



COMITATO SCIENTIFICO NAZIONALE

PITTURE MURALI – ICOMOS ITALIA

Webinar 21-22 maggio 2021

PITTURE MURALI IN CONTESTO

Confronti, assonanze e dissonanze

LA DIAGNOSTICA IN SITU: TRA RIGORE METROLOGICO, SVILUPPO TECNOLOGICO E CONTESTO

Paola Calicchia
Istituto di Ingegneria del Mare
CNR-INM, Roma



ISTITUTO DI INGEGNERIA DEL MARE
INSTITUTE OF MARINE ENGINEERING

COSA È LARCH

- ✓ *RICHIAMI DI ASPETTI METROLOGICI*
- ✓ *METTERE IN COMUNE L'ESPERIENZA DI ANALISI SPERIMENTALI IN SITU*
CATACOMBE – CANTIERE - MUSEO
- ✓ *SPINTA VERSO LO SVILUPPO TECNOLOGICO*
 - *ACCESSIBILITA'*
 - *CONDIZIONI SPERIMENTALI – ACCURATEZZA DI MISURA*
 - *INTEGRAZIONE TRA METODOLOGIE – COMPLESSITA' DELL'ANALISI*

CONCLUSIONI



LARCH

Laboratory of Acoustics Research applications for Cultural Heritage



LABORATORIO DI CARATTERIZZAZIONE ACUSTICA

MATERIALI, STRUTTURE E AMBIENTI

FACILITY PER PROVE NON DISTRUTTIVE

SALA PER PROVE SOGGETTIVE D'ASCOLTO

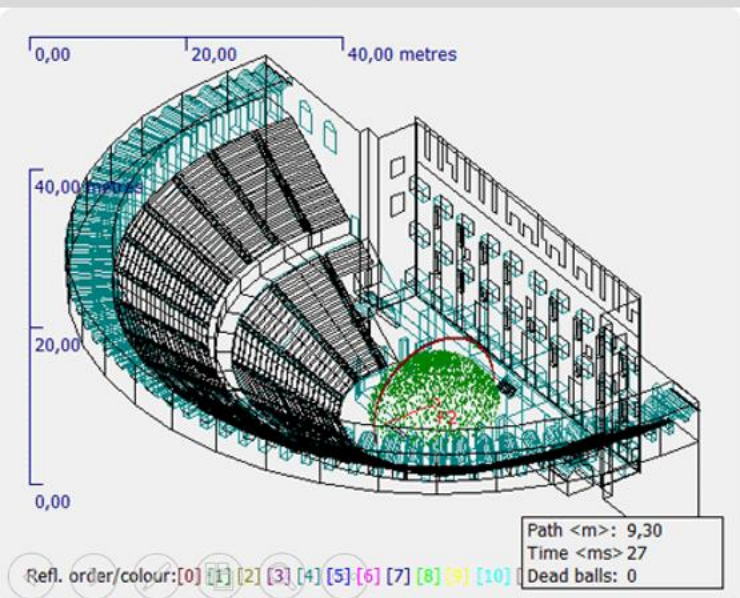
CAMERE RIVERBERANTI PER MISURE DI FONOISOLAMENTO



STUDIO QUALITÀ ACUSTICA DI AMBIENTI

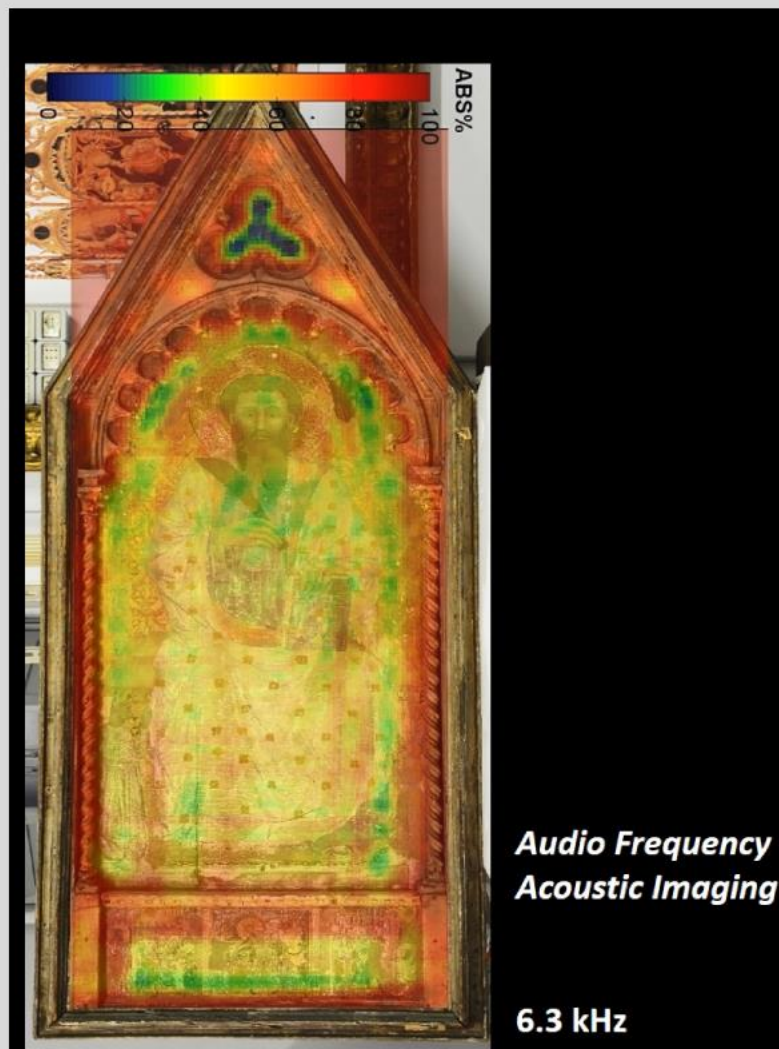


RICOSTRUZIONE DI AMBIENTI SONORI



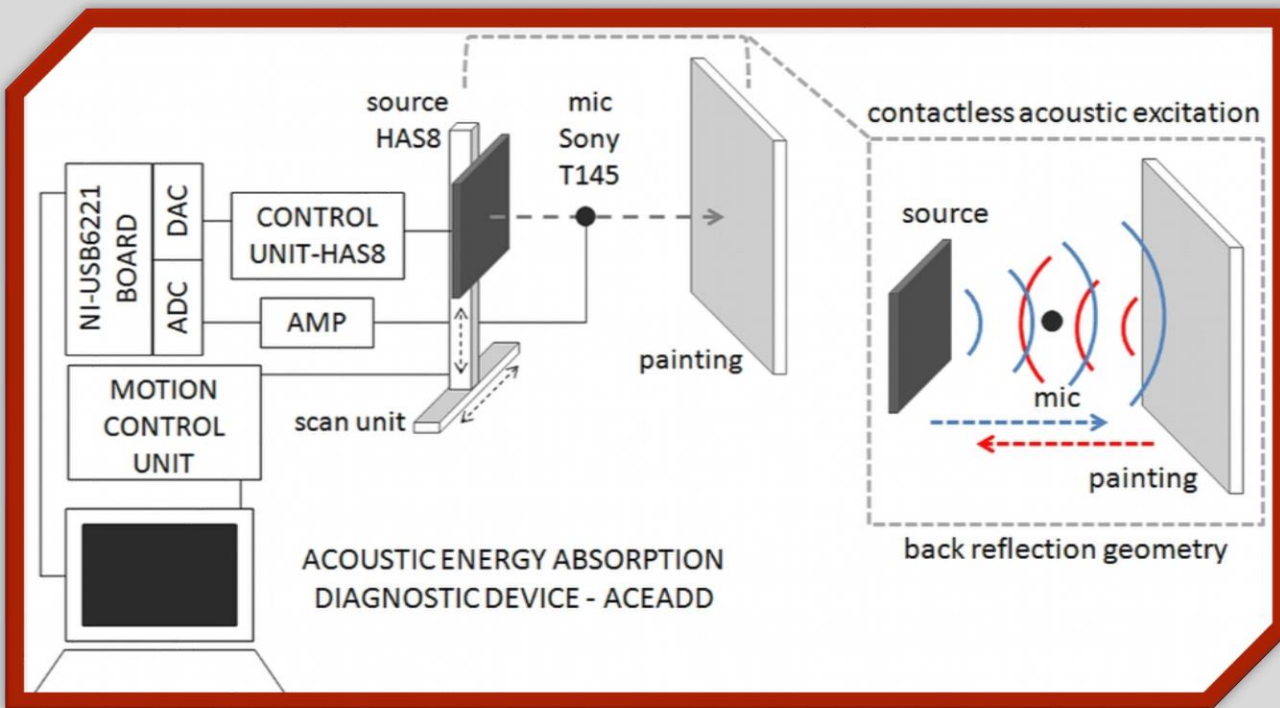
ATTIVITÀ

DIAGNOSTICA ACUSTICA PER IMMAGINI
RISOLTO IN FREQUENZA
NELLA BANDA DI FREQUENZE AUDIO



MISURE DI FONOIISOLAMENTO
DI BARRIERE ED ELEMENTI DEL
COSTRUITO





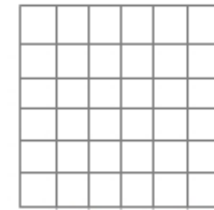
DIAGNOSTICA ACUSTICA PER IMMAGINI

ABS% = percentuale di energia acustica assorbita

$$r(f) = |H(f)|^2 \quad \alpha(f) = 1 - r(f)$$

$$\alpha_{ij} = 100 * (r_{REF} - r_{ij}) / r_{REF}$$

$ABS\% = [\alpha_{ij}]$



matrice 2D

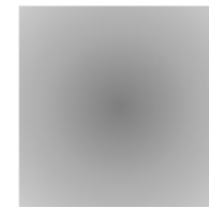


immagine acustica

1 IMMAGINE BANDA LARGA

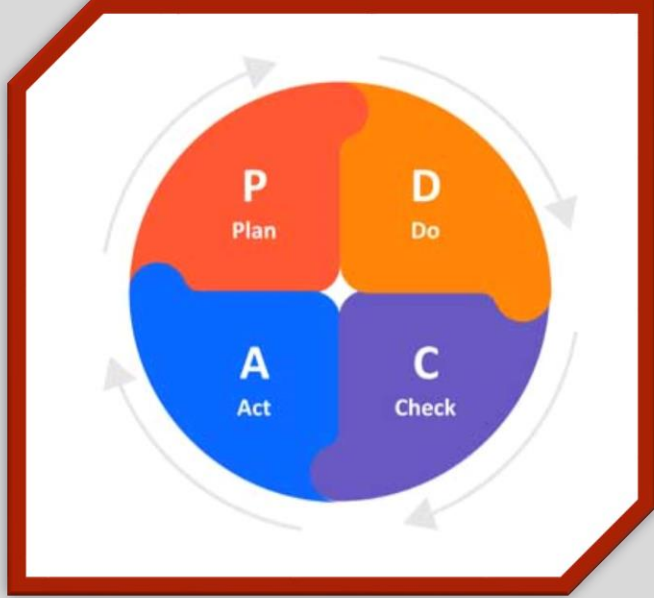
+

N IMMAGINI RISOLTE IN FREQUENZA

VALUTA LA PRESENZA DI DISTACCHI O FESSURAZIONI

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.



CICLO DI DEMING: PLAN – DO – CHECK - ACT

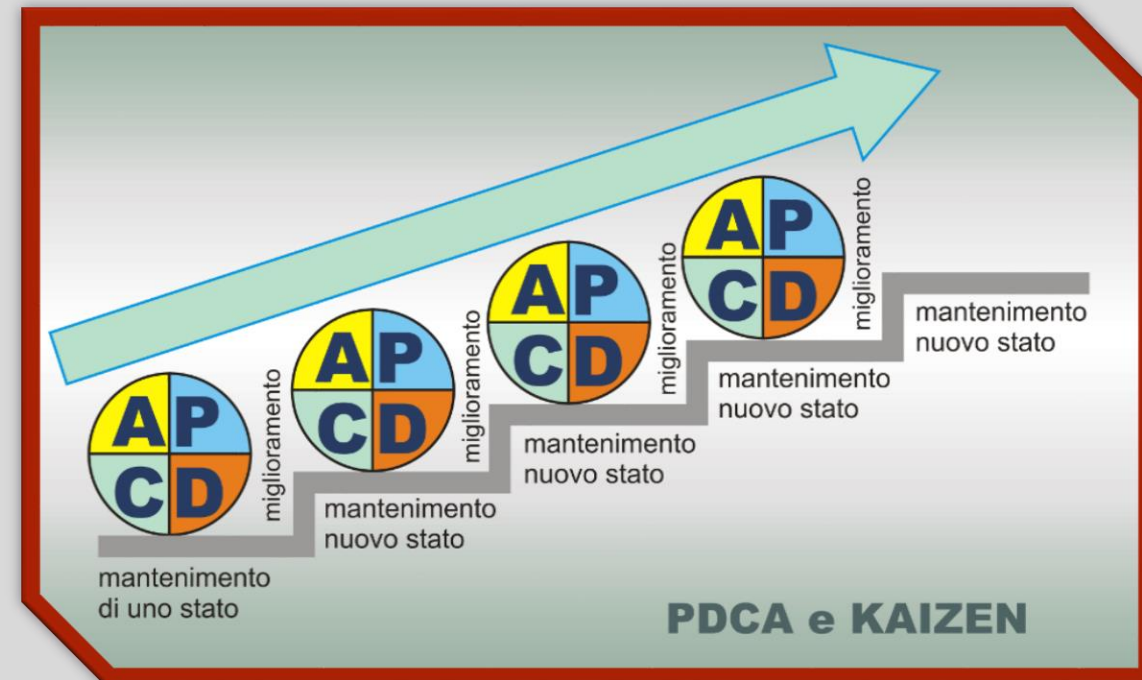
METODO KAIZEN: CAMBIAMENTO – MIGLIORAMENTO CONTINUO

PROCESSI DI MISURA

QUALITÀ DEI RISULTATI – APPROCCIO BASATO SUL MIGLIORAMENTO CONTINUO

UNI EN ISO 9001:2015 - Sistemi di gestione per la qualità - Requisiti

UNI CEI EN ISO/IEC 17025:2018 - Requisiti generali per la competenza dei laboratori di prova e taratura



PROCESSI DI MISURA - QUALITÀ DEI RISULTATI

PROPRIETÀ

di un fenomeno, un corpo, una sostanza

NUMERO + UNITÀ DI MISURA

espressione mediante un valore e un riferimento



STANDARD

consente di tarare uno strumento, e garantisce la riferibilità della misura

RIFERIBILITÀ

il risultato messo in relazione con un riferimento, mediante una catena ininterrotta di confronti, tutti con incertezza definita

RIPETIBILITÀ

influenza la dispersione dei valori del misurando, mediante misurazioni sotto condizioni di ripetibilità (stesso metodo, stesso dispositivo, stesse condizioni, ...)

INCERTEZZA DI MISURA

Parametro non negativo che caratterizza la dispersione dei valori del misurando

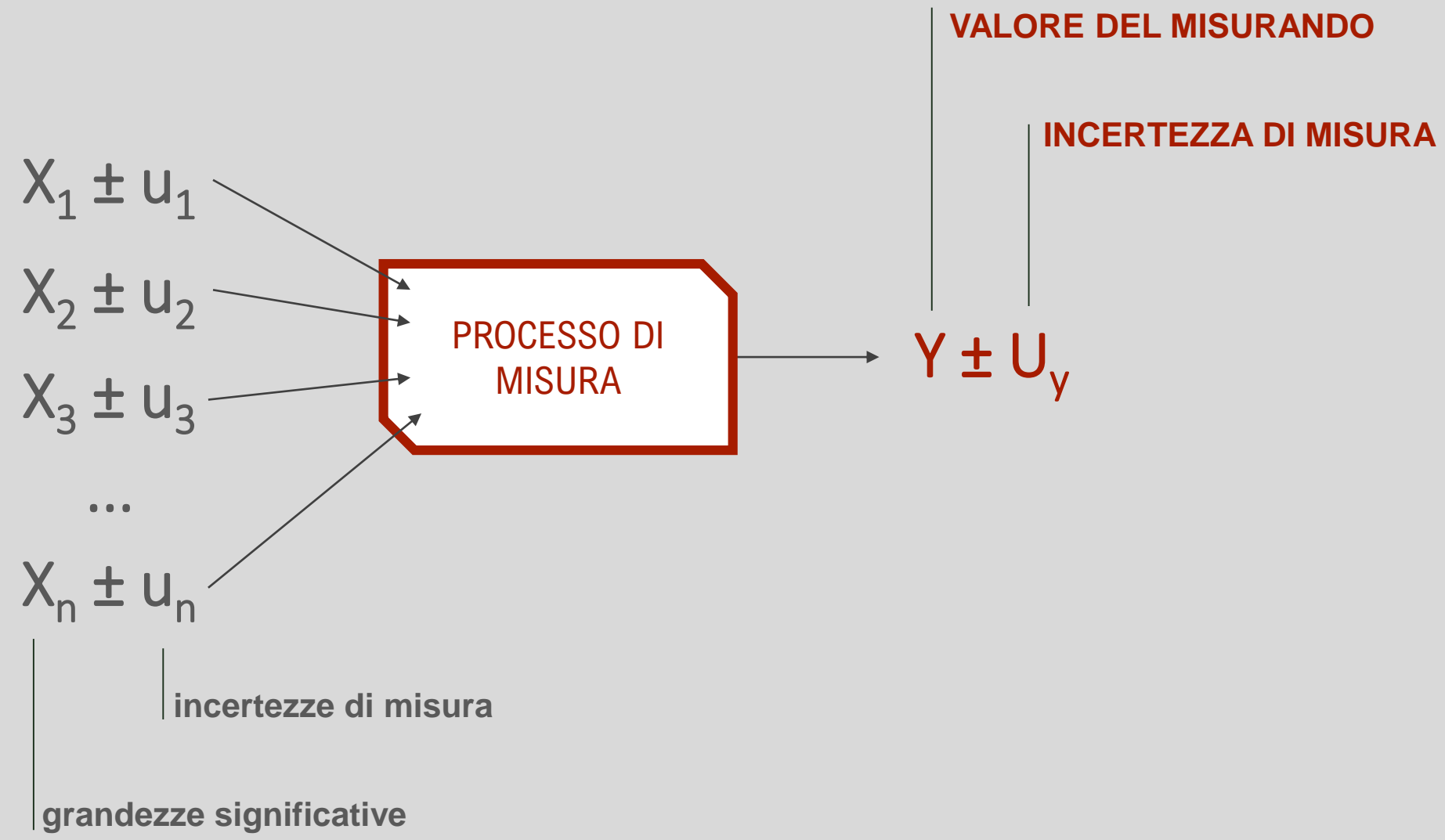
SENSIBILITÀ

Risposta di uno strumento in relazione alla grandezza misurata

TARATURA

confronto con campione, mediante metodo

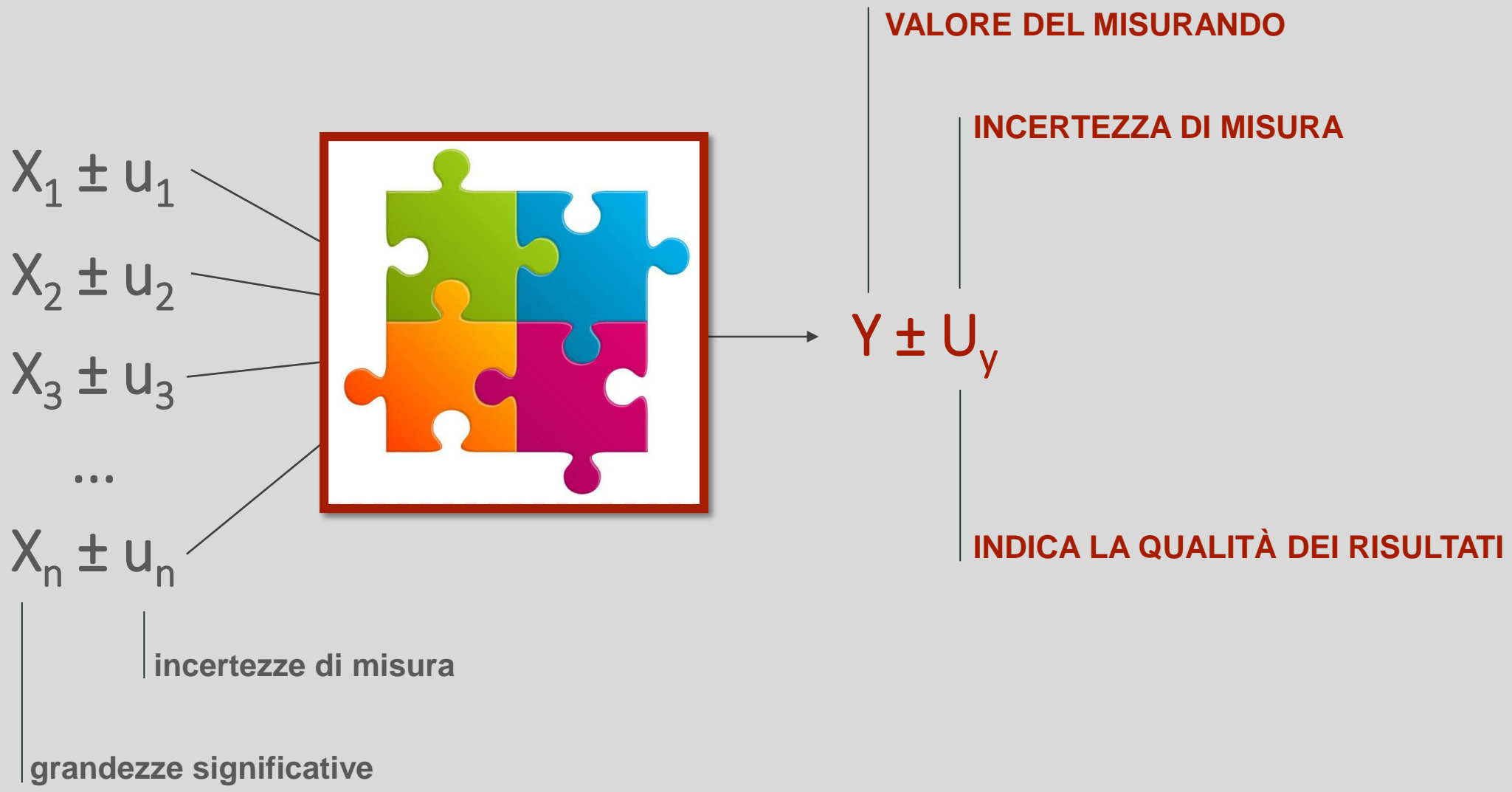
PROCESSI DI MISURA - QUALITÀ DEI RISULTATI



UNI CEI 70099:2008 - Vocabolario Internazionale di Metrologia - Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM)

UNI CEI 70098-3:2016 - Incertezza di misura - Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura (GUM)

PROCESSI DI MISURA - QUALITÀ DEI RISULTATI



UNI CEI 70099:2008 - Vocabolario Internazionale di Metrologia - Concetti fondamentali e generali e termini correlati (VIM)

UNI CEI 70098-3:2016 - Incertezza di misura - Parte 3: Guida all'espressione dell'incertezza di misura (GUM)

CATACOMBE

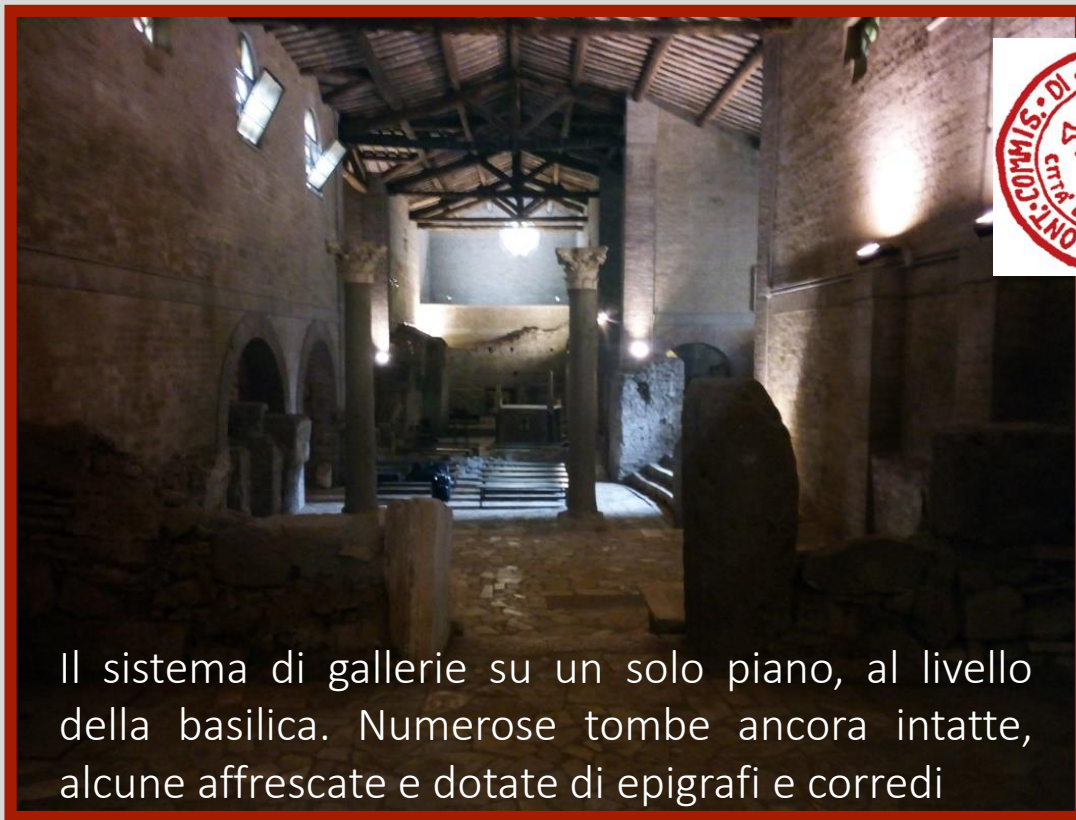
... AMBIENTI ESTREMI

dove gli esperti sono spinti a sviluppare sistemi e metodologie innovative per accedervi e studiarle

ESEMPIO:

Catacombe di Sant'Alessandro (Roma)



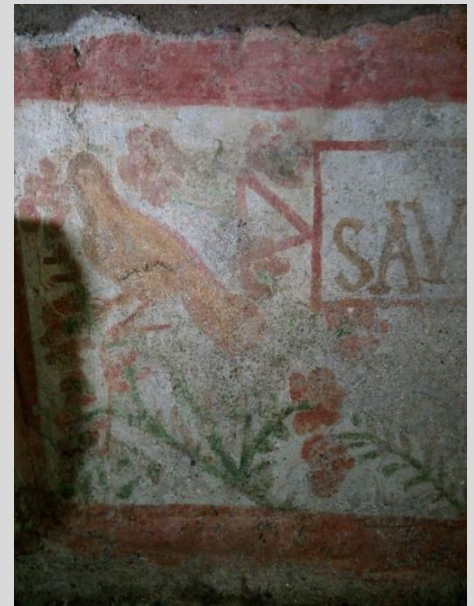


diramazione G16: sepolcro a loculo
Il giardino fiorito dedicato al defunto Savinianus
 con chiusura in laterizi, intonacata e affrescata.

La decorazione, delimitata da un grande fascione di colore rosso, raffigura cespi di fiori rossi con una colomba appollaiata sulla prima pianta a sinistra. Il pannello è occupato da una tavola epigrafica con anse a coda di rondine, delimitata da linee rosse, con l'iscrizione "Saviniane spiritus tus in bono". La decorazione del loculo costituisce un evidente richiamo simbolico all'aldilà; inoltre il suo stile e il formulario dell'epigrafe riconducono ad una datazione nell'età costantiniana.

V. Focchi Nicolai, I cimiteri paleocristiani del Lazio. II. Sabina, Ed. Città del Vaticano, 2009, pagg. 245-247.

Il sistema di gallerie su un solo piano, al livello della basilica. Numerose tombe ancora intatte, alcune affrescate e dotate di epigrafi e corredi



IL CONTESTO:

- ✓ Ridotti spazi per alloggiare gli strumenti
- ✓ Ridotti spazi di manovra per gli operatori
- ✓ Piano di calpestio irregolare
- ✓ Elevata Umidità Relativa

ha indotto:

- Alleggerimento dell'unità di movimentazione **riducendo l'ingombro**, utilizzando un singolo punto di appoggio (tre piedi regolabile) per la messa in piano del sistema
- Limitazione del numero di punti, e della durata complessiva della misura ad un giorno **evitando di esporre a lungo l'elettronica a RH% troppo elevata**
- Pensare ad una **nuova restituzione delle immagini acustiche** che fosse accurata ed allineata alla decorazione dell'affresco, pur nell'impossibilità di sovrapporle ad una fotografia dell'affresco

CONDIZIONI DI MISURA

1 giorno
T: $(16 \pm 1)^\circ\text{C}$
RH%: $(99 \pm 1)\%$

AREA DI ANALISI

matrice 9×32 (V×H),
288 punti, distanziati 5
cm; $45 \text{ cm} \times 160 \text{ cm}$



Progetto COBRA, finanziato dalla Regione Lazio, coordinato da ENEA (2015-17) [<http://cobra.enea.it/>]

Prof. Fabrizio Bisconti, Soprintendente archeologico della Pontificia Commissione di Archeologia Sacra; Restauratrici Stella Cascioli, Sonia Bellagamba; Dr.ssa Roberta Fantoni, Coordinatore Progetto COBRA.

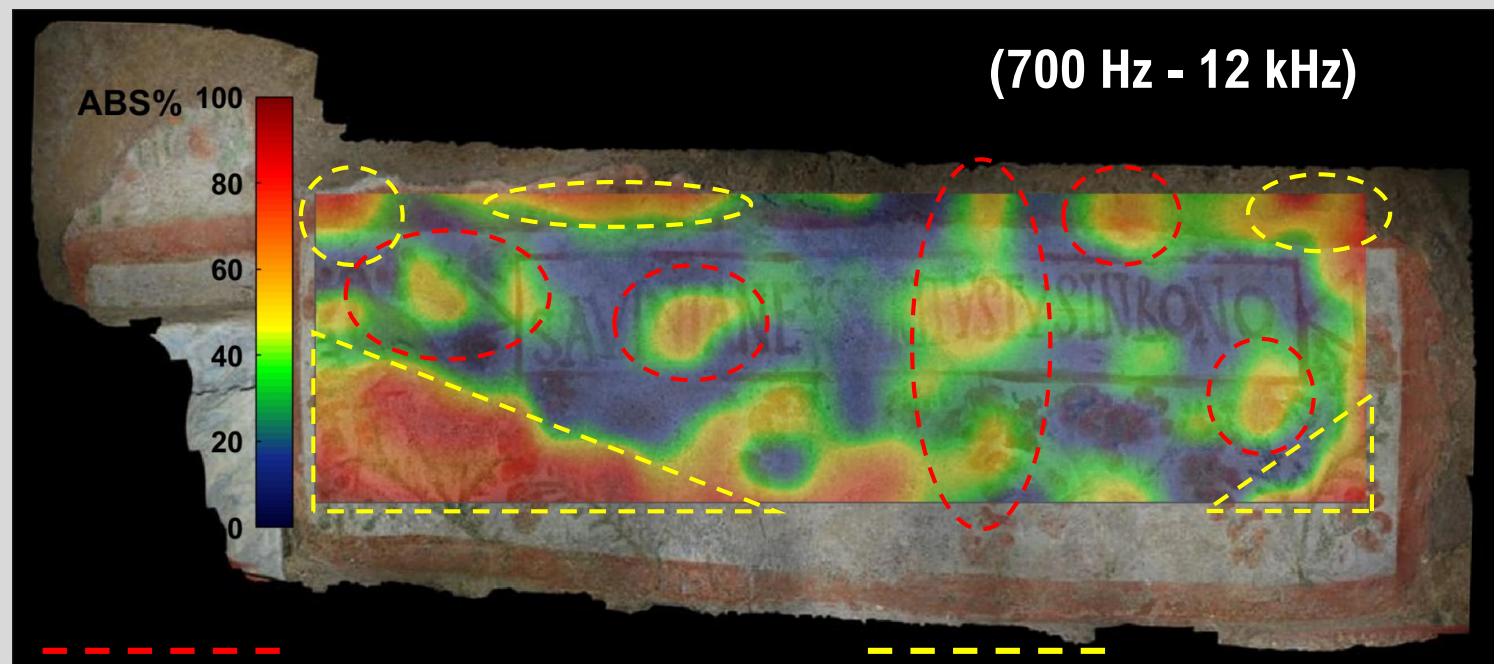
INTEGRAZIONE FOTOGRAMMETRIA E IMMAGINI ACUSTICHE

Processate 218 immagini digitali 2D, con il codice Agisoft PhotoScan, utilizzando la tecnica SfM, disponibile sui sistemi HPC CRESCO e fruibile da remoto tramite la tecnologia FARO2/NX grazie all'accesso via web alla griglia computazionale ENEAGRID

Grafica computerizzata:

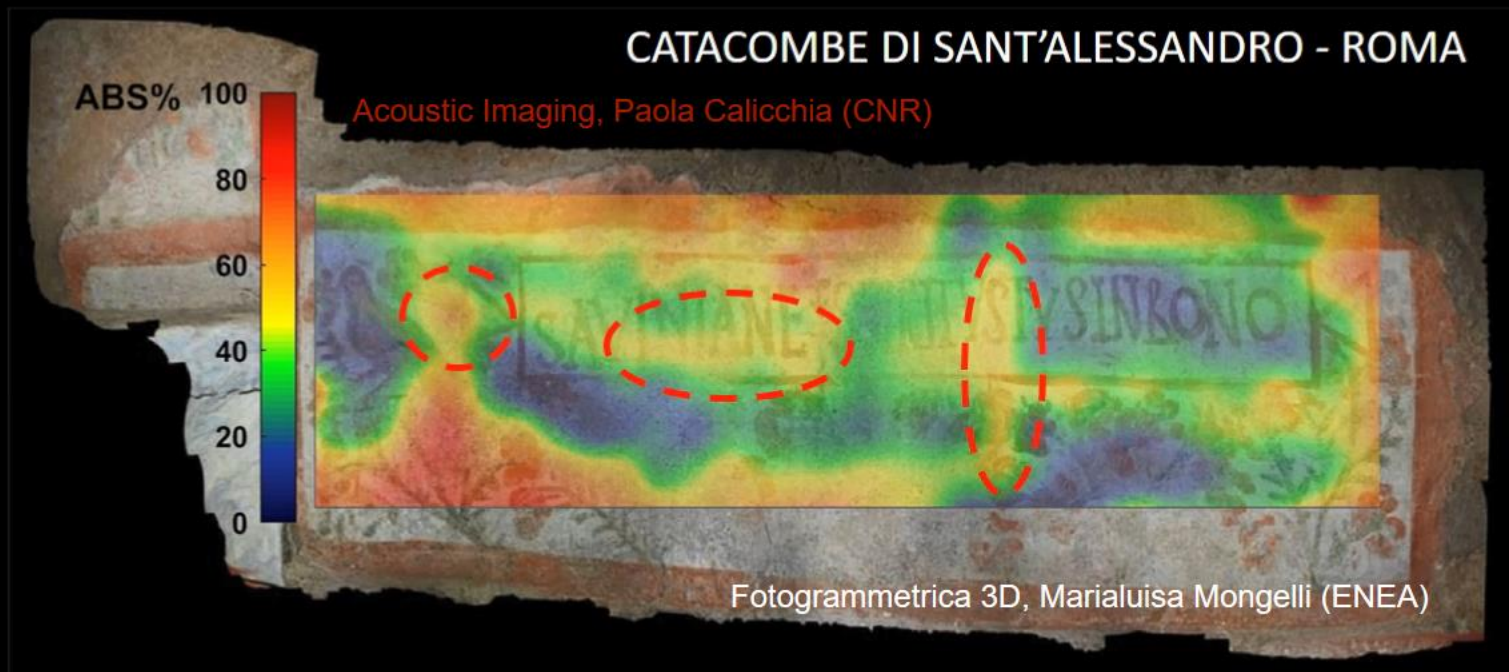
- processing delle immagini e ricostruzione 3D, storage dei dati e condivisione own-cloud delle immagini, dei risultati e documenti.
- restituzione 3D della parete affrescata
- modello numerico in scala 1:1 con accuratezza di misure e trama

M. Mongelli, I. Bellagamba, G. Bracco, B. Calosso, S. Migliori, A. Perozziello, S. Pierattini, A. Quintiliani, B. Mazzei, Structure-from-Motion (SfM) technique in the Catacombs of Priscilla in Rome. Improvements in the conservation, the safety and the fruition, Kermes, Vol. 107, Maggio, 2017, pagg. 111-116. ISSN 1122-3197. D. Abate, F. Ambrosino et al., High performance computing on CRESCO Infrastructure: research activities and results 2010-2011, ENEA, 2011. ISBN: 978-88-8286-268-8.



alcune regioni centrali indicano criticità molto localizzate e all'altezza dell'iscrizione

altre aree sono dovute all'effetto dei bordi irregolari, che deviano il fascio acustico



$f_c = 1600 \text{ Hz}$

- Immagini acustiche risolte in frequenza
- frequenze basse (1000 Hz-1600 Hz):
 ampie zone con elevato assorbimento *una zona verticale si evidenzia a tutta altezza nella zona di destra*, e un insieme di aree si estendono *orizzontalmente all'altezza dell'iscrizione*.
 - @ 2500 Hz:
 zone di assorbimento molto estese, facendo ipotizzare *una risonanza dell'intera struttura/cavità*.
 - frequenze medio-alte (4000 Hz, 6300 Hz-10000 Hz),
 aree critiche come *singoli spot* con una maggiore definizione, suggerendo la presenza di *distacchi molto superficiali e circoscritti*.

RIFLESSIONI



➤ ACCESSIBILITA'

Localizzazioni in genere difficilmente accessibili, con condizioni relativamente diverse da quelle dei laboratori;

Collaborazione col personale che gestisce il sito diventa fondamentale;

➤ CONDIZIONI SPERIMENTALI – ACCURATEZZA DI MISURA

Le condizioni di misura sono spesso «estreme» per il funzionamento ottimale dell'elettronica;

Possibili restrizioni di tempi possono incidere su caratteristiche dell'esame (risoluzione spaziale, incertezza di misura, ...);

➤ INTEGRAZIONE TRA METODOLOGIE – COMPLESSITA' DELL'ANALISI

Fondamentale l'integrazione con altre metodologie e l'accesso a informazioni storiche, e a dati/resoconti di restauri;

Informazioni scalabili, dalla singola opera al sito

CANTIERE DI RESTAURO

dove gli esperti sono spinti a integrare
diagnostiche diverse per una analisi
delle cause del degrado e degli effetti

ESEMPIO:

Chiesa San Nicola in carcere (Roma)

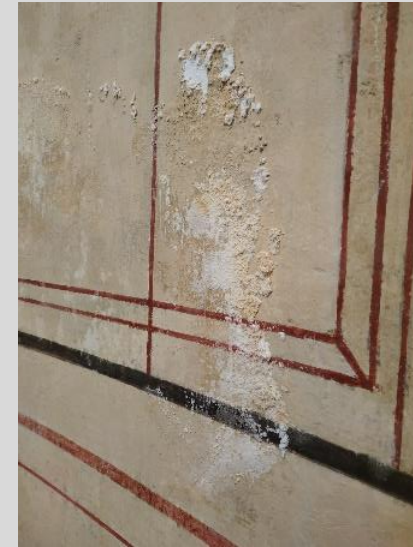


Chiesa di San Nicola in carcere (Roma)

Abside con muratura affetta da criticità legate all'umidità

Una delle basiliche minori nel centro storico di Roma, a ridosso dell'argine sinistro del Tevere, nella zona dell'antico Foro Olitorio. Costruita nel 1128 sulla base di tre templi di epoca repubblicana, rinnovata nel XVI sec da Giacomo Della Porta, e successivamente nel XIX sec. Con il piano regolatore del 1931 la zona circostante viene profondamente modificata lasciando la Chiesa un edificio isolato.

La Chiesa subisce l'effetto di importanti **infiltrazioni di acqua dal suolo**, e da **precipitazioni piovose**. L'elevato livello di umidità nelle murature produce rilevanti effetti sulle superfici dipinte, in modo particolare dell'abside localizzato nella parte più prossima al Tevere.



IL CONTESTO:

- ✓ Limitazioni degli spazi per posizionare gli strumenti di fronte la parete esaminata
- ✓ Alimentazione elettrica non ottimale
- ✓ Elevata Umidità Relativa e parametri ambientali variabili nella giornata, con l'irraggiamento solare esterno

ha indotto:

- Limitazione del numero dei punti di analisi, **limitando sia l'estensione sia la risoluzione spaziale** dell'immagine acustica
- Pensare ad una **nuova restituzione delle immagini acustiche** che fosse coerente anche con le altre metodologie impiegate

CONDIZIONI DI MISURA

5 giorni

T: $(10 - 13 \pm 1)^\circ\text{C}$

RH%: $(80 \pm 1)\%$

AREA DI ANALISI

matrice 23×14 (V×H),
322 punti, distanziati 5
cm; $110 \text{ cm} \times 1030 \text{ cm}$

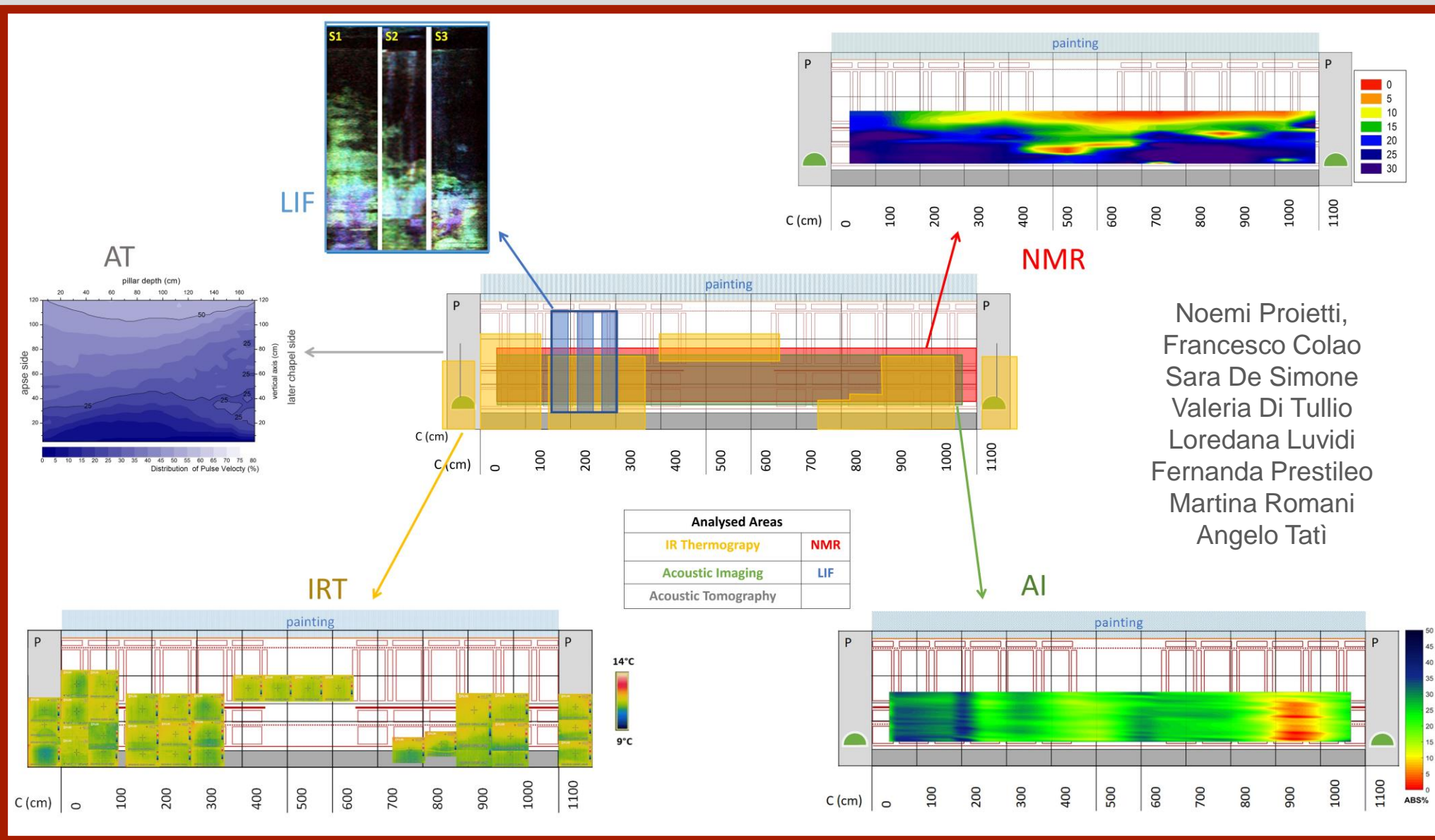


Progetto ADAMO, finanziato dalla Regione Lazio, coordinato da ENEA (2018-20) [<http://progettoadamo.enea.it/>]

Dr.ssa Alessandra Acconci, Soprintendenza Speciale Archeologia Belle Arti e Paesaggio di Roma; Arch. Conservatore Stefano Di Stefano, Vicariato di Roma; Restauratore Marco Mangano, EURES ARTE S.r.l. ; Dr.ssa Roberta Fantoni, Coordinatore Progetto ADAMO.

CONTENUTO DI ACQUA NELLA MURATURA E I SUOI EFFETTI

Gruppo di ricerca composto da ricercatori **CNR** ed **ENEA**, durante il cantiere di restauro realizzato da **EURES ARTE**



CONTENUTO ACQUA

Unilateral Nuclear Magnetic Resonance (Unilateral NMR)

Infrared Thermography (IRT)

DEGRADO STRUTTURALE

Acoustic Tomography (AT)

Acoustic Imaging (AI)

ATTACCO BIOLOGICO

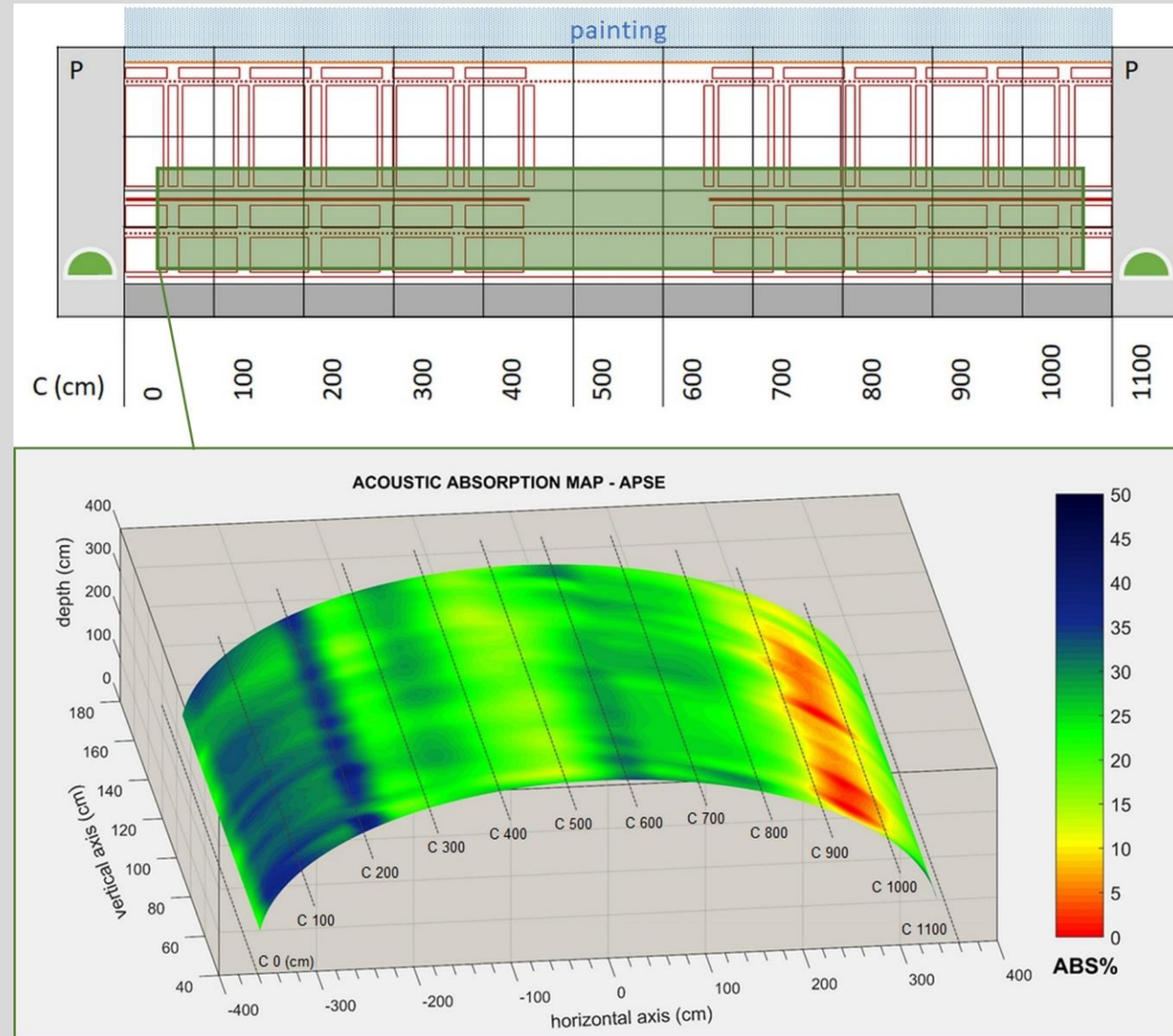
Laser-Induced Fluorescence (LIF)

Gruppo di ricerca composto da ricercatori **CNR** ed **ENEA**, durante il cantiere di restauro realizzato da **EURES ARTE**

DETERIORAMENTO DELLE PROPRIETA' ELASTICHE DELLA MURATURA NELLE AREE DOVE NMR E IRT RISCONTRANO MAGGIORE CONTENUTO DI ACQUA

Table 2. Synthesis of the experimental evidence. The NMR is marked as the direct measurement of the water content; the three leftmost columns discriminates the surface-sensitive techniques from the two rightmost depth-sensitive.

	NMR	IRT	LIF	AI	AT
APSE	Right	High Humidity wet areas up to h = 1500 cm	Wet areas up to h = 1500 cm	Good state	
	Center	Wet areas up to h = 80 cm	Lower humidity	Good state light detachment, not correlated with water	
	Left	High Humidity wet areas up to h = 1800 cm	Wet areas up to H = 2000 cm on the side closest to the left pillar	Not uniform with partial pigment removal, and biological attack	Structural weakening
	Low	Saturation up to 30%	Wet areas	Not uniform with partial pigment removal, and biological attack	Vertical homogeneity
PILLARS	High	Saturation up to 10%	Dry areas	Quite uniform, with slight pigment alteration	Vertical homogeneity
	Right		Same conditions of right side of apse		Vertical inhomogeneity
	Left		Same conditions of left side of apse. More critical		Vertical inhomogeneity. More critical
		Surface		In depth	



Progetto ADAMO, finanziato dalla Regione Lazio, coordinato da ENEA (2018-20) [<http://progettoadamo.enea.it/>]

Noemi Proietti, Paola Calicchia, Francesco Colao, Sara De Simone, Valeria Di Tullio, Loredana Luvidi, Fernanda Prestileo, Martina Romani and Angelo Tatì, MOISTURE DAMAGE IN ANCIENT MASONRY: A MULTIDISCIPLINARY APPROACH FOR IN SITU DIAGNOSTICS, *Minerals* 2021, 11(4), 406; <https://doi.org/10.3390/min11040406>

RIFLESSIONI

➤ ACCESSIBILITA'

Localizzazioni in genere mediamente accessibili, con possibili limitazioni che possono condizionare la misura;

Condizioni distanti da quelle dei laboratori;

Accordi con il personale del cantiere per gestire in maniera sostenibile la coesistenza delle diverse attività;

➤ CONDIZIONI SPERIMENTALI – ACCURATEZZA DI MISURA

Le condizioni di misura sono in genere poco agevoli, dove configurazioni strumentali ultra-leggere e/o per analisi puntuali lavorano meglio;

Possibili restrizioni di tempi possono incidere su caratteristiche dell'esame (risoluzione spaziale, incertezza di misura, ...);

➤ INTEGRAZIONE TRA METODOLOGIE – COMPLESSITA' DELL'ANALISI

Fondamentale l'integrazione con altre metodologie e l'accesso a informazioni storiche, e a dati/resoconti di restauri



MUSEI E PALAZZI STORICI

dove diverse funzioni d'uso possono
nascondere particolari non del tutto
evidenti

ESEMPIO:

Palazzo Chigi di Ariccia



Palazzo Chigi di Ariccia

Il palazzo con impianto medievale, appartenuto alla Famiglia Savelli, nel 1661 è acquisito dalla Famiglia Chigi che ne fa un residenza nello stile del Barocco Romano. Al piano nobile, nell'ala sinistra del Palazzo Chigi si trova la Sala dell'Ariosto, con un ciclo ispirato all'Orlando Furioso dipinto da Giuseppe Cades nel 1788, assieme ai due dipinti monocromi *Graecia Vetus* e *Italia Nova*

Danni strutturali delle superfici dipinte



IL CONTESTO:

- ✓ Ampi spazi per posizionare e movimentare gli strumenti
- ✓ Alimentazione elettrica ottimale
- ✓ Parametri ambientali stabili e sotto controllo
- ✓ Coesistenza con fruizione
- ✓ Sala attigua con rivestimento in cuoio

ha indotto:

- Limitazione dell'estensione dell'area di analisi, **limitando leggermente l'estensione** dell'immagine acustica
- **Ulteriori approfondimenti** sono stati possibili successivamente
- Pensare ad una **integrazione delle immagini acustiche** con altre metodologie impiegate per mettere a fuoco problematiche

CONDIZIONI DI MISURA

5 giorni
T: $(13 \pm 1)^\circ\text{C}$
RH%: $(46 - 58 \pm 1)\%$

AREA DI ANALISI

matrice 43×33 (VxH),
1419 punti, distanziati
5 cm; 160 cm \times 210 cm



GRAECIA VETUS

Interventi diagnostici integrando:

- *Acoustic Imaging* risolto in frequenza;
- *Tomografia acustica* con martelletto;
- *Fotogrammetria*

Analisi di superficie e di profondità

Gruppo di ricerca **CNR ed ENEA**

Sara De Simone, Antonio Camassa, Angelo Tati



RIFLESSIONI

➤ ACCESSIBILITA'

Localizzazioni delle opere in genere facilmente accessibili, con condizioni simili a quelle dei laboratori;

Accordi con il personale dei Musei/Palazzi Storici per gestire in maniera sostenibile la realizzazione delle misure;

➤ CONDIZIONI SPERIMENTALI – ACCURATEZZA DI MISURA

Le condizioni di misura sono in genere agevoli, simili a quelle dei laboratori, dipendenti dallo stato dell'immobile;

Possibili restrizioni di tempi possono incidere su caratteristiche dell'esame (risoluzione spaziale, incertezza di misura, ...);

Spesso sono compatibili con la fruizione del pubblico;

➤ INTEGRAZIONE TRA METODOLOGIE – COMPLESSITA' DELL'ANALISI

Fondamentale l'integrazione con altre metodologie e l'accesso a informazioni storiche, e a dati/resoconti di restauri



CONCLUSIONI

Cercare punti d'incontro



▪ LAVORARE IN SITU

Contesto ottimale per l'opera da analizzare, in equilibrio con il suo ambiente naturalmente

Contesto a volte non ottimale ai fini metrologici

▪ SVILUPPO TECNOLOGICO E IMPLEMENTAZIONI METODOLOGICHE

Tecnologie con configurazioni portatili, ridotte in dimensioni, modulari, flessibili, controllabili da remoto sono più adeguate

Metodologie sempre più solide, affidabili, confrontabili con riferimenti noti offrono maggiori garanzie in contesti complessi

▪ COME?

Riducendo la dipendenza del processo di misura dalle grandezze di input meno controllabili, limitando il numero delle variabili significative

Aumentando il controllo sulle componenti all'incertezza che non si possono eliminare

Limitando le indeterminazioni legate ai CONTESTI nei processi di misura

GRAZIE!