ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# *DEGRADO DEI MATERIALI LAPIDEI DEL PATRIMONIO STORICO E ARCHITETTONICO DELLA PUGLIA MERIDIONALE*

**Giovanni Quarta** - Geologo

- **SEMINARIO TECNICO SPECIALISTICO: NUOVI SVILUPPI SUI MATERIALI PER L'EDILIZIA - LECCE, 1 LUGLIO**
- ***Facoltà di Ingegneria dell'Università del Salento in Lecce, Edificio Angelo Rizzo (Corpo Y)***

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

## Diagnostica distruttiva o invasiva

## Diagnostica non distruttiva

## Diagnostica non invasiva

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

## Diagnostica distruttiva o invasiva

**Le metodologie scientifiche che rientrano in questa categoria sono quelle che prevedono il prelievo di materiale dal manufatto**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

## Diagnostica non distruttiva

**Le metodologie scientifiche che rientrano in questa categoria sono quelle che, pur non prevedendo il prelievo di materiale, interagiscono con la materia modificandone lo stato fisico e/o chimico**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

## Diagnostica non invasiva

**Le metodologie scientifiche che rientrano in questa categoria sono quelle che pur interagendo con la materia non ne alterano lo stato fisico e/o chimico**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# OBIETTIVI , FINALITA' E INDIRIZZI

**Per poter procedere**

**AL RESTAURO**

**ALLA CONSERVAZIONE**

**ALLA TUTELA**

**ALLA VALORIZZAZIONE**

**C' è la necessità di avere una approfondita conoscenza dell'opera d' arte**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

Consiglio Nazionale delle Ricerche

## CONOSCENZA TECNICA E STORICA

**STUDIO DEI MATERIALI COSTITUTIVI**

**DEFINIZIONE DELLA TECNICA ESECUTIVA**

**DATAZIONE – AUTENTICAZIONE - ATTRIBUZIONE**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# Metodologie Scientifiche per lo studio dei beni culturali

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Identificazione dei materiali mediante tecniche diagnostiche**

**Confronto con fonti documentarie e banche dati**

**Informazioni da studi di carattere storico e artistico**

**Datazione e Attribuzione**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE

## DEFINIZIONE DELLO STATO DI ALTERAZIONE

## DEFINIZIONE DEL MODO IN CUI L'ALTERAZIONE SI MANIFESTA (FORME DI DEGRADO)

## ANALISI DELLE CAUSE DEL DEGRADO

# PROVE IN SITU
# E INDAGINI DI LABORATORIO

## BENI MOBILI

IN LABORATORIO

Senza manipolazione

Prelievo

INTERO

CAMPIONE

ND

ND

D

# PROVE IN SITU
# E INDAGINI DI LABORATORIO

## BENI INAMOVIBILI

Senza manipolazione

Prelievo

IN SITU

IN LABORATORIO

ND

ND

D

# ANALISI DI LABORATORIO

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**METODO** → **Insieme delle azioni analitiche**

**Prelievo**

**Preparazione campione**

**Analisi**

**E' importante perché non riguarda solo l'analisi ma anche l' effetto prodotto sull'oggetto dell'indagine**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Se la quantità di materiale richiesta per l'analisi è "molto piccola" (qualche mg), il metodo di indagine si può considerare non distruttivo (o microdistruttivo) anche se la tecnica analitica impiegata fosse completamente distruttiva

**Non viene prodotto alcun danno, né materiale né di tipo estetico sul Bene Culturale**

↓

**No alterazione dell'oggetto**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Nel caso dei BB.CC, non è possibile definire in assoluto la quantità di materiale necessaria all'analisi e rapportarla al danno prodotto sull'oggetto**

**La quantità di materiale è inferiore, nella maggior parte dei casi, a quella che si perde a causa dei processi deteriorativi in atto**

**Nel caso di indagini sui BB.CC, sarebbe preferibile metodi non distruttivi e non invasivi**

**Spesso è però necessario procedere con analisi che richiedono prelievi di materiale**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# SEQUENZA ANALITICA NON DISTRUTTIVA

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**PREPARAZIONE PER SEZIONE SOTTILE**

↓

**OSSERVAZIONE MICROSCOPIO OTTICO**

↓

**OSSERVAZIONI MICROSCOPIO ELETTRONICO**

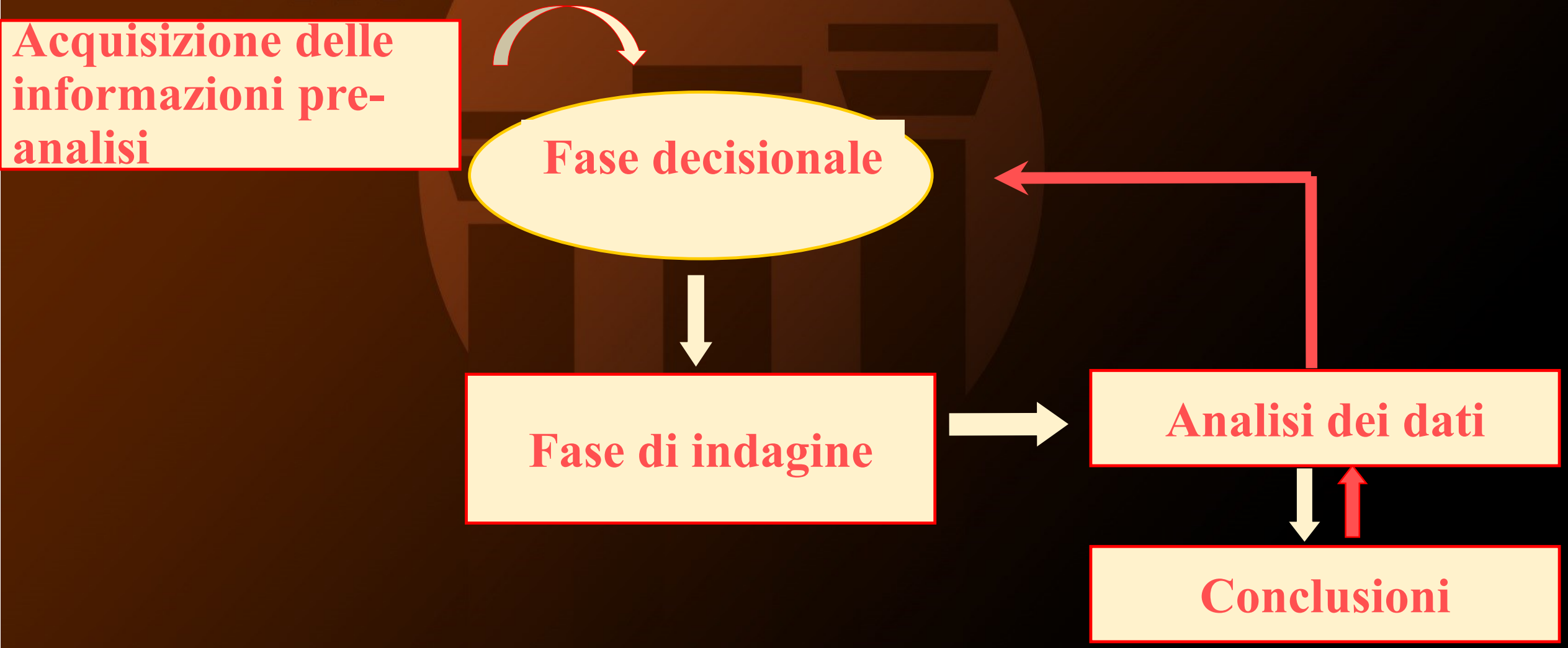
↓

**OSSERVAZIONI MICROSCOPIO FT-IR**

↓

**ANALISI GLOBALE DEI DATI**

# PIANO DIAGNOSTICO



ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# ASPETTI GENERALI

**Le applicazioni delle indagini ND possono rispondere a molteplici esigenze, fra le quali:**

**Verifica dello stato di conservazione (estetico/funzionale)**

**Analisi di autenticità o attribuzione o manomissioni parziali**

**Indicazioni riguardo a materiali e procedimenti per il restauro**

**Catalogazione - Archiviazione**

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# VANTAGGI DELLE PROVE ND

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**CONSERVAZIONE DELL' INTEGRITA'**

**VELOCITA' DI ESECUZIONE**

**RAPIDITA' DI INTERPRETAZIONE**

**GLOBALITA' DELL' INFORMAZIONE**

# SVANTAGGI DELLE PROVE ND

INFORMAZIONI PREVALENTEMENTE QUALITATIVE/QUALCHE VOLTA QUANTITATIVE

NECESSITA' DI CONFRONTI FRA PIU' TECNICHE

LIMITAZIONI IMPOSTE DA PARTICOLARI SITUAZIONI O MATERIALI

CARATTERIZZAZIONE PREVALENTEMENTE FISICA

MANCANZA DI DETTAGLIO MA NEGLI ULTIMI ANNI LA RISOLUZIONE E' AUMENTATA MOLTO

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# MICROSCOPIA OTTICA

Consiglio Nazionale delle Ricerche

## Laboratorio di microscopia ottica, elettronica e diffrattometria di raggi x

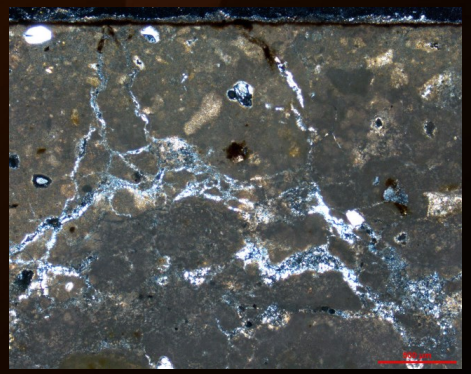
a) una sezione dedicata alla preparazione dei campioni da analizzare al microscopio ottico ed elettronico. All'interno è presente un sistema per l'inglobamento in resina dei campioni, una taglierina di precisione (≈ 50-80 μm) programmabile, un prelevegatrice programmabile con testa multi campione, una levigatrice per la realizzazione delle sezioni sottili.

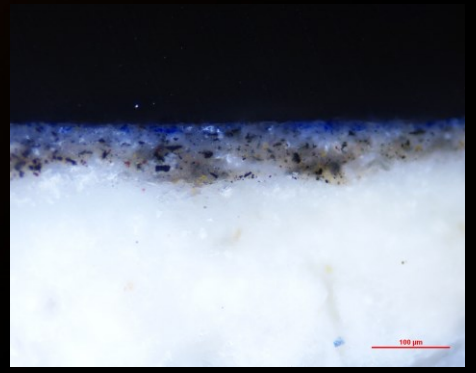
b) una sezione dedicata alla microscopia ottica costituita da tre microscopi: uno stereomicroscopio Zeiss mod. …, un microscopio Zeiss mod. Axioplane a luce polarrizzata trasmessa/riflessa e un microscopio Nikon mod. Eclypse a luce polarizzata trasmessa/riflessa dotato di sorgete luminosa per osservazione UV e due set di obiettivi rispettivamente per le osservazioni in luce trasmessa e riflessa. Tutti i microscopi sono controllati da un sistema di acquisizione ed elaborazione di immagini NIS

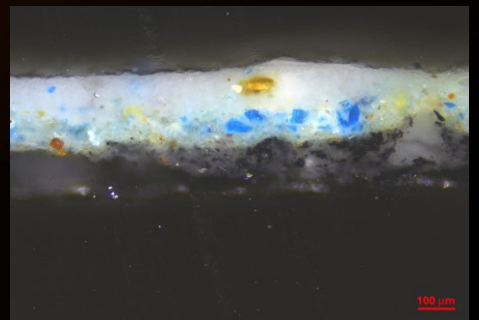
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

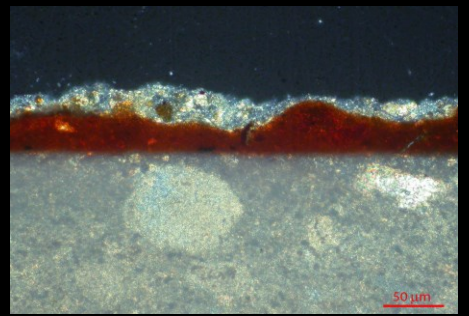
Consiglio Nazionale
delle Ricerche

# Laboratorio di microscopia ottica, elettronica e diffrattometria di raggi x



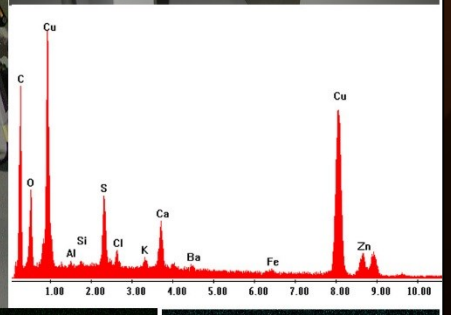


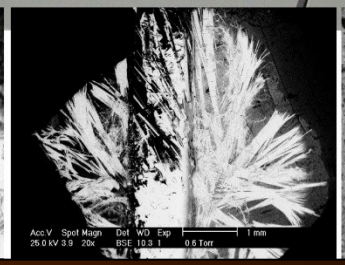


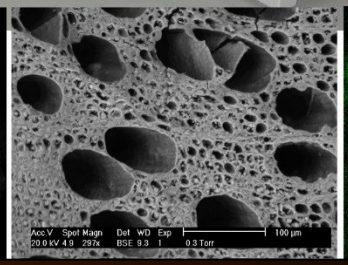


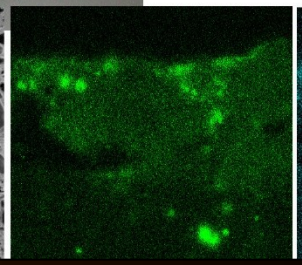
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

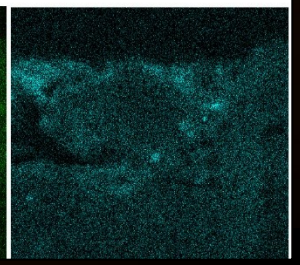
Consiglio Nazionale delle Ricerche







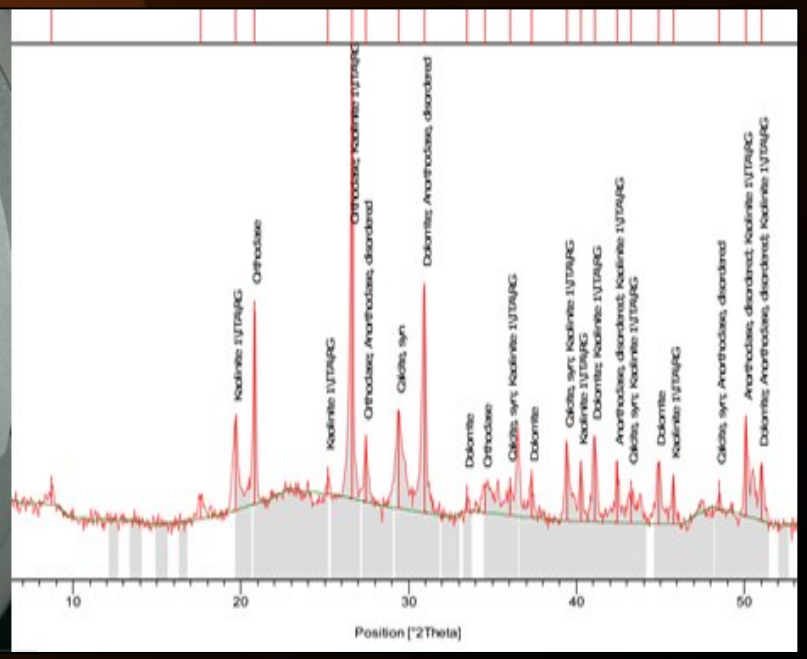




Una sezione di microscopia elettronica a scansione dotata di un microscopio ESEM (Environmental Scanning Electron Microscopy) della Fei Company con sistema integrato di microanalisi EDS EDAX, dotato di detector SSD con risoluzione di 128 eV e di rivelatore BSE (Back Scattered Electrons). Tale microscopio permette di osservare il campione in condizioni di Low Vacuum senza la necessità che sia ricoperto da uno strato conduttivo, permettendo altre analisi ed osservazioni sullo stesso campione. Il sistema è utilizzato per la caratterizzazione microstrutturale e composizionale dei materiali rispettivamente mediante analisi GSE (Gaseous Secondary Electrons) e BSE, e analisi in fluorescenza di raggi X per dispersione di energia (EDS) per analisi elementari qualitative e semiquantitative, con possibilità di eseguire mappe di distribuzione areali degli elementi

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale
delle Ricerche

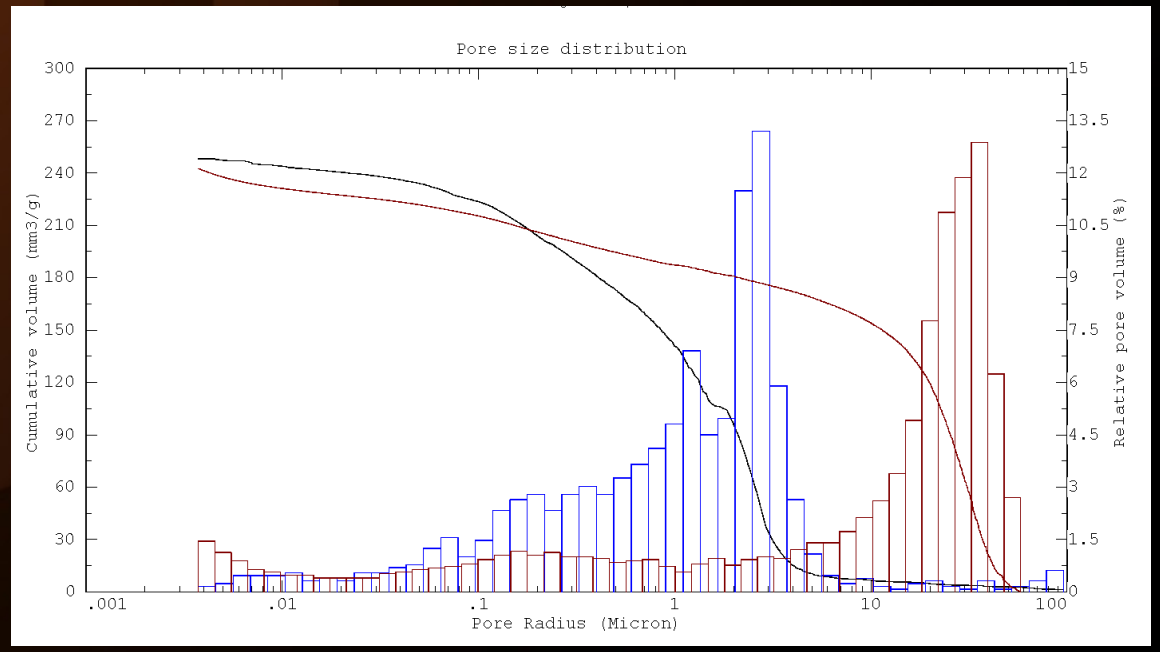



Una sezione di diffrattometria di raggi x, dotata di un diffrattometro a raggi x per polveri della Philips Mod. PW 1710 controllato mediante software X PERT Plus utilizzato anche per gestione dei dati e l' identificazione delle fasi mineralogiche.

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

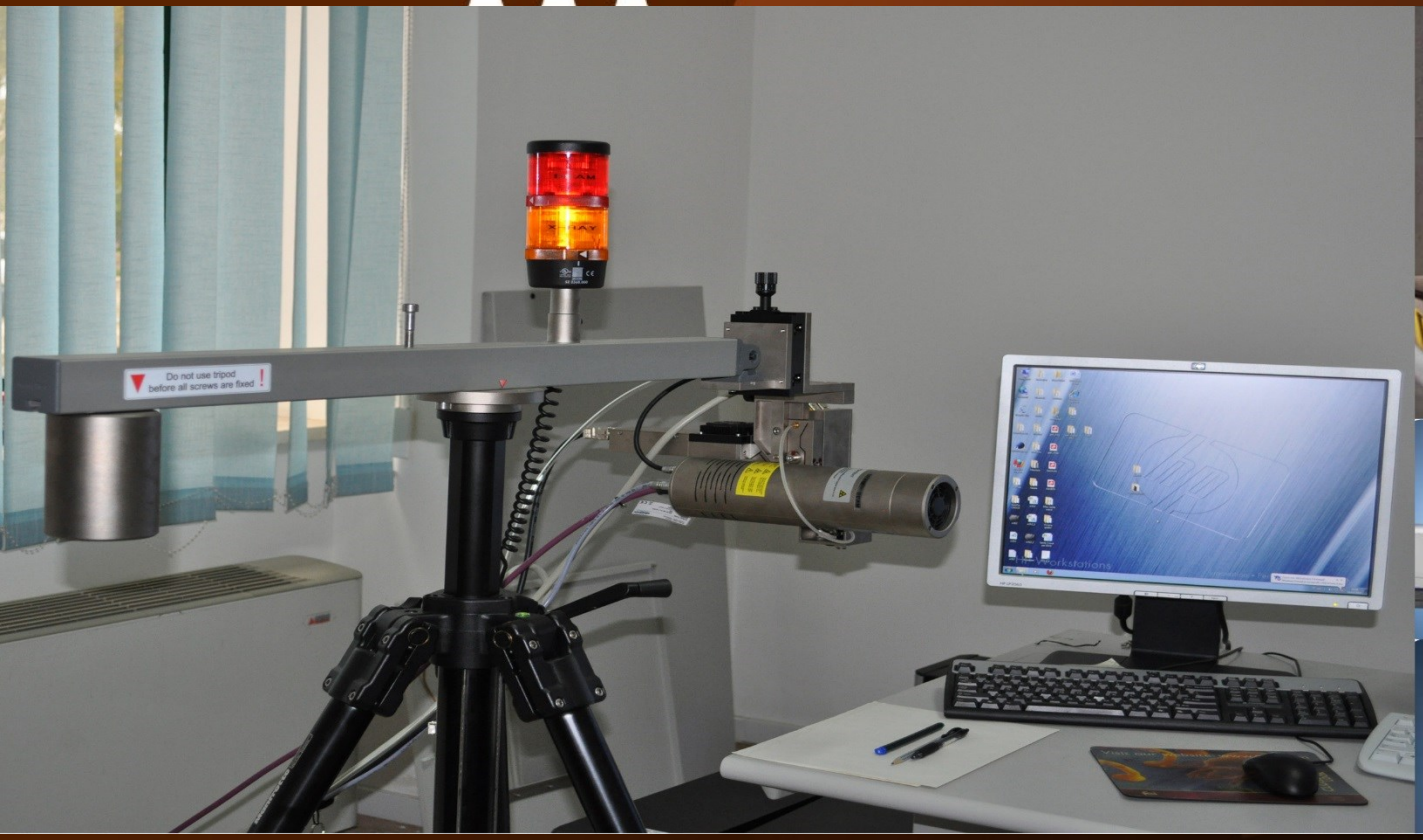
Consiglio Nazionale delle Ricerche

**Porosimetro a mercurio** per la determinazione della porosità e della distribuzione del volume del raggio dei pori in funzione del diametro. Apparecchiatura importante per la determinazione del sistema porosimetrico dei materiali lapidei naturali e artificiali anche in vista della loro vulnerabilità nei confronti del degrado.



ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale
delle Ricerche



Una sezione per analisi chimica elementar
invasiva dotata di strumentazione per a
di fluorescenza di raggi x della Bruxer
mod. Artax 200. Si tratta di
strumentazione di ultima generazione c
di una sistema di purge ad He p
rivelazione degli elementi leggeri (con nu
atomico dal Na in su) e di collimazion
fascio dei raggi x fino a 100 μm
strumentazione, attualmente col
all ' interno del laboratorio, può e
trasportabile e utilizzabile in situ.

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# La chiesa di Santa Maria Maddalena
# Uggiano la Chiesa

Consiglio Nazionale
delle Ricerche

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# La chiesa di Santa Maria Maddalena
# Uggiano la Chiesa

ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# La chiesa di Santa Maria Maddalena
# Uggiano la Chiesa

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

Campionamento e metodologie analitiche impiegate

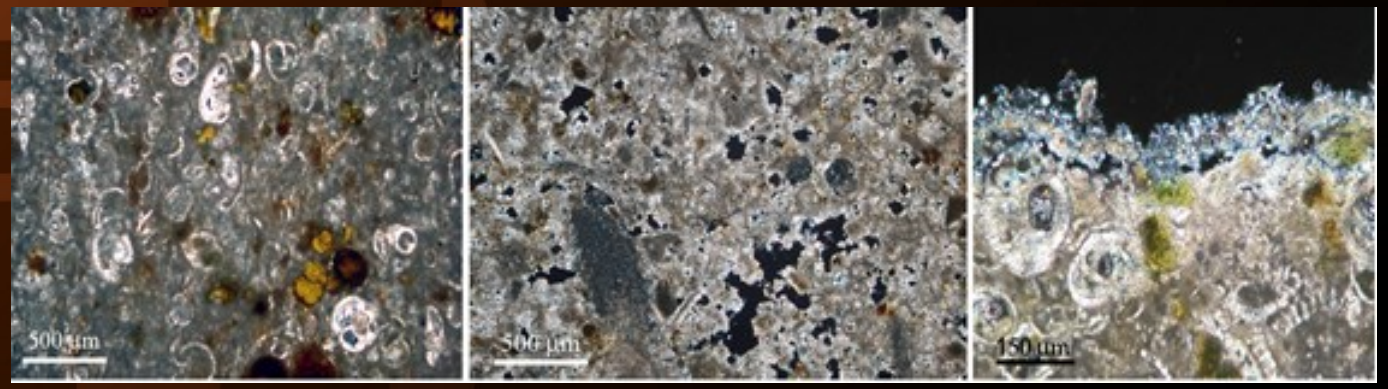
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

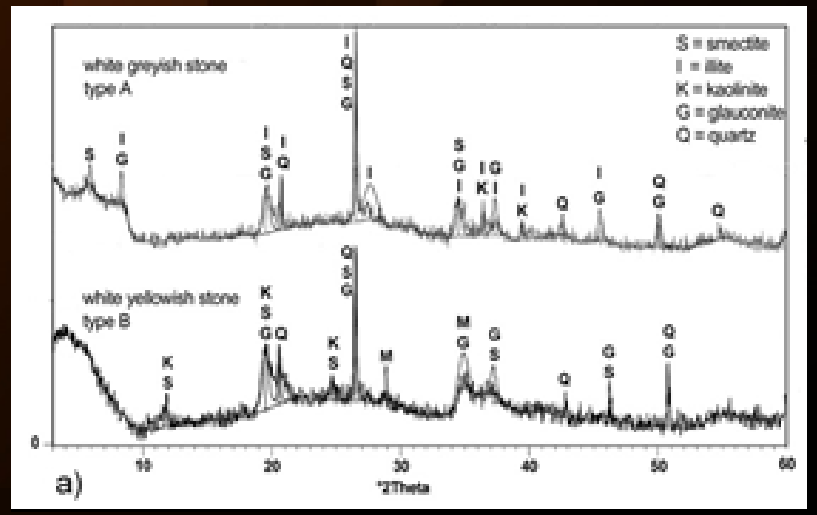
Consiglio Nazionale delle Ricerche

## Campionamento e metodologie analitiche impiegate

**Studio mineralogico-petrografico**

- Osservazioni allo stereomicroscopio allo scopo di identificare la morfologia superficiale del campione, la presenza di strati sottili o patine, colore ecc.
- Osservazioni al microscopio ottico in luce trasmessa e riflessa su sezione sottile, allo scopo di caratterizzare le due principali tipi di pietre e i prodotti di degrado . Sono state eseguite, inoltre, osservazioni con luce UV per l'individuazione di sostanze organiche correlabili a trattamenti tradizionali della pietra eseguiti in passato.
- Determinazione del contenuto in carbonati attraverso calcimetro Dietrich-Fruhling e del residuo insolubile .
- Analisi per diffrattometria di raggi x, su campioni di pietra tal quale e alterata e sul loro residuo insolubile eseguite con diffrattometro Philips PW 1729, in un range $2\theta$ compreso tra 3° e 60° , con anticatodo di rame (radiazione $CuK\alpha$), in condizioni di tensione e corrente di 40kV e 20mA. Inoltre, sulla frazione inferiore a 2 μm, opportunamente separata, sono state condotte analisi ($3° < 2\theta < 14°$ ) per la determinazione dei minerali argillosi. Queste sono state eseguite su campioni opportunamente preparati (orientati tal quali, orientati e trattati con glycol etilenico, riscaldati a temperature di 450° C e 600° C).
- Osservazioni al microscopio elettronico ambientale XL30 della FEI per ottenere informazioni sulla morfologia e dimensione dei cristalli e sulla microstruttura delle pietre inalterate e deteriorate.




In termini di composizione totale il tipo A contiene il 6,2 % di smectite e il 2% di illite, mentre la varietà B ha 1,8 % di smectite e 1,2 % di caolinite.

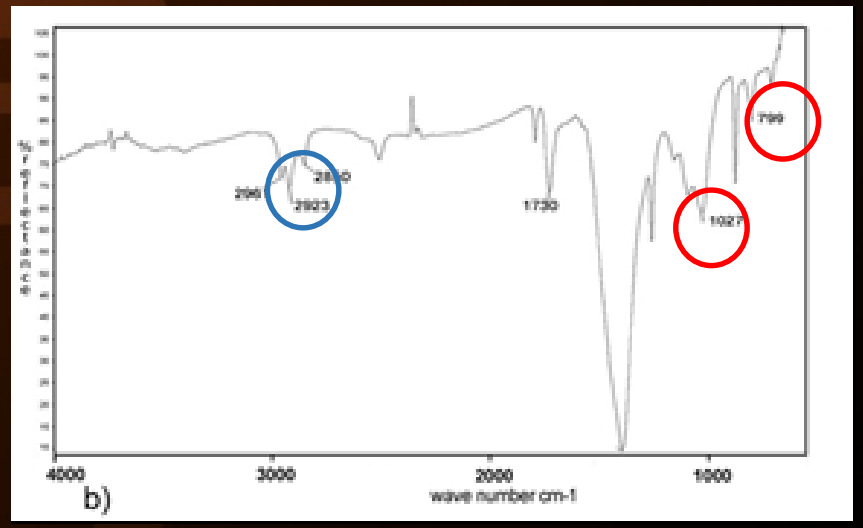
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

### *Studio chimico*

- Microanalisi attraverso microscopio elettronico ambientale equipaggiato con spettrometro di raggi x (EDAX) per l'identificazione elementale di nuovi composti derivanti dal degrado o di prodotti inorganici per la conservazione applicati in precedenti lavori di restauro.
- Analisi attraverso micro-spettrofotometria FT-IR attraverso microscopio Continuum IR della Thermo-nicolet; gli spettri sono stati raccolti in riflettanza e in modalità μ-ATR; ogni spettro è stato acquisito nel range d [illegible] cm$^{-1}$, con una risoluzione di 4 cm$^{-1}$ and 200 scansioni; per le misure in μ-ATR è stato utilizzato un cristallo di silicio.

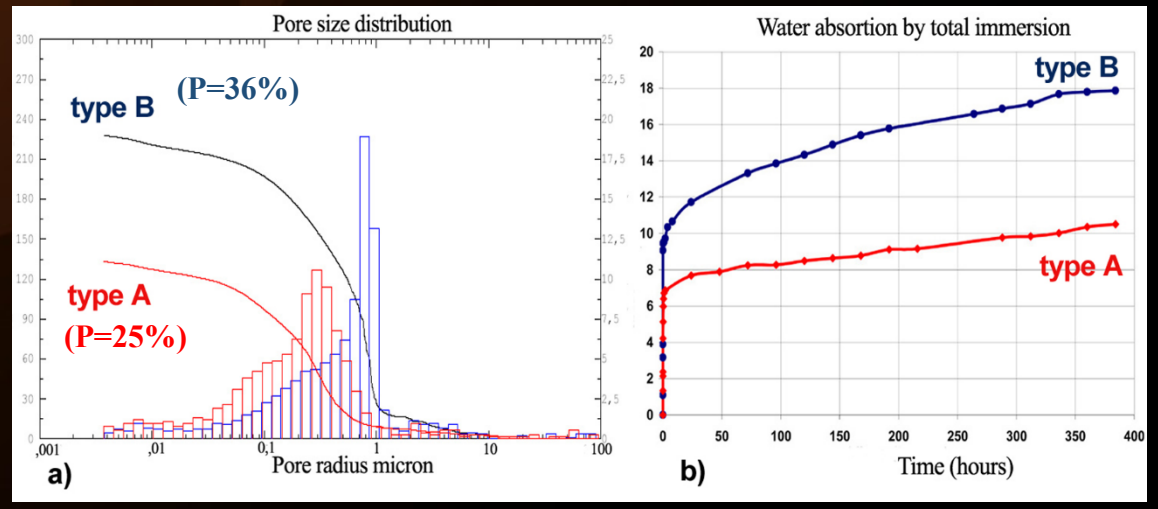
(P=36%)




### *Studio fisico*

-Analisi della porosità integrale aperta e individuazione della distribuzione della dimensione dei pori in funzione del loro raggio attraverso porosimetro a mercurio della Thermo Quest (unità Pascal 140 and 240); determinazione delle cinetiche di assorbimento dell'acqua e dell'indice di imbibizione attraverso tests per immersione totale (Normal 1991); misura dell'angolo di contatto per valutazione delle proprietà idrorepellenti della superficie.

Normal 4/80, 1981.



ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

## Conclusioni

Il degrado differenziale osservato sulla facciata della chiesa di S. Maria Maddalena sembra essere correlato alle diverse varietà di pietra che sono state impiegate per la sua costruzione. Si tratta di due varietà di rocce appartenenti alla formazione della Pietra leccese, molto simili dal punto di vista macroscopico, sopratutto appena estratte dalla cava, ma con caratteristiche composizionali e microstrutturali differenti. Tali differenze hanno condizionato fortemente il loro comportamento nei confronti del degrado che è stato verosimilmente accelerato anche dall'applicazione di un precedente trattamento conservativo che ha modificato notevolmente le caratteristiche intrinseche del tipo A. I risultati ottenuti evidenziano l'importanza della programmazione degli interventi conservativi basati sulla conoscenza dei materiali costituenti i manufatti e del loro stato di conservazione, assieme alla valutazione dei trattamenti conservativi dei quali è fondamentale conoscerne l'efficacia e la durabilità che sono anch'esse fortemente influenzate dalle caratteristiche dei supporti lapidei.

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

Consiglio Nazionale delle Ricerche

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## Piano diagnostico

**a)** Individuazione dello stato termo igrometrico delle superfici mediante Termocamera

**b)** Determinazione dei valori d'umidità relativa Ur e temperatura T dell'aria mediante acquisitore

c) Determinazione del contenuto di umidità delle murature mediante misura ponderale (Normal 41/93)

d) Misure di umidità di superficie con strumentazione tipo Protimeter

**e)** Studio mineralogico-petrografico in luce trasmessa;

f) Studio mineralogico per diffrazione di raggi X dei materiali costitutivi e dei prodotti di degrado;

g) Osservazioni al microscopio elettronico a scansione ambientale (ESEM) corredate da microanalisi chimica elementare alla microsonda elettronica in dispersione di energia (EDS) (

h) Spettrofotometria infrarossa in trasformata di Fourier (FT/IR);

i) Analisi chimica qualitativa e quantitativa dei sali solubili (CI)

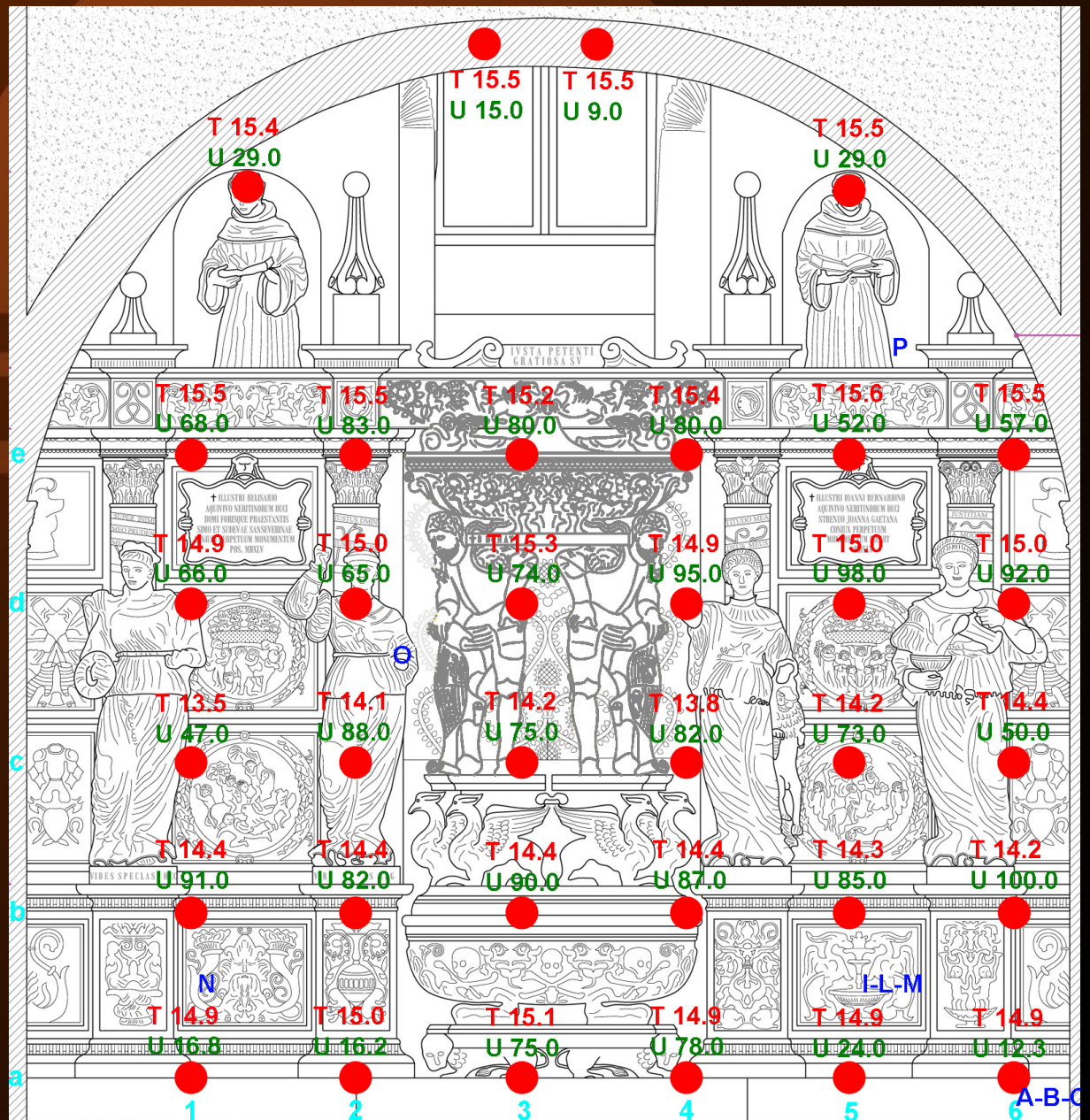
l) Indagini non distruttive per la caratterizzazione delle strutture murarie mediante GPR con antenne da 900 MHz e/o 2 GHz.

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

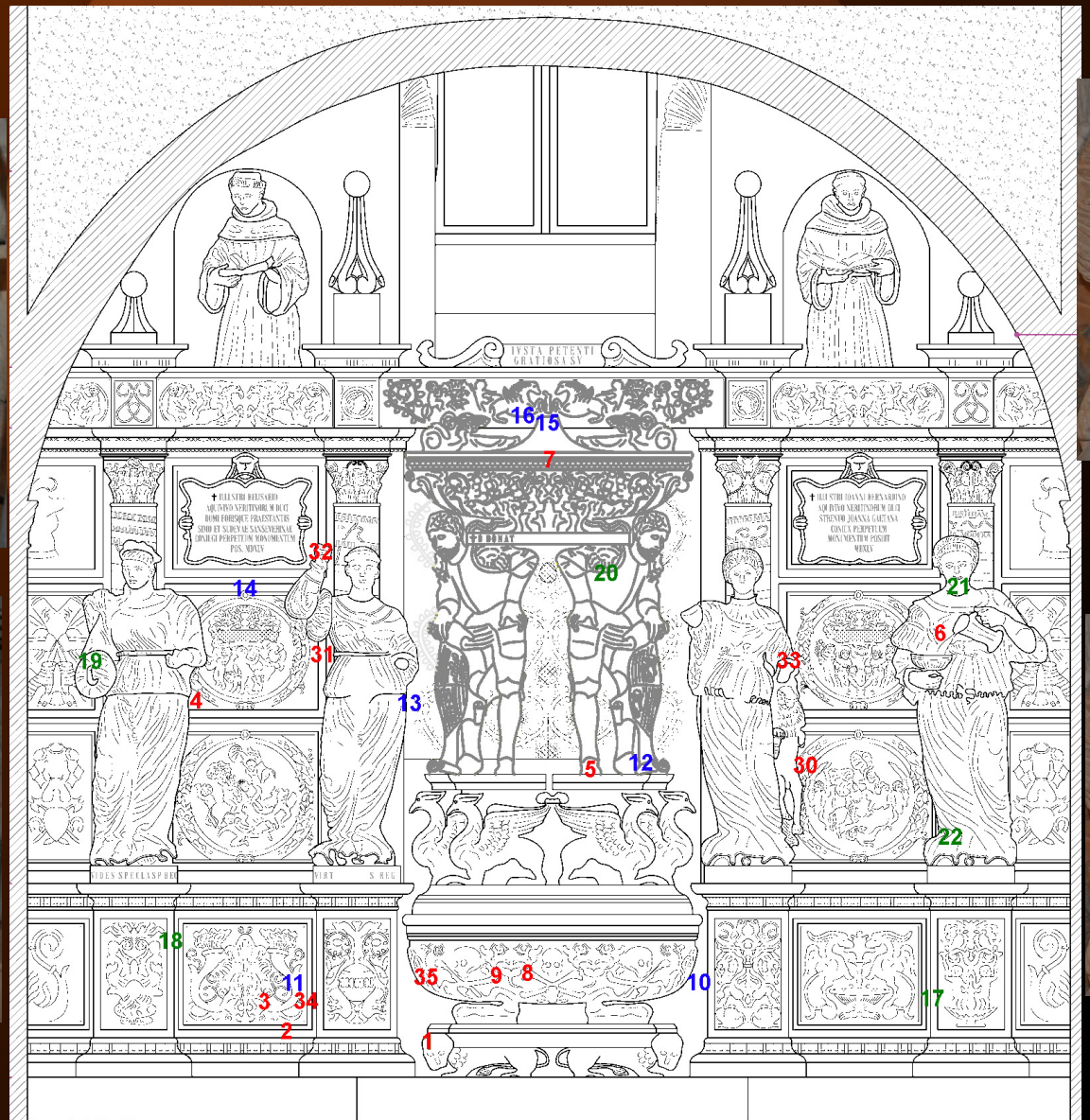
# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## Dati umidità e temperature superficiali



ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche



ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## PATINE

| Campioni | Descrizione del campione | Provenienza del campione |
|---|---|---|
| MA-1 | patina di colore bruno | testa del leone sinistro |
| MA-2 | patina di colore rosato | riquadro basso sinistro, dalla cornice |
| MA-3 | polvere da patina di colore rosato | riquadro inferiore sinistro |
| MA-4 | patina di colore rosato | tondo alto tra la Prudenza e la Giustizia |
| MA-5 | patina di colore bruno | piede destro del guerriero di destra |
| MA-6 | patina di colore giallastro | seno della Temperanza |
| MA-7 | patina giallastra | sarcofago alto, dalla cornice superiore |
| MA-8 | patina di colore bruno rossastro | sarcofago basso, da un osso del teschio centrale |
| MA-9 | patina biancastra | sarcofago basso, da un osso del teschio di sinistra |
| MA-30 | patina di colore beige | tondo basso tra la Fortezza e la Temperanza |
| MA-31 | patina di colore beige | colonna con tralci di vite posta sul retro della Giustizia |
| MA-32 | patina di colore rosato | mano destra della Giustizia |
| MA-33 | scialbo bianco su patina di colore rosato | braccio sinistro della Fortezza |
| MA-34 | patina di colore rosato | cornice del basamento della Temperanza |
| MA-35 | patina di colore rosato | sarcofago basso, da una foglia |

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## MATERIALI SCULTOREI

| Campione | Descrizione del campione | Provenienza del campione |
|---|---|---|
| **MA-10** | frammento di pietra tenera con fossili | sarcofago basso, lato destro |
| **MA-11** | frammento di pietra | riquadro basso sinistro, cavità destra |
| **MA-12** | frammento di pietra compatta con fossili | guerriero di destra, dalla base dello scudo |
| **MA-13** | frammento di pietra con fossili | manto della Giustizia, lato posteriore |
| **MA-14** | frammento di pietra | tondo alto tra la Prudenza e la Giustizia, cornice superiore |
| **MA-15** | frammento di pietra | sarcofago alto, dal coperchio |
| **MA-16** | frammento di pietra | sarcofago alto, dal fregio superiore |

## POLVERI SUPERFICIALI

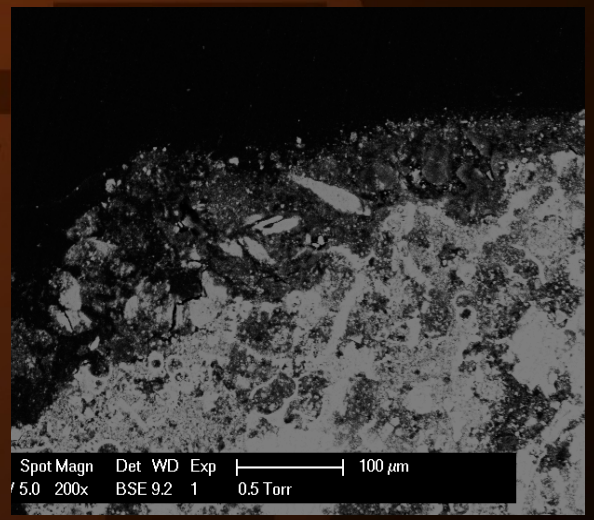
| Campione | Descrizione del campione | Provenienza del campione |
|---|---|---|
| **MA-17** | efflorescenze saline | basamento della Temperanza, parte bassa |
| **MA-18** | polvere | basamento della Prudenza, parte alta |
| **MA-19** | polvere | Prudenza, dal braccio sinistro |
| **MA-20** | polvere | guerriero di destra, dallo spallaccio leonino |
| **MA-21** | efflorescenze saline | Temperanza, dal mento |
| **MA-22** | polvere | Temperanza, parte inferiore del manto |

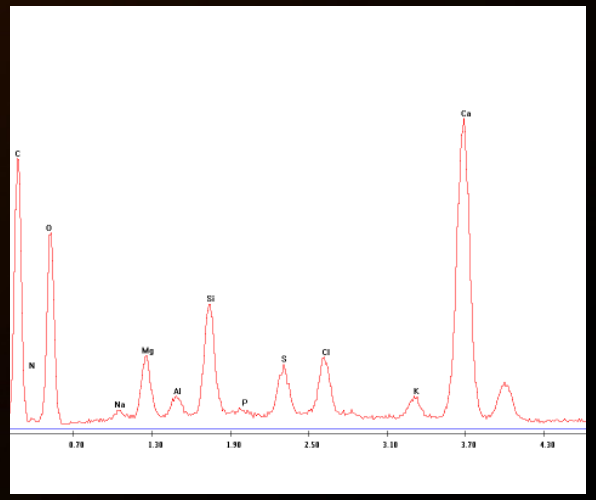
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

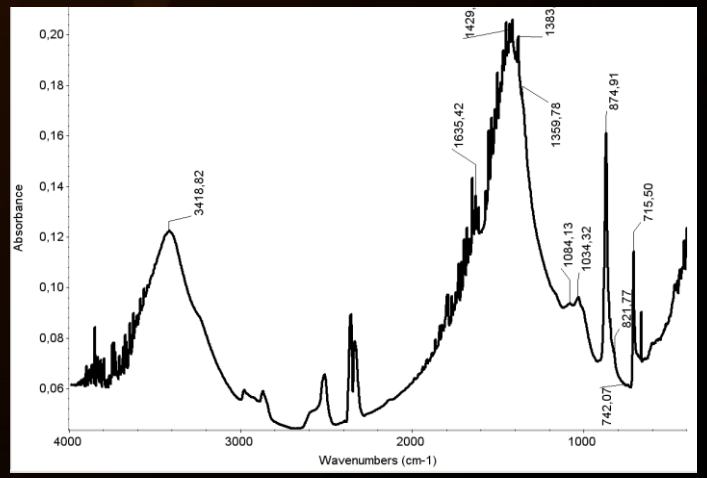
Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## PATINE



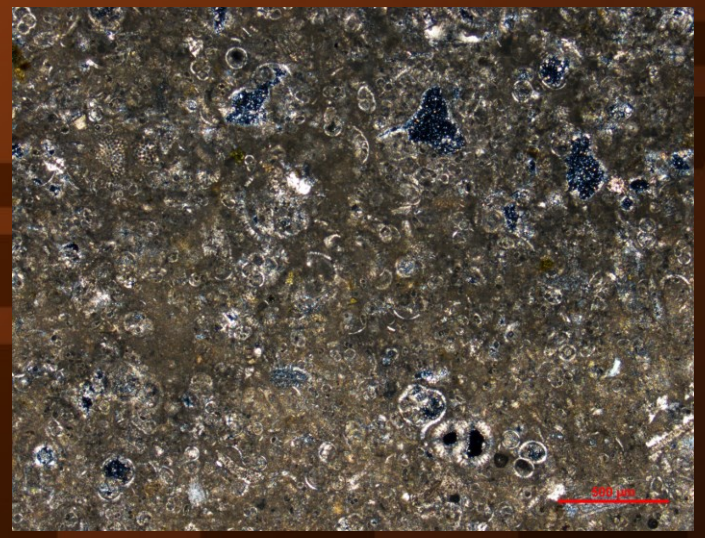


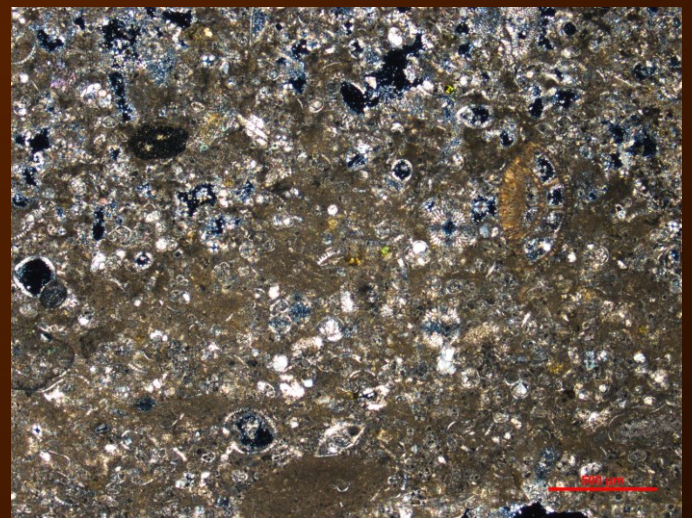
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

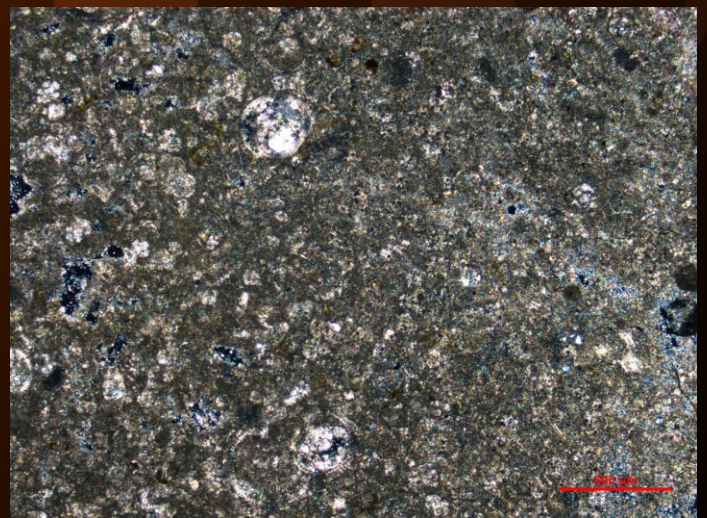
Consiglio Nazionale delle Ricerche

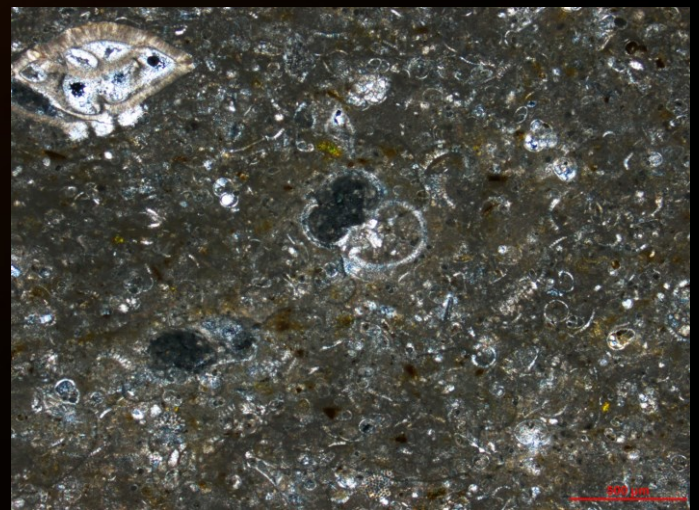
# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## OSSERVAZIONE SEZIONE SOTTILE







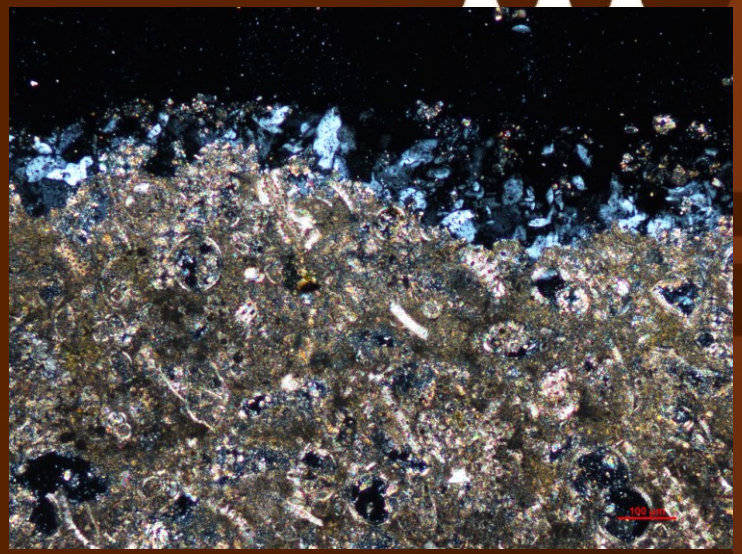


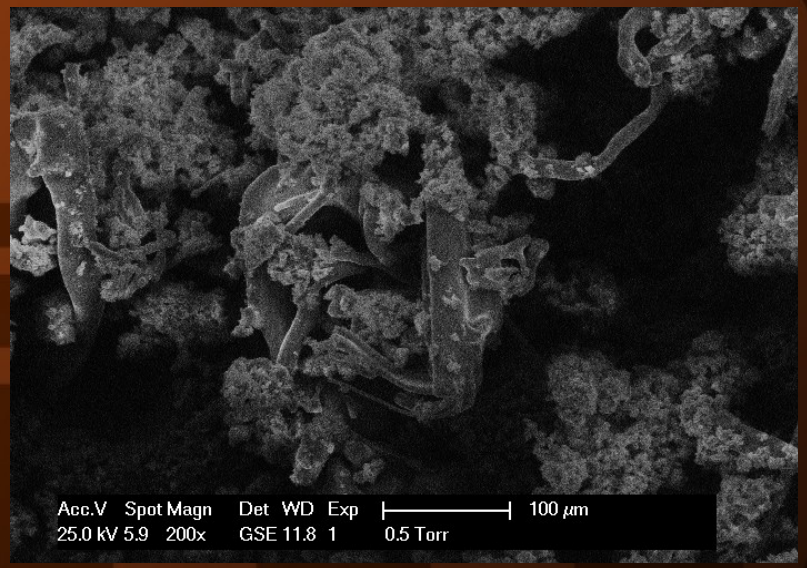
ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

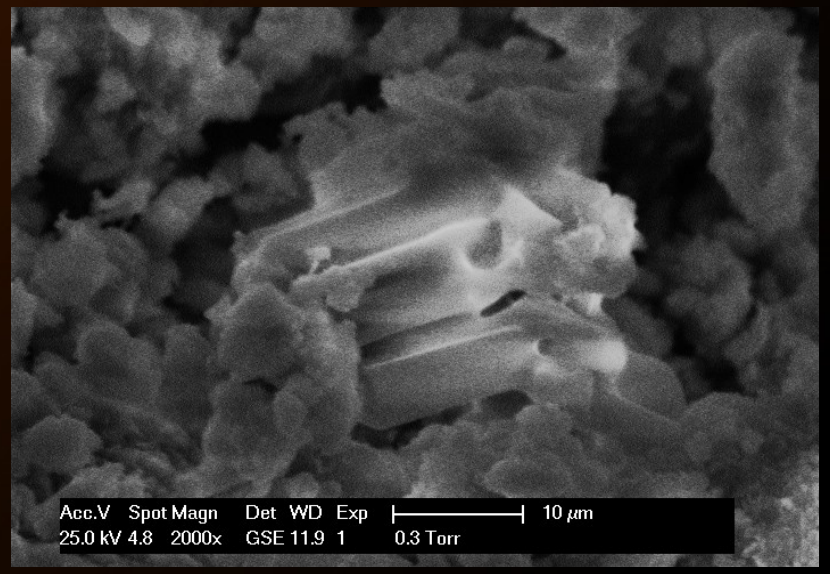
# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

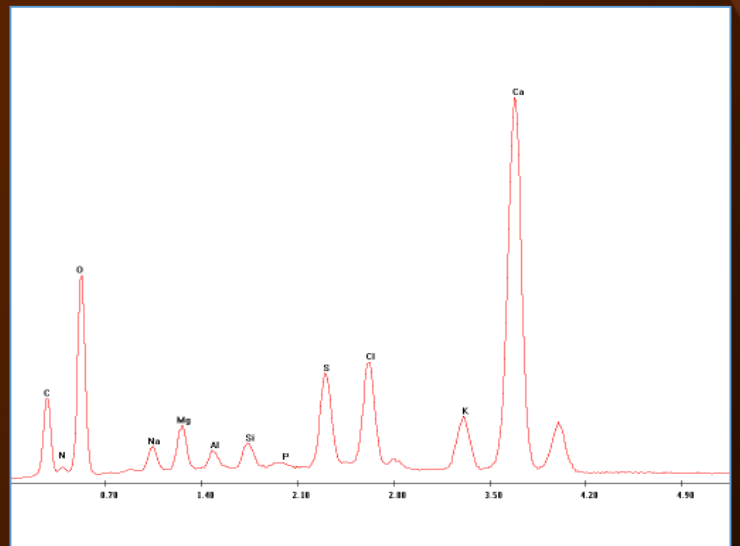
## OSSERVAZIONI AL ESEM E MICROANALISI EDS

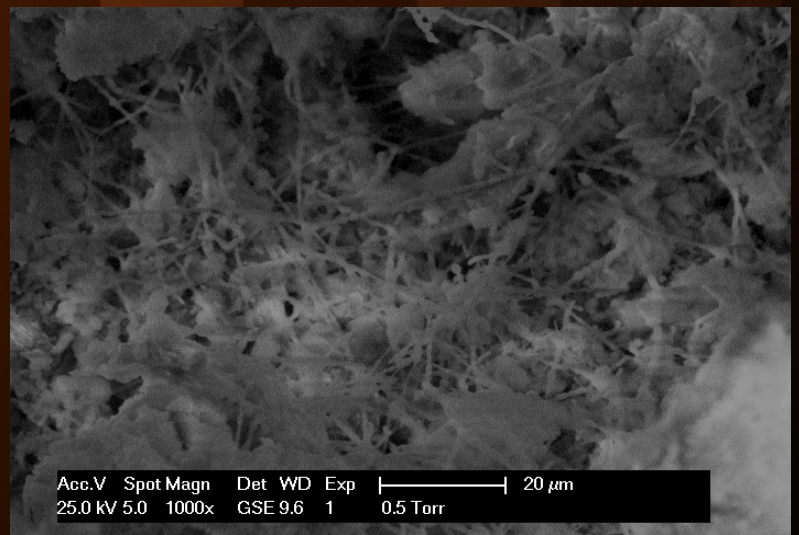
Consiglio Nazionale delle Ricerche

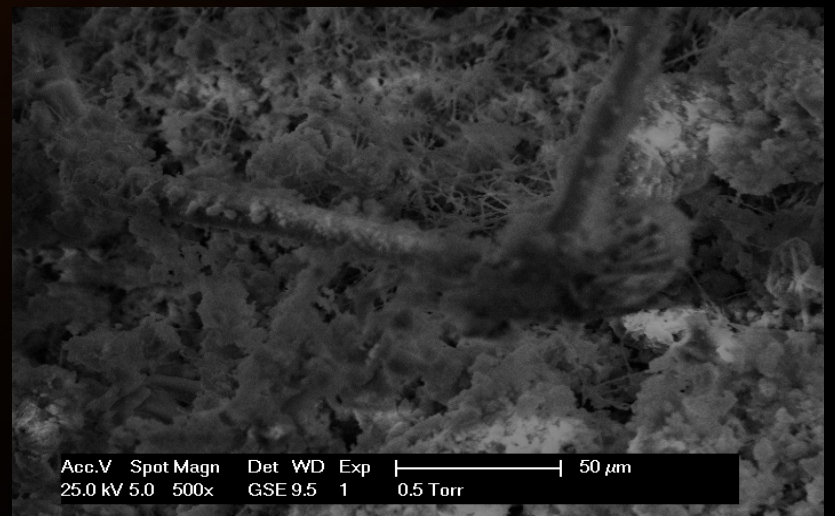




ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mausoleo dei Duchi di Acquaviva
# Chiesa s. Antonio Nardò

## OSSERVAZIONI AL ESEM E MICROANALISI EDS

I risultati ottenuti hanno confermato che la principale causa di degrado è dovuta ll'azione dei sali presenti con una certa continuità su tutta la superficie del mausoleo.
L'umidità di risalita sembra essere stata bloccata da sistema di deumidificazione atttivo già da tre anni, come confermato dalle misure di umidità realizzate su di esse, che non giustificano però l'elevato contenuto di umidità presente sulla superficie del mausoleo.
Questa è verosimilmente ascrivibile alla presenza di sali igroscopici (nitrati, cloruri ecc.)
Singolare è la non corrispondenza tra il colore delle superfici di alcune parti del mausoleo, debolmente o marcatamente rossastre con le analisi microscopiche.
Un approfondimento analitico sui i campioni superficiali mediante GCMS ha permesso di identificare tracce di polimeri di sintesi, appartenenti alle classi dei metacrilati e dei polidimetilsilossani (risultati, peraltro, in concordanza con quanto ritrovato con le analisi FTIR).

ibam
ISTITUTO PER I BENI ARCHEOLOGICI E MONUMENTALI

# LA CRIPTA DELLO SPIRITO SANTO - MONOPOLI

Consiglio Nazionale delle Ricerche

**The Crypt is a remarkable example of hypogeal church, sculptured in the rock with crossed vaults, arches, apses and divided into naves by two lines of columns. It is dated between the XII and the XIII century, and underwent several architectural changes during the centuries. A diagnostic NDT campaign was performed in order to obtain information about the structural conditions of the Crypt and more in general on its conservation state as well as on the main causes of its degradation**

**In addition, in order to obtain more information about the probable existence of features of archaeological interest (such as tombs) inside the Crypt the survey was extended on the floor of the monument. These surveys were integrated in a comprehensive project for the restoration and the valorisation of the Crypt.**

Giovanni Quarta - A MULTIDISCIPLINARY NDT WORK RELATED TO THE RESTORATION PROJECT OF THE CRYPT OF THE HOLY SPIRIT IN MONOPOLI (SOUTHERN ITALY)

**In the first step of the diagnostic plane the following issues were taken into account:**

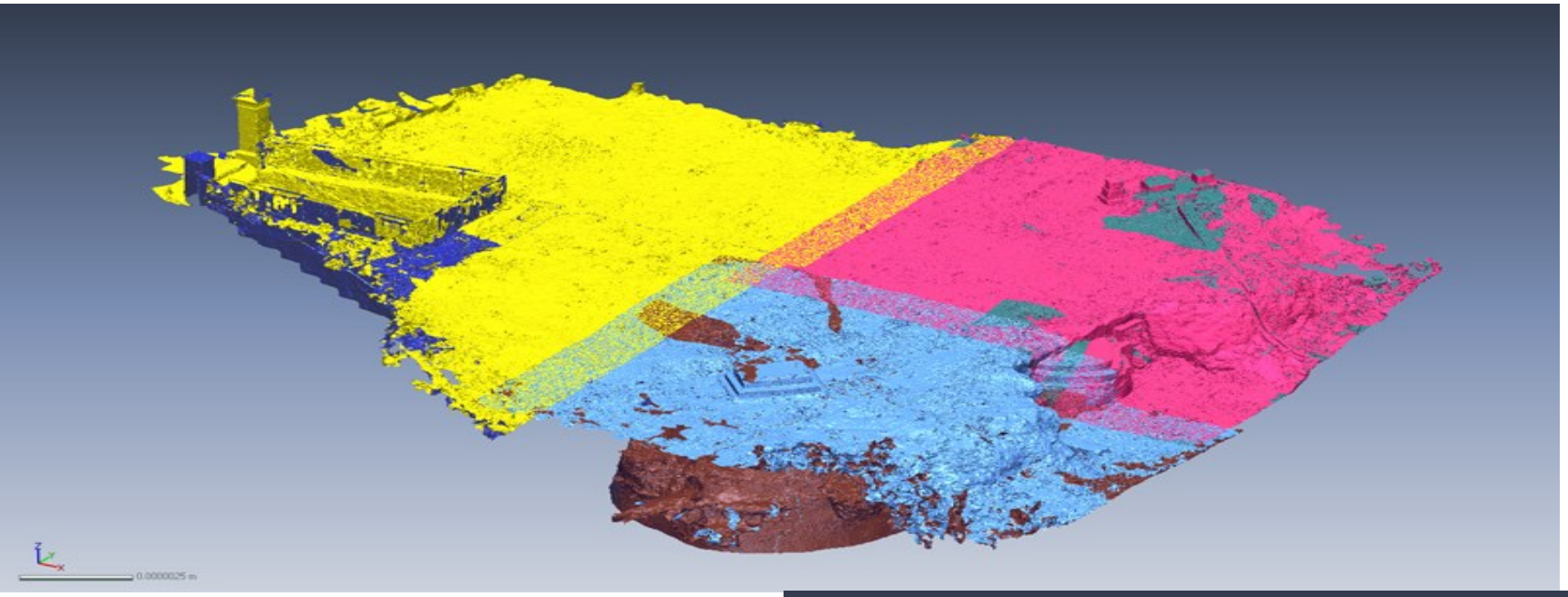
**To perform a good relief of the crypt because the existing one is not adquate;**

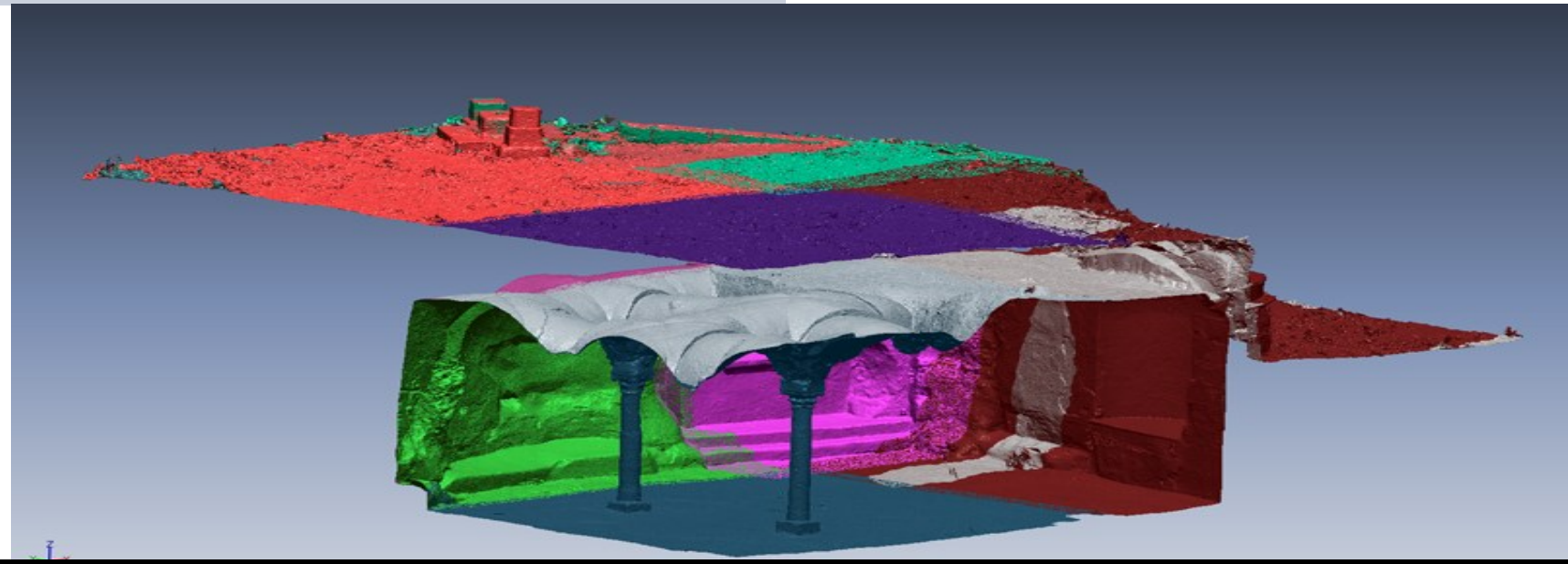
**To give answers about stability problems (vault, walls, columns, pillars);**

**To gather information about the environmental climatic conditions inside the crypt and on the painted surfaces**

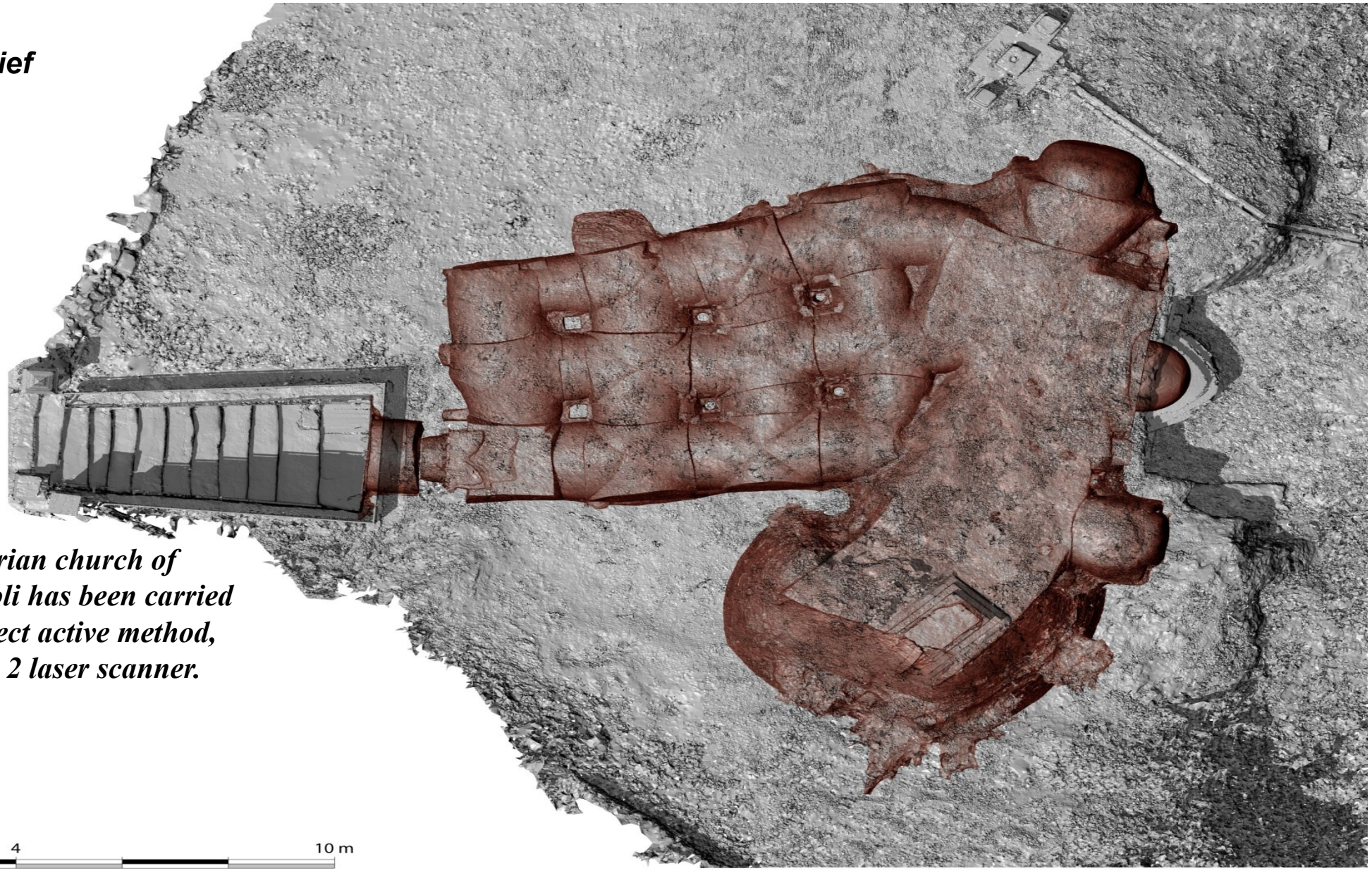
**To identify the presence of detachments affecting the painted plasters**

**To investigate under the floor of the crypt in order look for archaeological evidences**





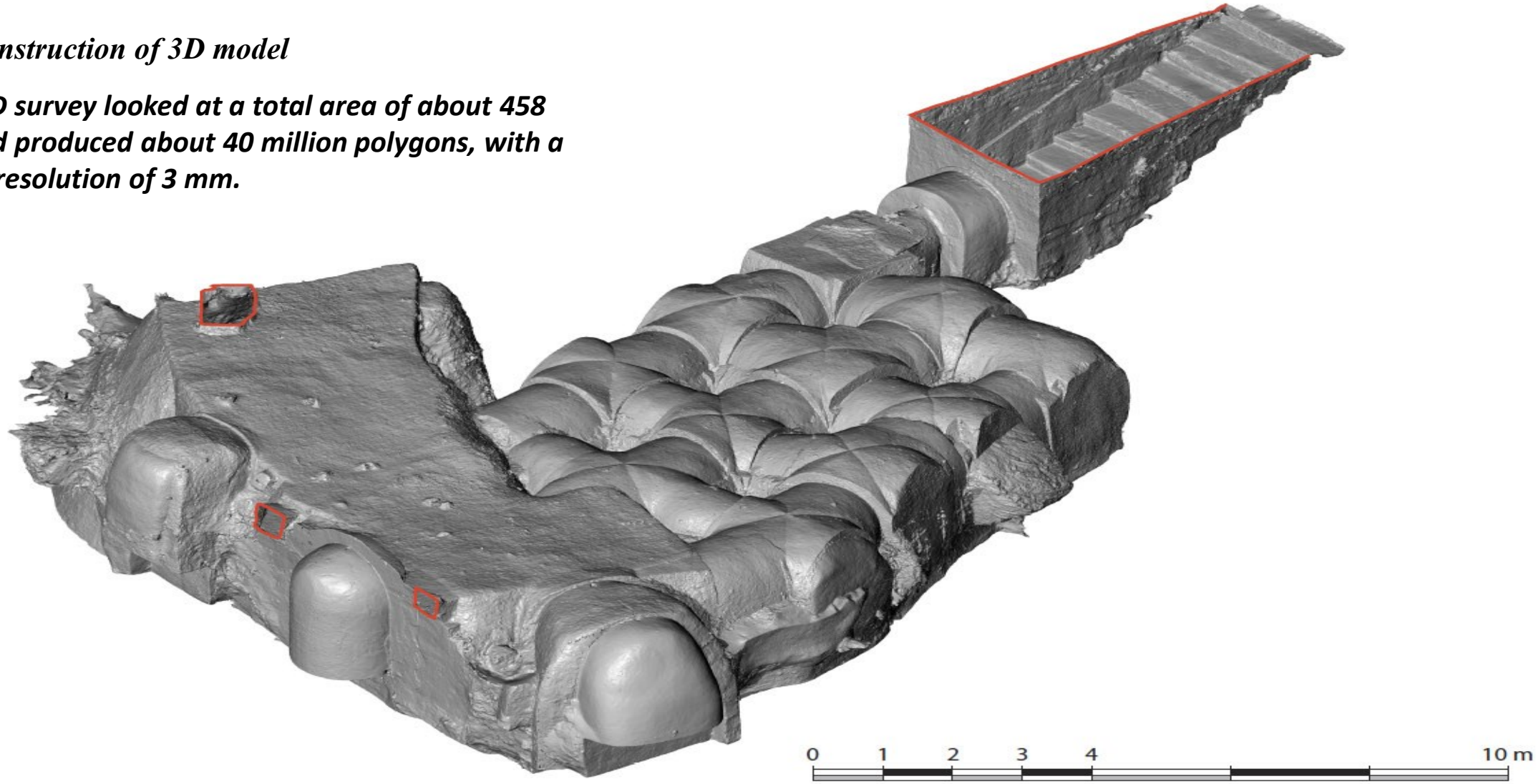
## *The laser scanner relief*



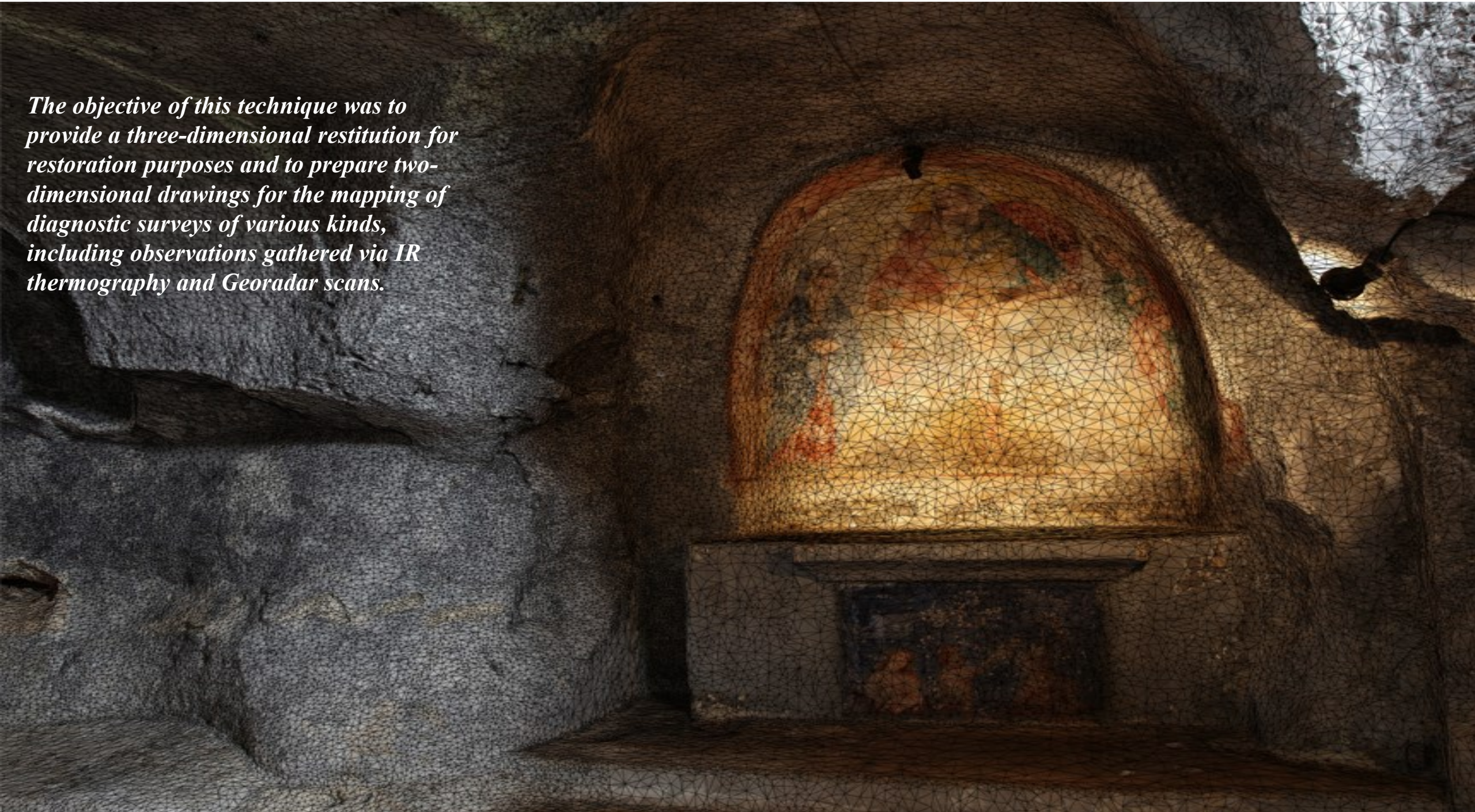

***The survey of the rupestrian church of Spirito Santo in Monopoli has been carried out by mean of the indirect active method, using Leica ScanStation 2 laser scanner.***

## *Reconstruction of 3D model*

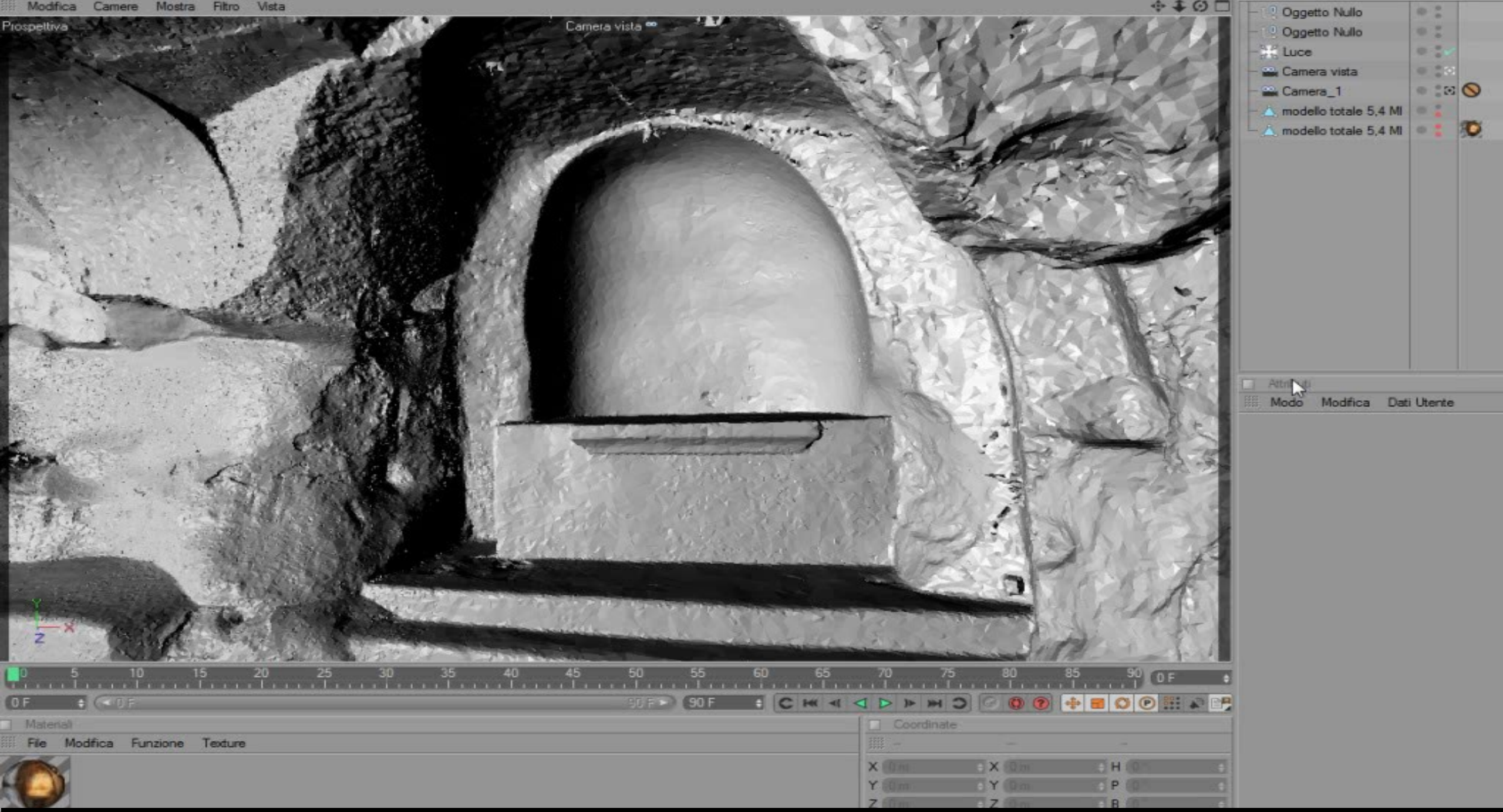
***The 3D survey looked at a total area of about 458 m² and produced about 40 million polygons, with a mesh resolution of 3 mm.***




Assonometria delle superfici interne



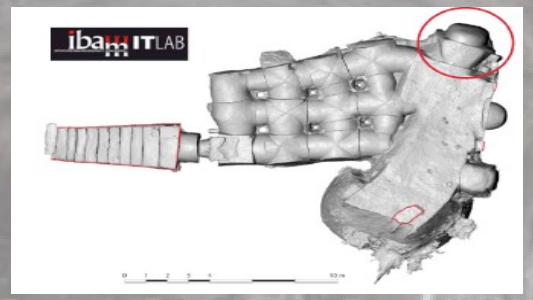
***The objective of this technique was to provide a three-dimensional restitution for restoration purposes and to prepare two-dimensional drawings for the mapping of diagnostic surveys of various kinds, including observations gathered via IR thermography and Georadar scans.***

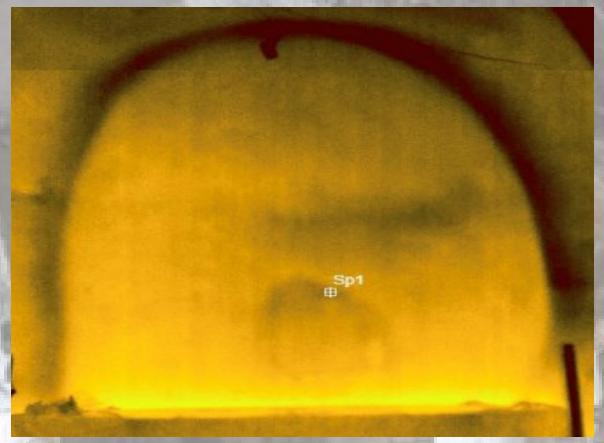


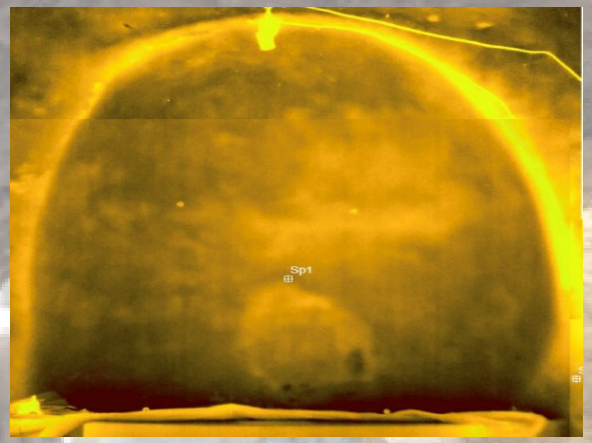

*Giovanni Quarta - A MULTIDISCIPLINARY NDT WORK RELATED TO THE RESTORATION PROJECT OF THE CRYPT OF THE HOLY SPIRIT IN MONOPOLI (SOUTHERN ITALY)*

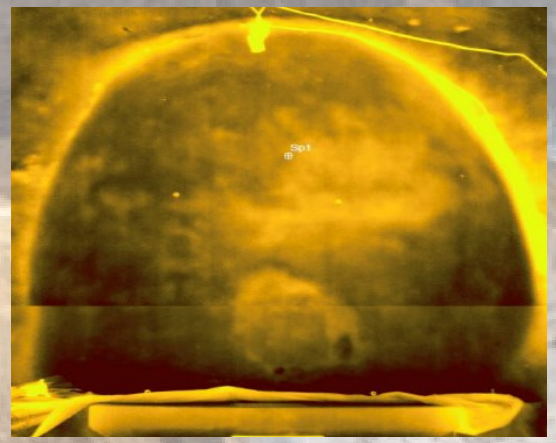
## Information about the environmental climatic condition within the crypt and the painted surfaces

### HIGH RESOLUTION THERMOGRAPHY

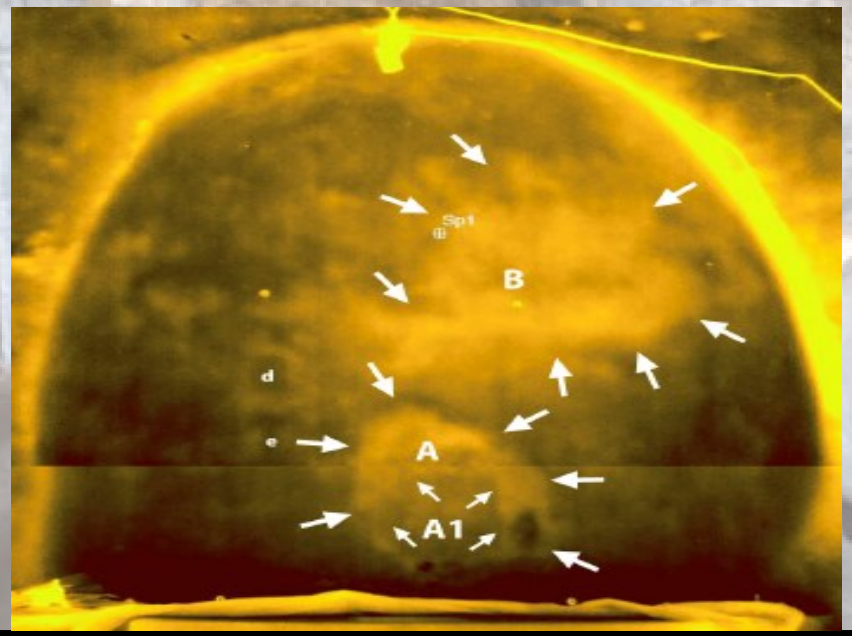



**Multi-temporal analysis on a frescoed niche. Sequence acquisition. Photomosaic false color image (t = 0/50/100) with highlighted anomalies (FLIR SC660 thermal detectors)**



## GEOPHISYCAL PROSPECTING

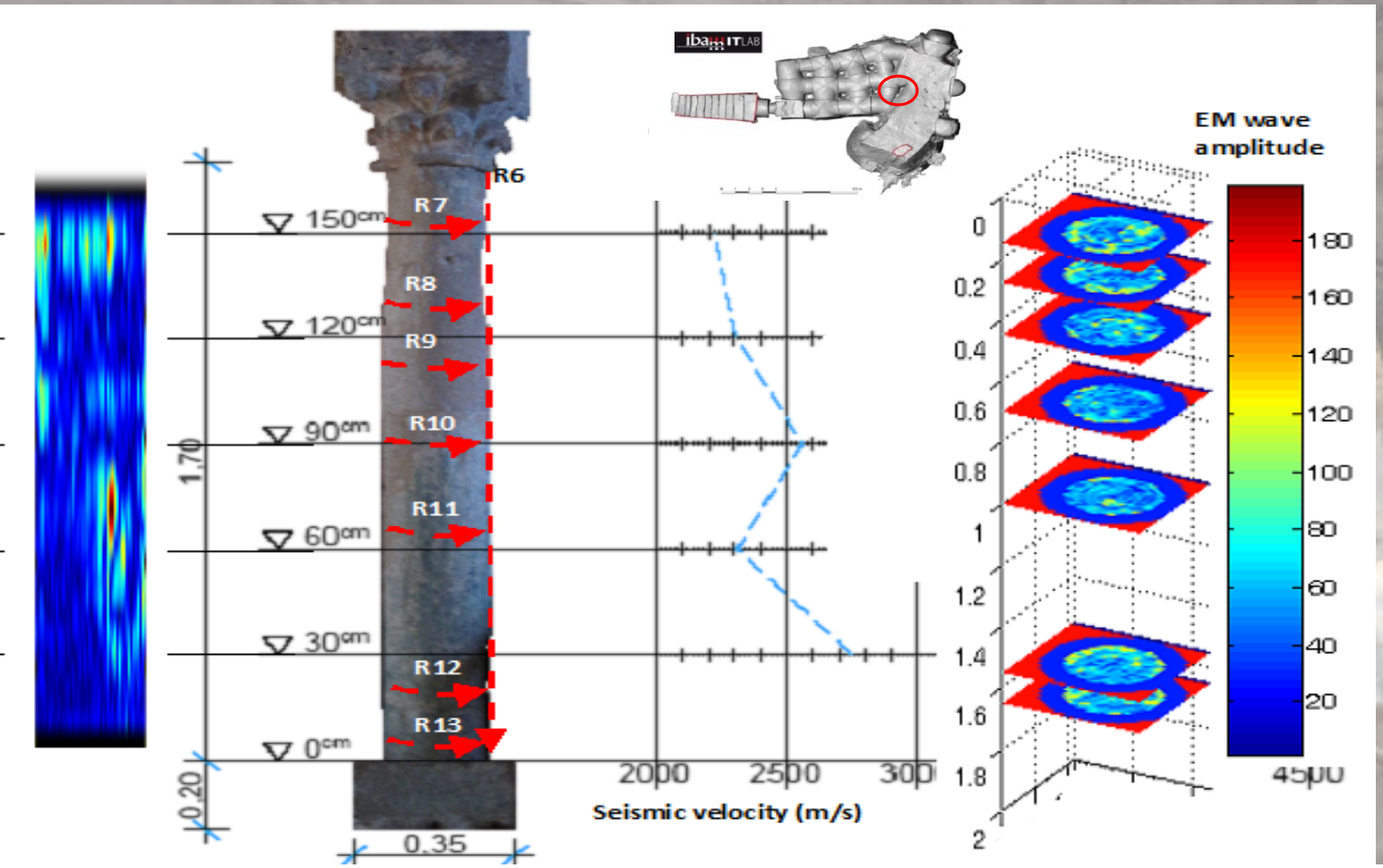
**In order to investigate the structure of the columns/pillars, and in particular the possible presence of internal fractures, a GPR (Hi Mod IDS industry), equipped with a high frequency antenna (2000 MHz) survey was carried out and successively integrated with acoustical wave results. In addition, some ultrasonic tests have been performed with a 2-channels, 24 bit MAE digital instrument (model A5000U) equipped with 55 KHz PUNDIT contact probes.**

**For GPR, the following acquisition parameters were selected:**

- **data word length: 16 bit;**
- **samples per scan: 1024;**
- **recording time window: 12 ns.**

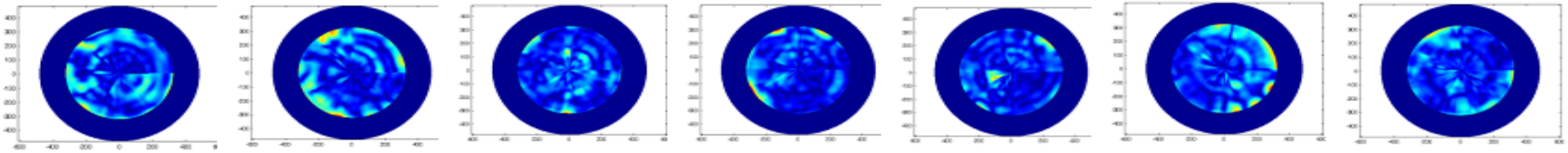
**The radar data were processed using the software Reflex as follow:**

- **gain function removal**
- **amplitude compensation;**
- **background removal filter;**
- **Kirchhoff migration;**
- **envelopes.**




## The geophysical survey on the columns

This slide shows the whole processed data set gathered on the a column. The figure shows the ultrasonic velocity profile (that is the dashed graph) and both a linear GPR scan gathered on one side of the column and seven circular scans gathered around it (at seven different heights). It is possible to note a good matching between the zones with low ultrasonic velocity values and those with electromagnetic anomalies. This enforces the hypothesis that these anomalies are to be ascribed to internal strong alterations or presence of fractures.

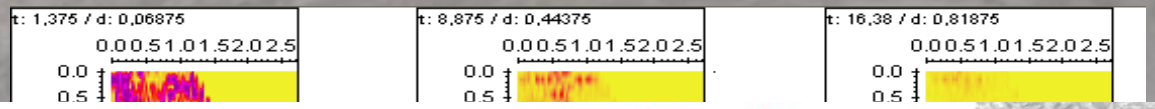


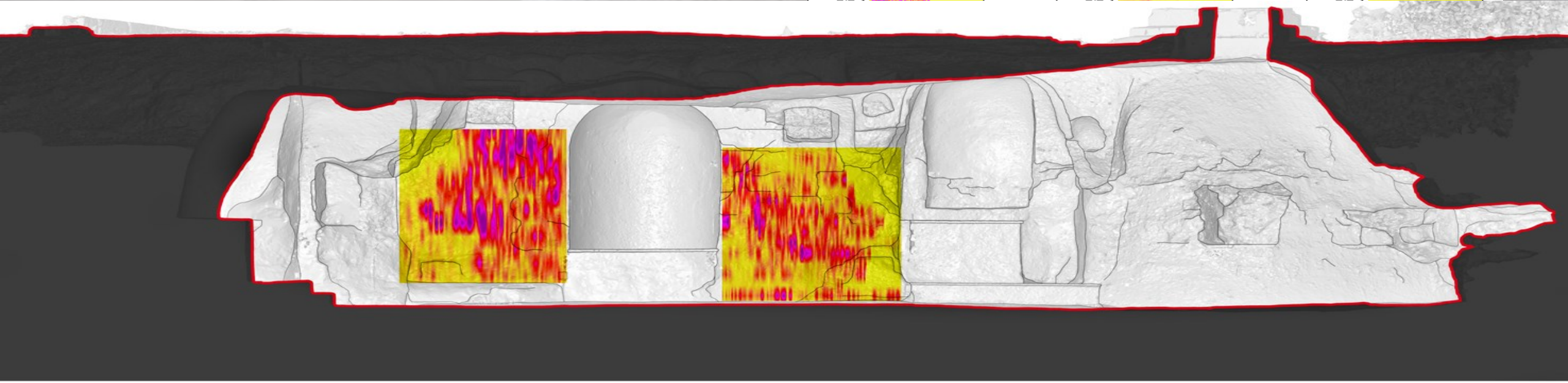
R 7 R8 R9 R10 R11 R12 R13

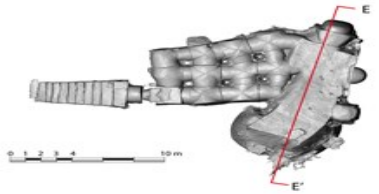
## The geophysical survey on the external apsidal wall

**This wall shows some fractures and also a strong presence of humidity visible on it, as well as an evident swelling. This was alleged to compromise the stability of the Crypt. The GPR prospecting has been performed with the same GPR system, equipped with an antenna at 900 MHz to assure a deeper penetration with respect to the 2 GHz antennas exploited on the columns**

## The geophysical survey on the external apsidal wall



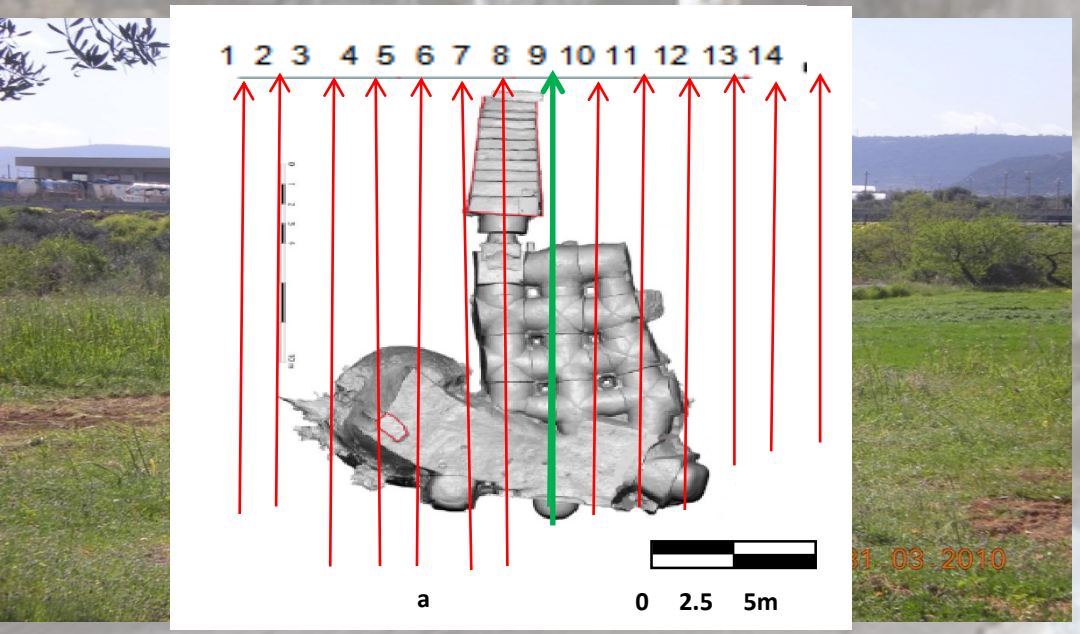


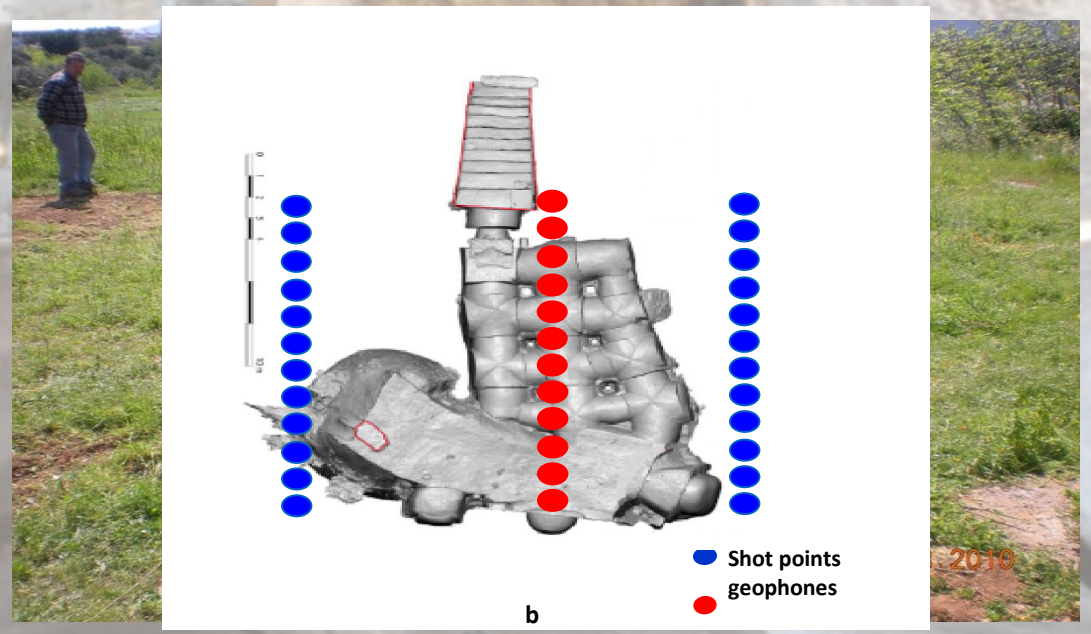
**Section of apsidal wall reporting a GPR slice at 15 cm from the surface**

**Analysing the acquired profiles, we can appreciate a layered structure from the surface to about 1m in depth. It is possible to see a first layer (red line) related to the plaster (4-5cm); a second layer (dark line) related to the stone ashlars (35cm) and the third layer (yellow line) related to the soil filling (at about 1 meter). To this regard, it is to put in evidence that in correspondence of this wall, there was the ancient entrance of the crypt, placed on the opposite site with respect to the current one. The ancient entrance was successively walled and on its external side the wall is partially covered with soil.**

## The geophysical survey on the ceiling

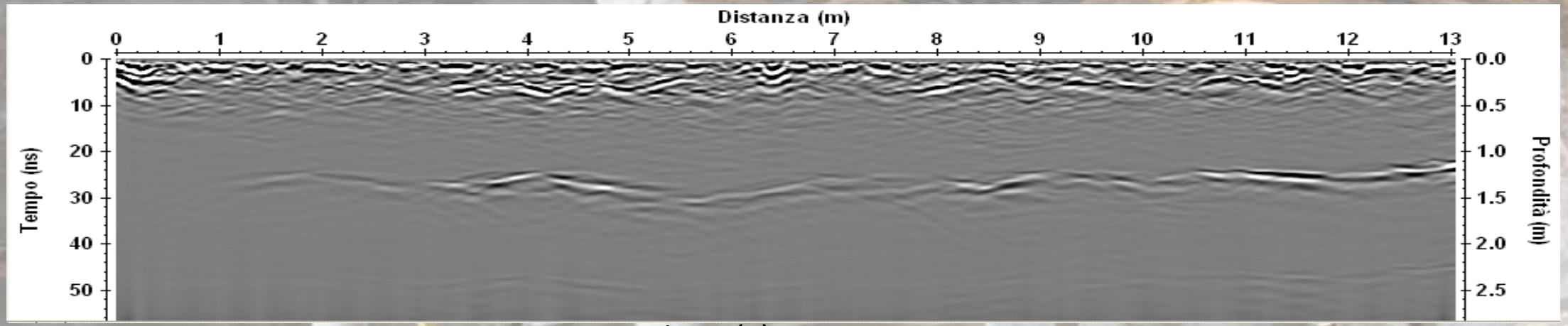
**The purpose of this prospecting was to investigate about possible fractures in the ceiling of the Crypt. Integrated GPR and seismic prospection were carried out above the vault of the crypt.**
**The GPR data have been acquired both 200 and 600 MHz antennas.**
**Seismic data have been acquired using a Geode Ultra-Light Exploration Seismograph with 12 geophones (14 Hz) at 1.3-m intervals. Twelve shot points have been exploited at 1.3 m intervals using a 5 kg hammer.**

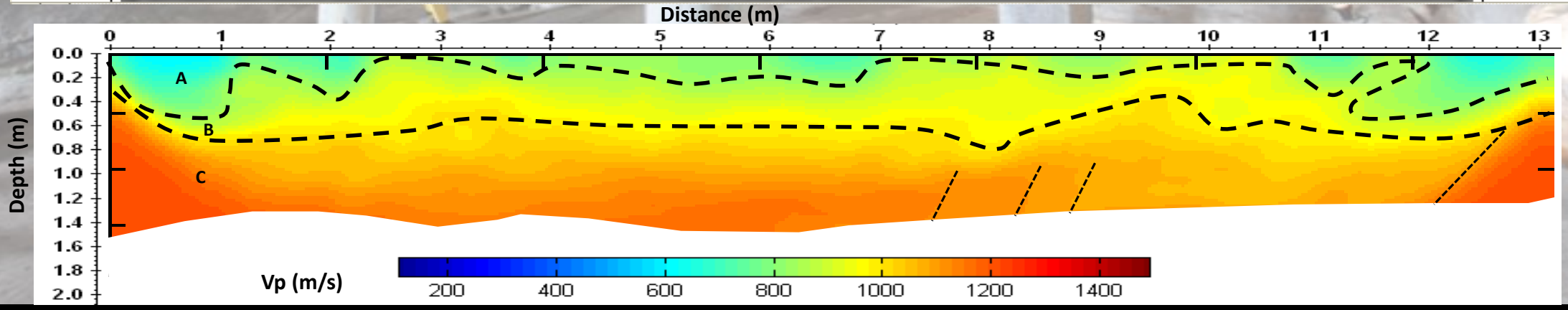


## The geophysical survey on the ceiling:results

**No particular processing has been performed on the gathered data. They do not show any particular anomaly beyond a first layer, that of course corresponds to the grass and the alteration of the superficial terrain. So the rock seems quite homogeneous. The results of seismic are in good agreement with those of GPR and don't show any particular anomaly in bedrock, that again appears quite homogeneous**

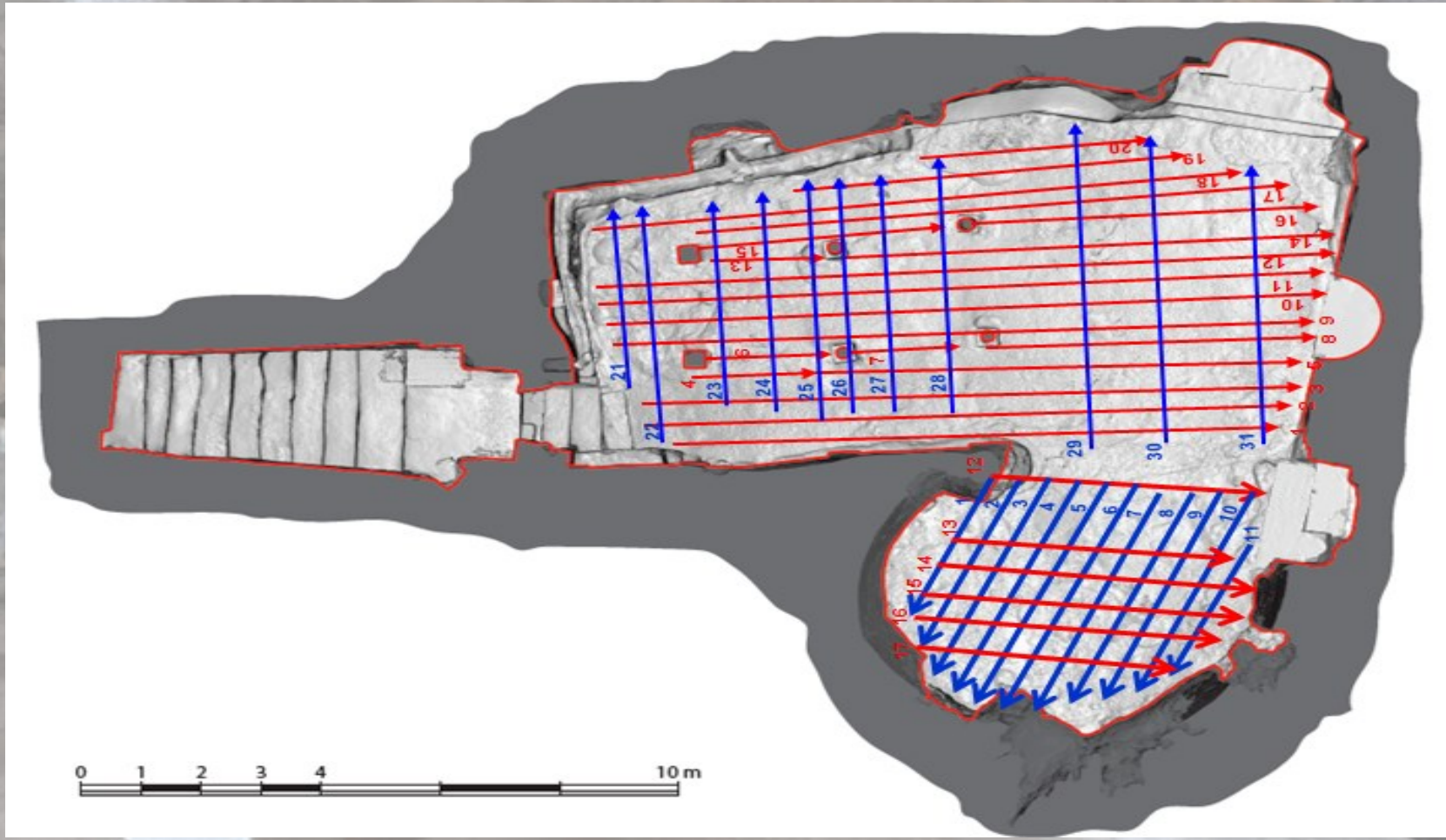


The GPR survey on the floor was carried out with a RIS MF Hi-Mod manufactured by IDS. The system was equipped with a double couple of antennas, with nominal central frequency 200 and 600 MHz, respectively. The recording time windows were 80 ns for 600 MHz antenna and 120 ns for 200 MHz antenna. The wheeled GPR system was employed in continuous acquisition mode, and the resulting spatial step of the data was 1.6 cm. The distance between the measurement lines was 40 cm. The survey was performed using the following acquisition parameters:

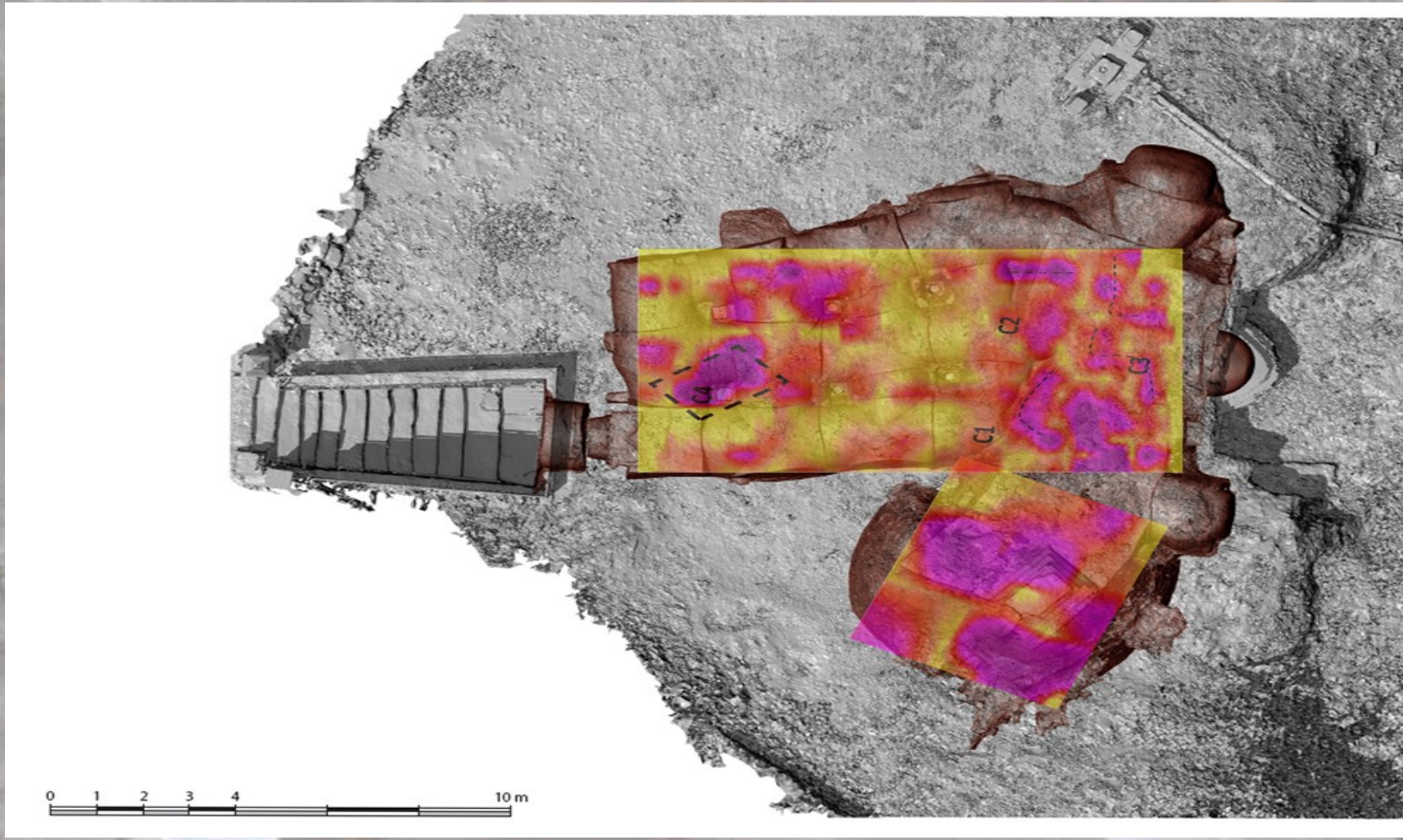
- data word length: 16 bit;
- samples per scan: 512;
- gain function: manual;

## The GPR survey on the floor



## The GPR survey on the floor: results

From the time-depth slices, corresponding to the depth of 1.43 m, several meaningful anomalies can be observed, (labelled $C_1$-$C_4$) possibly ascribable to archaeological targets. In particular, the most important anomaly seems to be C4, close to the entrance. Also other anomalies are seen, but they don't have a recognizable shape that could be referred to possible archaeological features.



## CONCLUDING….

✓The laser scanner relief has allowed to obtain the whole 3D high resolution model of the crypt that, compared with the exiting geometric one, shows difference equal or major to one meter. This cartographic support is the base to overlap all diagnostic data coming from other performed surveys.

✓The IR thermography scans has permitted to identify the hidro-thermal condition of the painted walls and to put in evidence zones affected by rising damp as well as by detachment phenomena of the plaster. This investigation has been integrated by in situ measurements of temperature and humidity performed in air and on the wall surface).

✓The multi-sensor approach has enforced the reliability of the diagnosis, and has also partially counteracted the effects of the approximations involved in each method.

✓E.g., the fact that the ultrasonic data show a lower sound propagation velocity in correspondence of anomalies revealed by the GPR technique on the columns, makes us confident that these anomalies are probably due to some deterioration of the stone structure of the column.

## CONCLUDING….

✓The GPR investigation performed on the current apsidal wall - in antiquity it was the entrance- has revealed a high amplitude anomalies, probably due to the deterioration of the wall and the cracking of the stone ashlars. Such a bad state of conservation could have been caused (or at least made worsened) by the pressure of the soil behind the wall and by the seepage of water. This hypothesis is supported by the 3D model acquired that has put in evidence a swelling of the same wall.

✓From archaeological point of view, the data suggest that below the Crypt some anomalies are present, at least partially ascribable to objects of archaeological interest.