRAZIE PER L'ATTENZIONE.....**

