

- contatti geologici e piani di stratificazione,
- livelli di asfalto e relativi spessori; diversi strati di un rivestimento,
- piani di fratturazione,
- vuoti naturali (cavità carsiche o artificiali (condotte, gallerie etc:)),
- reperti archeologici,
- terreni di riporto (discariche, servizi interrati etc.),
- bidoni metallici e contenitori di materiali vari, mine o oggetti metallici in genere,
- tubazioni sotterranee di plastica, metallo o cemento,
- tondini di ferro in cemento armato,
- strutture archeologiche.

Una forte limitazione all'uso del georadar è dovuta alla presenza di formazioni geologiche o materiali con alta costante dielettrica e attenuazione (conducibilità elettrica elevata), le quali tendono ad assorbire, anche totalmente, gli impulsi elettromagnetici. In corrispondenza quindi, di falde acquifere superficiali o terreni ad alto contenuto di argilla, o murature molto umide, l'uso di questa tecnologia non permette di ottenere risultati adeguati oppure ne permette la loro individuazione proprio per il contrasto esistente con zone diverse da queste ultime, ma ad esse adiacenti o sottostanti.

Nel progetto in oggetto, l'indagine Georadar è stata realizzata su 3 tipologie di strutture: a terra, su pilastri e sulle volte.

Avendo scopi e profondità da raggiungere distinte, per ogni parte strutturale sono state usate antenne a frequenza diversa. Per i pilastri è stata usata l'antenna a doppia frequenza 300-800MHz, per le volte l'antenna da 1GHz e per il piano di calpestio 400MHz. Si tratta di antenne di produzione americana, casa costruttrice G.S.S.I. Gli strumenti di acquisizione dei dati sono stati due vista la contemporaneità di alcune fasi di indagine, SIR 3000 e SIR 4000, sempre G.S.S.I -USA.

Per l'analisi dei pilastri (Codice prova G2 e G4), sono state usate 2 delle antenne citate: sia l'antenna con mono frequenza 400 MHz che l'antenna multifrequenza 300-800 MHz.



Figura 3.1.1 – Strumentazione utilizzata per le indagini radar sui pilastri: antenna multifrequenza 300-800 MHz collegata allo strumento di acquisizione SIR 4000

Tutti i dati acquisiti sono stati elaborati e organizzati nell'Elaborato grafico 3A_Codice prova G_Indagine Georadar .

I dati sono stati acquisiti in data 20 Settembre 2022. L'elaborato grafico con sezioni e interpretazioni è composto da 5 tavole in formato A2.

3.2 Indagine Sonica su murature (Sn)

Al fine di approfondire la valutazione sulla omogeneità delle murature presenti nel complesso delle Terme di Diocleziano è stata effettuata una campagna di indagini soniche mirate a determinare il tempo di volo che gli impulsi sonici impiegano per attraversare un dato spazio di muratura, calcolando di conseguenza la velocità di trasmissione dell'impulso.

La procedura di acquisizioni è svolta in accordo con la raccomandazione tecnica RILEM Recommendation TC 127-MS, MS D.1 Measurement of mechanical pulse velocity for masonry, 2001 e le Norme Tecniche UNI EN 12504-4, ASTM D2845-08 , ASTM C597-02.

Le prove soniche fanno parte delle tecniche non distruttive più adottate e conosciute per la valutazione della omogeneità delle strutture in muratura.

La tecnica sonica fa parte delle prove di tipo acustico che sfrutta la propagazione nel materiale di segnali con frequenze limitate per ottenere maggiori lunghezze d'onda per avere la possibilità di raggiungere maggiori profondità di penetrazione nel materiale.

Utilizzando segnali generati da un breve impatto sulla superficie, generato da un martello strumentato, questa tecnica è adeguata per la valutazione della omogeneità del materiale e quindi la presenza di possibili discontinuità interne.

Il parametro misurato è il tempo che serve all'impulso emesso per coprire la distanza tra l'emettitore e il ricevitore: esso è proporzionale, nel caso di un mezzo omogeneo ed isotropo, al modulo elastico dinamico, al coefficiente di Poisson e alla densità del mezzo. Ma nel caso di strutture in muratura, proprio per l'intrinseca eterogeneità e anisotropia che caratterizza le tipologie esistenti, la velocità delle onde soniche non può essere direttamente correlata alle proprietà del materiale (resistenza e rigidità).

Coerentemente al piano delle indagini sono stati analizzati due pilastri i cui codici di prova in planimetria sono Sn2 ed Sn4 (Fig.3.2.1). Sugli stessi pilastri sono state acquisite anche le misure radar e di tomografia elettrica 3D.

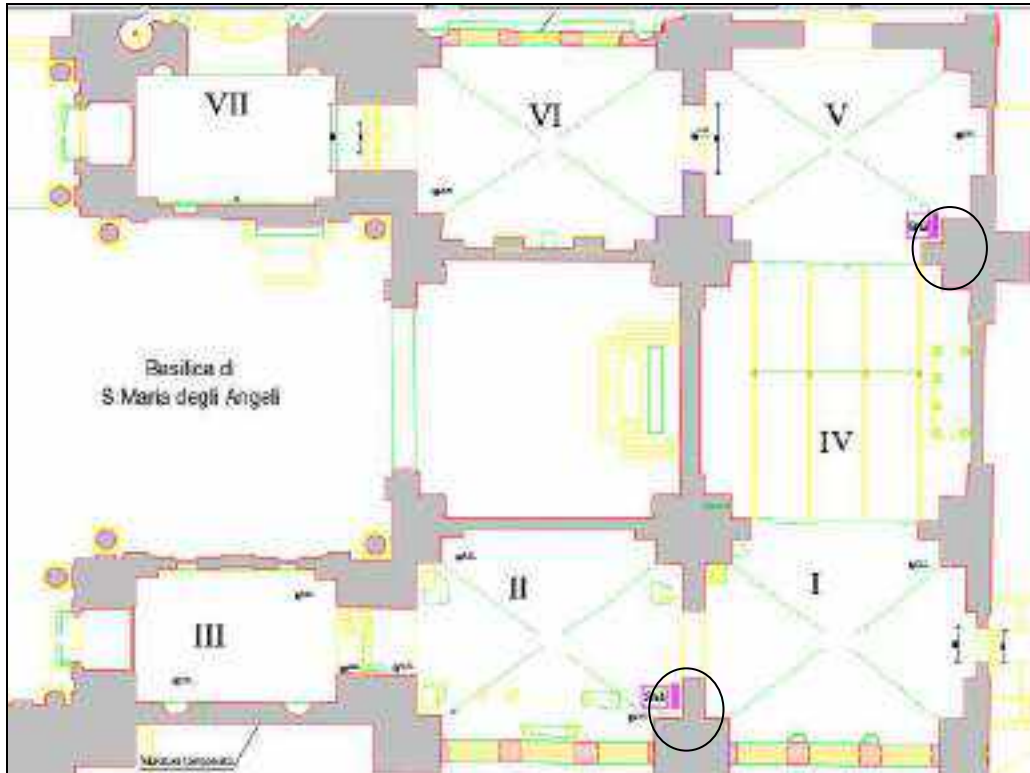


Fig. 3.2.1- Ubicazione delle indagini soniche Sn2 ed Sn4.

Le misure soniche sono state eseguite utilizzando lo strumento ALL IN ONE (Distributore Boviari Srl e Produttore Solgeo S.r.l., Italia). Questa strumentazione è in grado di eseguire 3 diverse tipologie di prove quali misure soniche e ultrasoniche, controlli di pali e diaframmi e Pile Integrity Test. Il sistema All in One è un'apparecchiatura robusta e affidabile con vari sensori e sonde piezoelettriche dedicate, integra un convertitore A/D multicanale a elevata dinamica con frequenze di campionamento da 50 KHz a 12,5 MHz.

I segnali acquisiti vengono visualizzati, elaborati e memorizzati direttamente da tablet o PC tramite specifico software e attraverso una connessione WiFi. I sensori sonici e ultrasonici utilizzati sono da 55kHz ed è corredato da martello sonico strumentato.

Per le prove Soniche e Ultrasoniche la strumentazione è conforme alle normative : UNI EN 12504-4, ASTM D2845-08 , ASTM C597-02.



Fig. 3.2.2. Strumentazione per indagine sonora, modello All-In One.

Secondo la Norma UNI EN 12504-4:aggiornata 2021, riferita in particolare alle misure ultrasoniche nei calcestruzzi, è possibile effettuare misurazioni della velocità di propagazione degli impulsi posizionando i due trasduttori su facce opposte (trasmissione diretta), o su facce adiacenti (trasmissione semidiretta), oppure sulla stessa faccia (trasmissione indiretta o superficiale) di una struttura.

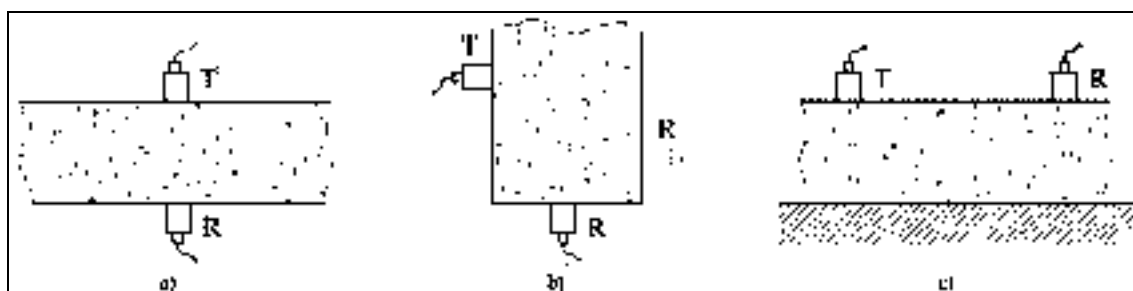


Fig. 3.2.3 a) indagine diretta; b) indagine semidiretta; c) indagine indiretta o superficiale. Tratto dalla UNI EN 12504-4

Nell'indagine in oggetto sono state utilizzate le 3 configurazioni: diretta ed indiretta per il punto di indagine Sn4, semidiretta ed indiretta per il punto Sn2. Ovviamente non usando due sonde (T - trasmissione e R - ricezione) ma usando il martello sonico strumentato per la trasmissione-T nella muratura e la sonda R di ricezione.

Le prove soniche sono state acquisite in data 05 e 06 Settembre 2022 dallo Sperimentatore di Livello II dott. Nicola Ardito con la collaborazione dello Sperimentatore Andrea Natalini e la presenza dello Sperimentatore di Livello III arch. Annalisa Morelli, sotto il coordinamento del Direttore di Laboratorio ing. Paolo Chiara.

3.2.1 Indagine sonica Sn2.

La zona di indagine Sn2 è uno spigolo di un pilastro nel quale l'acquisizione in modalità diretta non è stata possibile in quanto gli spessori superano i limiti fisici della strumentazione. Si è optato quindi di rilevare i tempi della propagazione dell'impulso sonico all'interno del pilastro attraverso un'indagine **semidiretta**, completando l'acquisizione con il rilievo di tipo **indiretto** di entrambe le facce (A e B) oggetto di indagine.



Fig. 3.2.1.1 a) Faccia A Sn2 b) Faccia B Sn2.

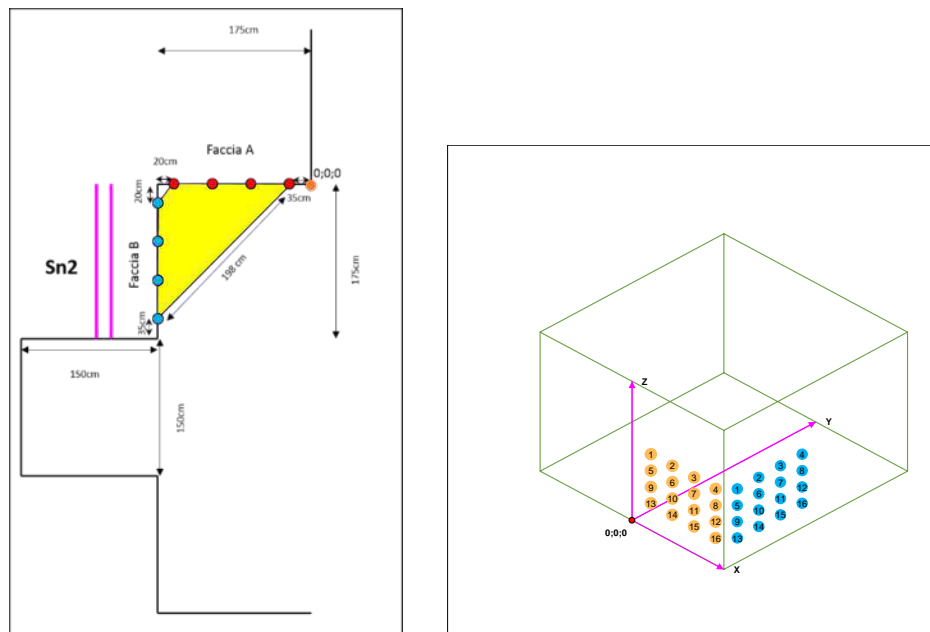


Fig. 3.2.1.2 Configurazione dell'indagine semidiretta eseguita sul pilastro Sn2, trasmettitori in pallino rosso, ricevitori in pallino blu.

Le posizioni dei trasmettitori e dei ricevitori sono state scelte per formare una geometria a maglia regolare 4x4 con i nodi interspaziati di 40 cm in entrambe le direzioni orizzontale e verticale.

3.2.1.1 Acquisizione semidiretta Sn2

La procedura per l'acquisizione semidiretta prevede che la sonda ricevente (R) rimanga (ad esempio) in posizione 1 e si acquisiscano i tempi dei 16 percorsi energizzando la muratura nelle 16 posizioni trasmettenti (T) con il martello strumentato. In seguito si sposta la sonda R nelle restanti 15 posizioni di ricezione ripetendo per ognuna di esse l'operazione descritta.

Per questo tipo di acquisizione semidiretta sono stati acquisiti 256 file (16 T per 16 R, vedi il Rapporto di prova 48 e Elaborato grafico 3B- codice prova Sn) al fine di poter elaborare, in fase post acquisizione, attraverso il software ATom (Adding Srl – SolGeo Srl), i piani con velocità interpolate.

3.2.1.2 Acquisizione indiretta Sn2

La procedura per l'acquisizione indiretta prevede che sia R che T siano sullo stesso piano, di conseguenza sono state eseguite due acquisizioni per creare due immagini interpolate, una per Faccia A e una per Faccia B.

In particolare sono stati acquisiti alcuni transetti, mantenendo R in posizione e spostando T nelle 3 posizioni orizzontali (per l'acquisizione orizzontale) e verticali (per l'acquisizione verticale). Sono stati rilevati quindi 24 tempi di volo per ciascuna faccia (vedi rapporti di prova 44 e 45 e Elaborato grafico 3B- codice prova Sn).

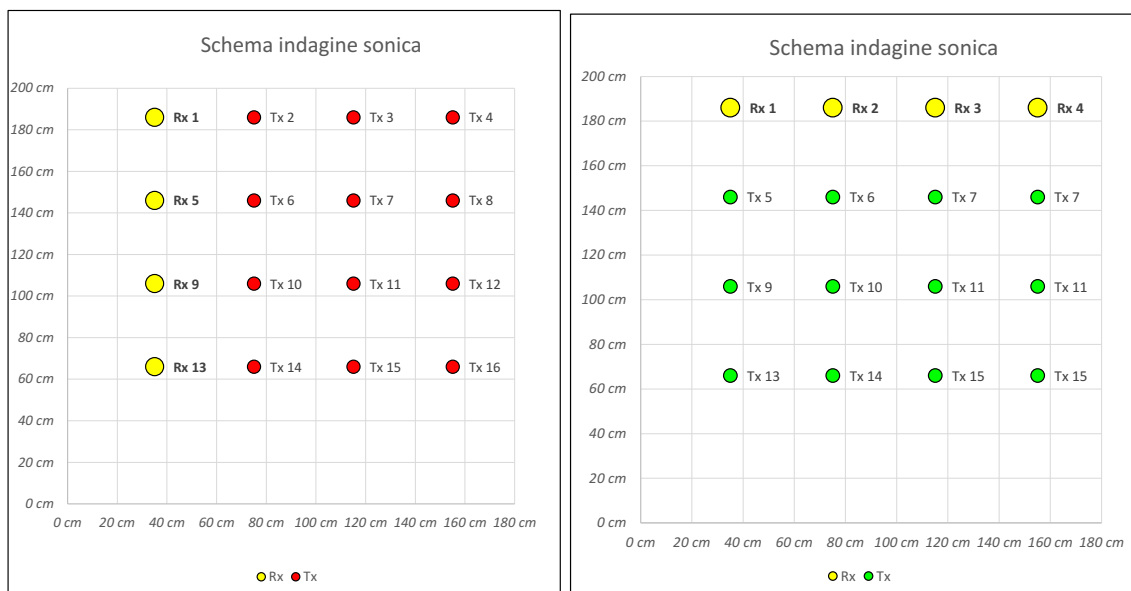


Fig. 3.2.1.2.1 Configurazione dell'indagine indiretta eseguita in entrambe le facce A e B indagate, del pilastro Sn2

3.2.2 Indagine sonica Sn4.

La zona di indagine Sn4 riguarda la parte più interna del pilastro 4, nel quale l'acquisizione in modalità diretta è stata possibile in quanto lo spessore tra le facce A e C (150 cm) consente di rientrare nei limiti fisici di trasmissione del segnale dati dalla strumentazione. E' stato possibile in questo caso rilevare i tempi della propagazione dell'impulso sonico all'interno del pilastro attraverso un'**indagine diretta**, completando l'acquisizione con il rilievo di **tipo indiretto** di entrambe le facce (A e C) oggetto di indagine.



Fig. 3.2.2.1 a) Faccia A Sn4 b) Faccia C Sn4.

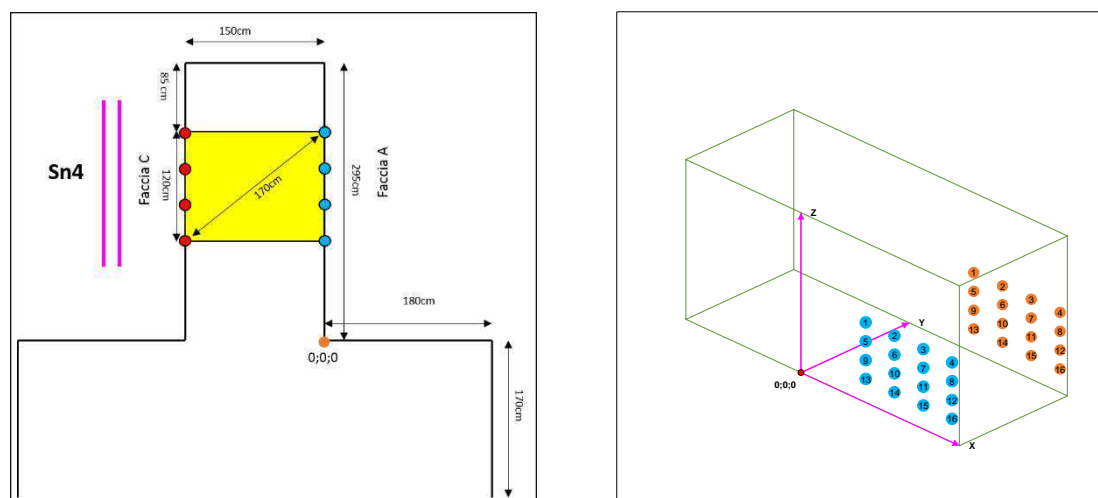


Fig. 3.2.2.2 Configurazione dell'indagine diretta eseguita sul pilastro Sn4, trasmettitori in pallino rosso, ricevitori in pallino blu.

Le posizioni dei trasmettitori e dei ricevitori sono state scelte per formare una geometria a maglia regolare 4x4 con i nodi interspaziati di 40 cm in entrambe le direzioni.

3.2.2.1 Acquisizione diretta Sn4

La procedura per l'acquisizione diretta è del tutto identica alla procedura semidiretta descritta per Sn2, la differenza è che i piani oggetto di indagine nel punto Sn4 sono opposti e non adiacenti come in Sn2.

La sonda ricevente (R) rimane (ad esempio) in posizione 1 e si acquisiscono i tempi dei 16 percorsi, energizzando la muratura nelle 16 posizioni trasmettenti (T) con il martello strumentato. In seguito si sposta la sonda R nelle restanti 15 posizioni di ricezione, ripetendo per ognuna di esse l'operazione descritta.

In totale sono stati acquisiti 256 file (16 T per 16 R, vedi rapporto di prova 49 e relativo Elaborato grafico 3B- codice prova Sn) al fine di poter elaborare, in fase post acquisizione, attraverso il software ATom (Adding Srl – SolGeo Srl), i piani e le sezioni con velocità interpolate.

3.2.2.2 Acquisizione indiretta Sn4

La procedura per l'acquisizione indiretta prevede che sia R che T siano sullo stesso piano, di conseguenza sono state eseguite due acquisizioni per creare due immagini interpolate, una per Faccia A e una per Faccia C.

In generale sono stati acquisiti alcuni transetti, mantenendo R in posizione e spostando T nelle 3 posizioni orizzontali (per l'acquisizione orizzontale) e verticali (per l'acquisizione verticale). Sono stati rilevati quindi 24 tempi di volo per ciascuna faccia (vedi rapporti di prova 46 e 47 e Elaborato grafico 3B- codice prova Sn). La descrizione grafica è la stessa della figura 3.2.1.2.1 *Configurazione dell'indagine indiretta eseguita in entrambe le facce A e B indagate, del pilastro Sn2*

3.3 **Indagine elettrica di tipo Tomografico 3D (3Dp)**

Il metodo della tomografia elettrica si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale (ΔV) connessa alla distribuzione nel sottosuolo o nel volume di indagine, di una corrente elettrica "I", immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. I valori di resistività elettrica misurati (resistività apparenti ρ_a) dipendono pertanto da " ΔV " e "I" secondo la seguente relazione generale:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

Le resistività apparenti variano quindi in funzione oltre che della posizione reciproca dei quattro elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K, detto fattore geometrico), dalla distribuzione della resistività elettrica dei materiali nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente "I".

La resistività dei geomateriali è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori,
- porosità,
- salinità del fluido, se presente nei pori,
- temperatura,
- eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
- presenza di argilla,
- presenza di minerali particolari (ad esempio metalli pesanti, miche),
- grado di compattazione.

La relazione empirica proposta da Archie è valida per suoli avente scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie) :

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s : resistività (espressa in Ohm•m, del suolo parzialmente saturo di fluido),
- ρ_f : resistività (W•m) del fluido presente nei pori,
- S : frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- m : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- a : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia : 0.62)
- n : coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
- ϕ : porosità del suolo .

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , $SO_4^{=}$, NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula

$$\rho_f = 0.0123 + 10^{(3.562 - 0.955 \log_{10} C)}$$

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

Per l'esecuzione dei profili o dei blocchi tridimensionali si utilizzano opportuni cavi multiconduttori a 24 elettrodi; ogni elettrodo viene infisso nello strato superficiale per una profondità media di 10-15 cm dal piano campagna; in caso di terreno molto duro e pavimentazioni, i fori vengono preventivamente realizzati con uso del trapano.

Dove necessario, per necessità di riduzione di impatto e di invasività, nelle pavimentazioni di valore storico culturale o sulle strutture, si posizionano piccoli chiodi in acciaio inox di diametro ridotto all'interno di fori realizzati del trapano oppure elettrodi ricevitori non polarizzabili a contatto.

La strumentazione utilizzata (Syscal Pro switch 96 a commutazione concentrata, prodotto da IRIS Instruments, Francia), permette di eseguire misure di alta

precisione, con correnti indotte fino ad oltre 2 Ampere, con automatica compensazione del potenziale spontaneo.

Per ottenere la distribuzione reale delle resistività elettriche nel volume indagato, i dati sono elaborati mediante un programma alle differenze finite e sottoposti ad un processo di filtraggio e inversione; per effettuare l'elaborazione, il volume di indagine è discretizzato, attraverso una modellizzazione agli elementi finiti, in celle tetraedriche con lato di larghezza pari alla metà della distanza elettrodoica.

L'inversione bidimensionale e tridimensionale è stata ottenuta mediante il sistema ERTLab Solver™ ed ERTLab Viewer™ mentre la visualizzazione definitiva dei dati è stata realizzata con software EVS™ (C-Tech, USA).

La rappresentazione dei risultati consiste in immagini tomografiche bidimensionali e tridimensionali del parametro di resistività elettrica (espresso in Ohm•m).

Per la rappresentazione dei valori di resistività elettrica, ottenuti con metodo tomografico elettrico, è stata scelta una scala cromatica tipo "rainbow".



*Schema di visualizzazione della scala di resistività(Ohm*m) utilizzata.*

La restituzione dei risultati avviene mettendo in evidenza settori con particolari anomalie bidimensionali e tridimensionali d'interesse. La visualizzazione con campiture a colori consente di identificare aree o volumi omogenei caratterizzati da un medesimo colore.

3.3.1 Configurazione delle misure per l'acquisizione dei dati 3D sui pilastri

Al fine di caratterizzare al meglio il livello qualitativo di omogeneità interna alla struttura dei pilastri 4 e 2, sono stati acquisiti in totale n. 5 blocchi di tomografia elettrica. In particolare n. 3 blocchi sul Pilastro 2 e n.2 blocchi sul Pilastro 4.

Per il pilastro 2 sono stati acquisiti due blocchi da 96 elettrodi ed uno da 72 elettrodi, mentre per il 4 uno da 96 ed uno da 72 elettrodi.



Figura 3.3.1.1 – Fase di acquisizione sul Pilastro 2.



Figura 3.3.1.2 – Fase di acquisizione sul Pilastro 4.

Come elettrodi sono stati usati piccoli chiodi in acciaio “inox” inseriti in microfori realizzati nel paramento insieme a poche gocce di gel conduttivo (da ecografia) per facilitare il contatto metallo-muratura e migliorare la trasmissione di corrente nel mezzo. Il gel si inserisce tramite siringhe chirurgiche e i chiodi si collegano ai cavi ai cavi multiconduttori tramite spezzoni di filo elettrico. Ovviamente la geometria per la collazione degli elettrodi è stata studiata blocco per blocco e materializzata manualmente con i gessi sul paramento.



Figura 3.3.1.3 – Fase di materializzazione dei punti sul paramento per la realizzazione dei microfori



Figura 3.3.1.4 – Realizzazione dei microfori nel paramento



Figura 3.3.1.5 – Inserimento del gel conduttivo con siringa



Figura 3.3.1.6 – Collegamento di fili elettrici ai chiodi per arrivare ai cavi multiconduttori

Le geometrie di acquisizione utilizzate sono state progettate per ottenere la caratterizzazione di una fascia di circa 2m di altezza dei pilastri.

Essendo la quota del piano di calpestio differente tra interno aule e esterno aule, e dovendo acquisire i dati “per trasparenza”, il volume di struttura indagato per il pilastro 2 è posta a partire da 1,6 m dal base interna del pilastro, mentre per il 4 è posta a partire da 1,7 m.

Per ogni singolo pilastro le misure ottenute sono state invertite in un unico processo in modo da ottenere come risultato la tomografia dell'intero volume in esame con la migliore densità di dati al suo interno.

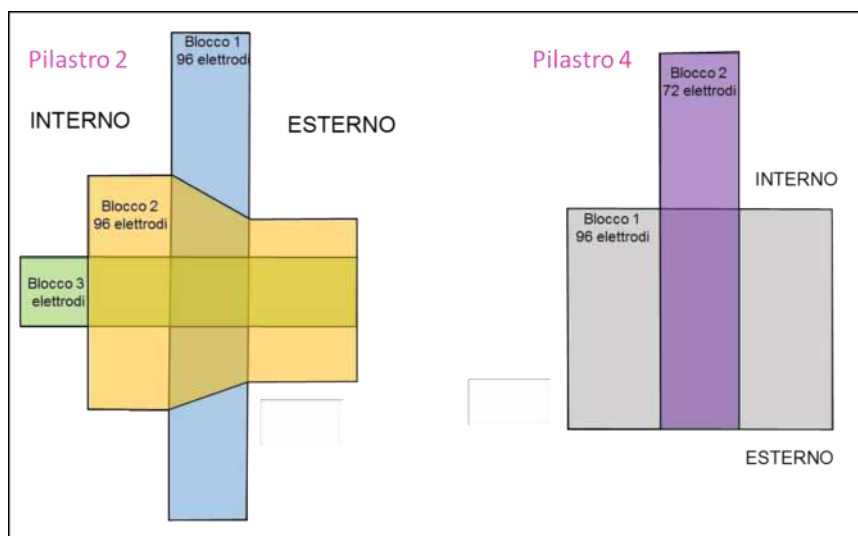


Figura 3.3.1.7 – Schema dei blocchi di acquisizione.

4. RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE SUI PILASTRI

4.1 Risultati Indagine Georadar sui pilastri (Codice prova G2 e G4)

L'allegato grafico relativo ai risultati qui descritti è denominato "Elaborato grafico 3A_Codice prova G_Indagine Georadar".

Ciascuna faccia accessibile e raggiungibile dei due pilastri è stata analizzata sia in verticale che in orizzontale con due antenne diverse: un'antenna mono frequenza (400 MHz) e un'antenna multi frequenza (300-800 MHz).

Nell'elaborato, per ogni faccia sono riportate sia il Sistema X, Y di riferimento che la posizione di tutte le sezioni acquisite, anche se non tutte poi sono riportate sulle tavole. Il sistema cartesiano ha l'asse X corrispondente alla base della muratura e l'asse Y corrispondente all'altezza della muratura. La loro origine coincide sempre in un angolo tra due facce del pilastro, il cui 0.0 si trova a terra.

Mediante l'asse Y, corrispondente alla altezza della zona di indagine è di circa 2,5m a partire dal basso.

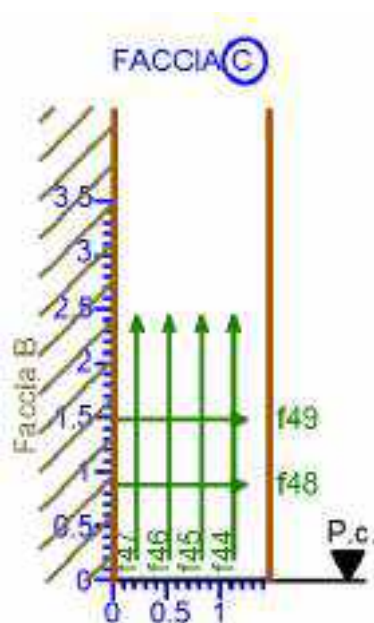


Figura 4.1.1 – Esempio di Sistema X,Y di riferimento, necessario per l'acquisizione dei dati radar sulla muratura. In verde sono posizionate le sezioni verticali e orizzontali acquisite secondo il sistema di riferimento

Per l'elaborazione e l'interpretazione sono stati analizzati tutti i dati acquisiti, mentre sulle tavole grafiche di sintesi sono riportate solo le sezioni GPR più rappresentative, necessarie per descrivere lo stato di omogeneità/disomogeneità interna della muratura indagata.

La selezione dei dati utilizzati per descrivere l'interpretazione raggiunta dipende in primis dalla scelta della frequenza più efficace per descrivere lo stato interno corrispondente. Sulle stesse linee di sezione tracciate rispetto al sistema di riferimento infatti abbiamo dati derivanti da 300, 400 e 800 MHz.

Per esempio, nel caso del pilastro 2 sono state scelte solo le sezioni derivanti dall'antenna a 800 MHz mentre sul pilastro 4 solo le sezioni della frequenza a 300 MHz. L'acquisizione con l'antenna da 400MHz risulta particolarmente simile a quella acquisita con l'antenna a 300 MHz; la sovrapposizione risulta quindi sovrabbondante, ma utile per avere conferma della bontà della analisi indiretta.

Generalmente un'antenna con frequenza da 300 MHz raggiunge fino a 3 m di profondità nelle condizioni ottimali, mentre una con frequenza a 800 MHz si raggiunge circa 1.5 m di spessore ma con grado di dettaglio maggiore.

Nel nostro caso di studio, l'antenna a 300 MHz ha mantenuta un buon segnale fino a circa 2 m di profondità. Per questo motivo sulle sezioni dei pilastri è presente un retino a tratteggio grigio che indica la zona non raggiunta dal segnale GPR e quindi non caratterizzata dall'indagine Georadar.

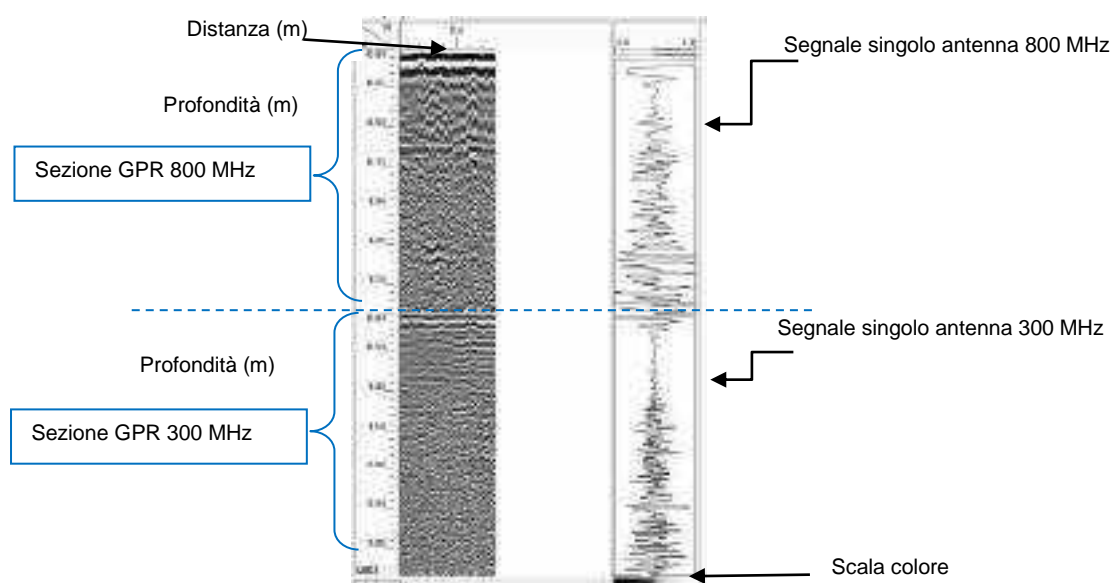


Figura 4.1.2 – Sezioni GPR con frequenza a 300 MHz e 800 MHz

I dati acquisiti sono stati elaborati anche in 3D (per ciascuna faccia), ma sono state riportate sulle tavole solo le sezioni 2D perchè più chiare e significative.

E' bene precisare che le sezioni GPR selezionate e organizzate nelle tavole grafiche non sono in scala 1:1, ovvero la scala delle distanze è diversa dalla scala delle profondità. Questa differenza è necessaria per ottimizzare la lettura delle sezioni.

Per ogni pilastro sono riportate su schemi di sintesi le informazioni raggiunte dalla sovrapposizione delle evidenze tra sezioni verticali e orizzontali e tra dati di diversi lati-facce in cui le misure possono aver coperto la stessa area. Queste sezioni di

sintesi grafica sono in scala 1.1. Le altezze di interesse per le sezioni orizzontali di sintesi sono 4: + 0,5m dal p.c., +1 m dal p.c., + 1,5 m dal p.c. e +2 m dal p.c.

L'interpretazione dei dati ha condotto alla individuazione di due materiali-strati corrispondenti a:

- Il primo strato ovvero il paramento segnato con il colore ciano. Lo spessore rilevato varia da 15 cm a 40 cm. Questo strato appare omogeneo e compatto indipendentemente che ci sia stato un intervento di restauro o meno.
- Il secondo strato corrisponde all'Opus caementicium generalmente omogeneo e compatto (segnato in giallo). All'interno di questo materiale sono state evidenziate zone localizzate di discontinuità, disgregazione oppure netto cambio di materiali, segnate di rosso per ogni sezione.

Le legende utilizzate per descrivere le sezioni coordinate allo schema di acquisizione faccia per faccia sono le seguenti:



Mentre per sintetizzare quanto rilevato sulle sezioni di sintesi la legenda utilizzata è la seguente.

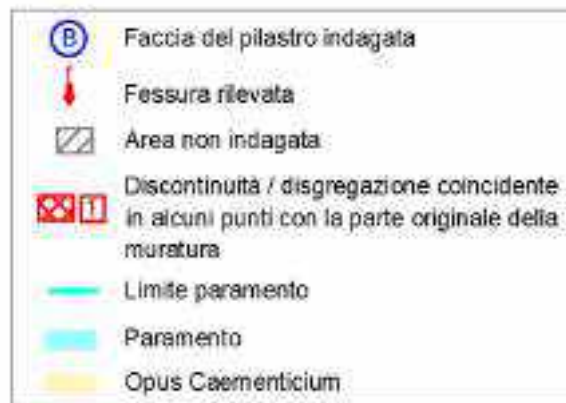


Figura 4.1.3: Copia della legenda usata nelle tavole grafiche per la sintesi elaborata nelle sezioni più significative ricostruite

4.1.1 Pilastro 2- Codice prova G2

Il Pilastro 2, ubicato tra le aule IV e V, è stato indagato dall'interno, su tutte le facce libere da ingombri non rimovibili in sicurezza dagli addetti del museo.

Nella sezione orizzontale di riferimento le facce acquisite sono state segnate in blu mentre le altre non indagate sono indicate in viola. A tratteggio è selezionata la parte di sezione non raggiunta dalle indagini radar.

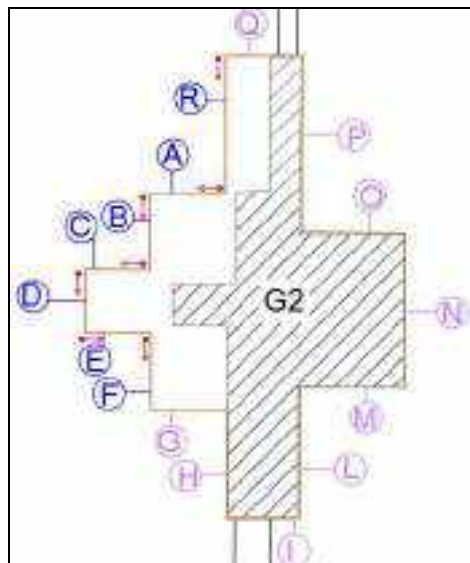


Figura 4.1.1 – Planimetria con ubicazione delle aree di indagine e l'origine degli assi.

I risultati dell'indagine G2 sono organizzati nelle tavole da 1 alla 3 dell'Elaborato grafico 3°-codice prova G-indagine georadar.

In particolare nella tavola 1 si trovano i dati e le interpretazioni dei dati delle facce C, D ed E.

La porzione di pilastro compresa tra queste 3 facce è stata indagata con un alto grado di dettaglio in quanto lo spessore tra C ed E, corrispondente alla larghezza della faccia D è di 2m ed i dati acquisiti da diversi lati di sovrappongono perfettamente.

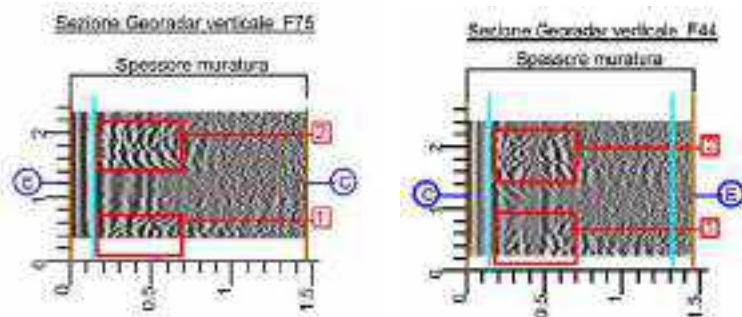


Figura 4.1.2 – Esempio di sezioni GPR verticali acquisite in faccia E ed in faccia C

Su questa porzione si nota, su tutte e tre le facce, il paramento di 15 cm, indipendentemente dalla tipologia di mattone presente in superficie. Dopo il paramento si trova l'opus caementicium, generalmente omogeneo e compatto.

In alcune zone si evidenziano anomalie derivanti probabilmente dalla presenza di materiale eterogeneo disgregato, oppure composto da caementa molto differenti a contatto e non ben cementate tra loro. Un caso rilevante è visibile in figura 4.1.2 dove le anomalie "1" e "2" sono state individuate da tutte le 3 facce.

Tale andamento potrebbe giustificare una sorta di ripetizione e stratificazione nei materiali della struttura, senza escludere che possa trattarsi della alternanza non solo di materiali ma anche di zone a diverso livello di omogeneità. La zona meno riflettente compresa tra le due anomalie dovrebbe essere quella più omogenea. In termini di profondità le due zone delimitate in rosso sono state limitate a circa 70cm dalla superficie ma, soprattutto la zona "1" potrebbe proseguire lungo tutta la profondità indagata (1.5m).

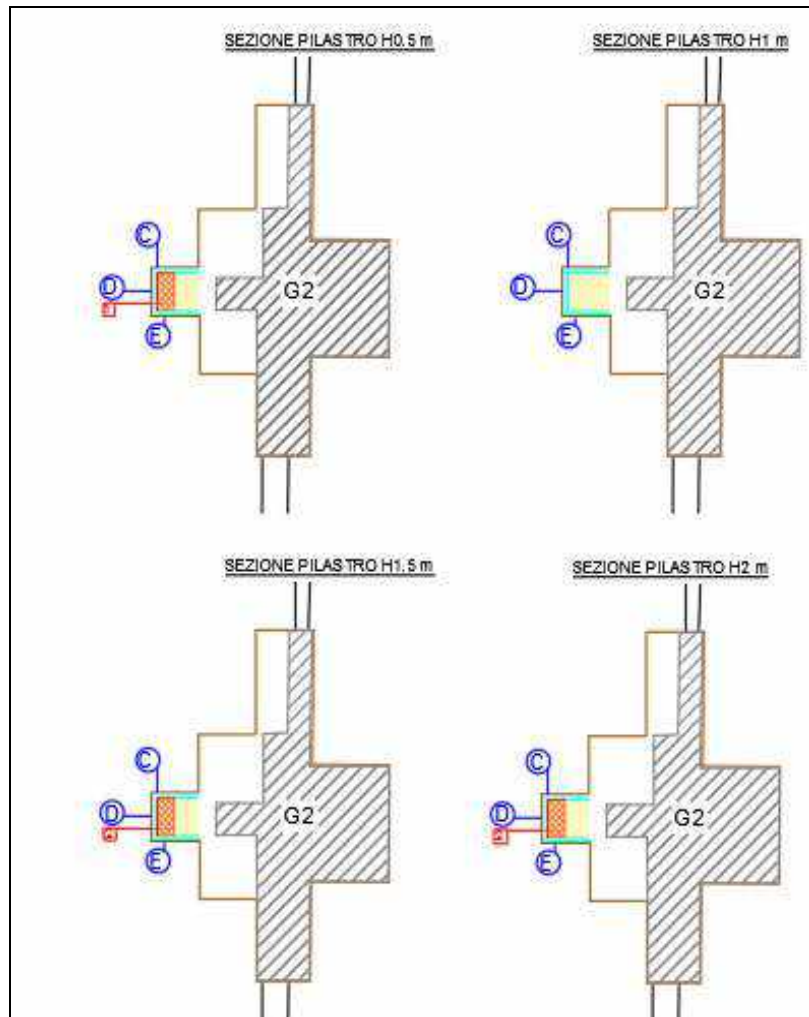


Figura 4.1.3 – Sezioni di sintesi alle altezze H 0.5 m / H 1 m / H 1.5 m / H2 m della porzione muraria compresa tra C,D ed E.

In Tavola 2 sono riportati i risultati delle indagini GPR acquisite sulle facce F, B, A e R.

In corrispondenza della porzione di pilastro analizzato dalla faccia F non sono state individuate zone di possibile discontinuità o disgregazione.

L'analisi delle facce adiacenti A e B (opposte ad F e G) ha rilevato la presenza di una zona di anomalia, indicata con il progressivo "4", presente nello strato di opus caementicium da 20 cm a 100 cm di profondità rispetto alla superficie della faccia A.

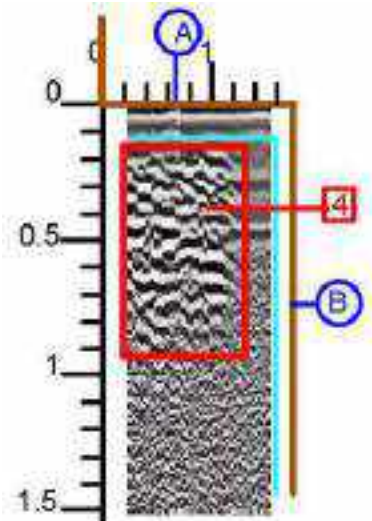


Figura 4.1.4 Sezione GPR orizzontale acquisita in faccia A ad altezza 1m da terra

In faccia B è stata individuata un'ulteriore zona di anomalia molto localizzata chiamata "3", compresa tra 15 cm e 50 cm di profondità rispetto alla superficie della faccia B.

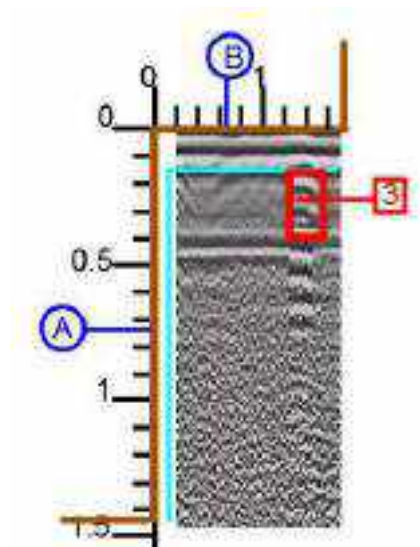


Figura 4.1.5 Sezione GPR orizzontale acquisita in faccia B ad altezza 1.5m da terra

Dall'analisi dei dati acquisiti in faccia R, è emersa la presenza di una zona di anomalia estesa sia lateralmente che in profondità, nello strato di opus caementicium. E' stata chiamata "5".

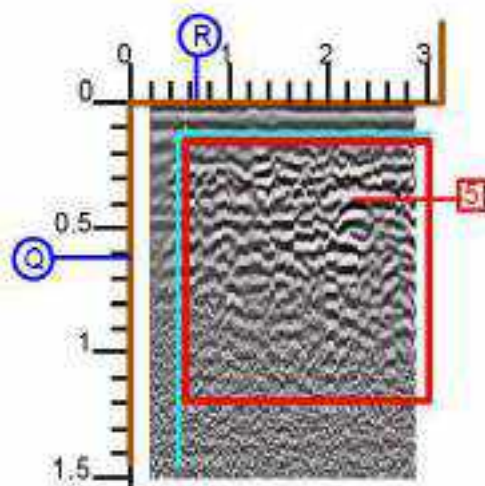


Figura 4.1.5 Sezione GPR orizzontale acquisita in faccia R ad altezza 1m

Osservando la faccia Q adiacente alla R, si nota che, oltre il paramento ricostruito è visibile una parte di muratura originale. Questo tratto coincide con la posizione della anomalia denominata “5”.



Figura 4.1.6 Fotografie delle facce R e Q

Le anomalie “1”, “2”, “4” e “5” individuate presentano una riflessione sulle sezioni GPR molto simile associate a zone di discontinuità o di disgregazione coincidente in alcuni punti con il cambio di tessitura oppure alla alternanza stratigrafica interna tra malta e caementa.

In tavola 3 sono riportate 4 sezioni orizzontali di sintesi alle altezze H 0,5 m, H 1 m, H 1,5 m e H 2 m rispetto al piano di calpestio, nelle quale sono riportati i vari strati individuati insieme alle zone di anomalia da 1 a 5, sopra descritte.

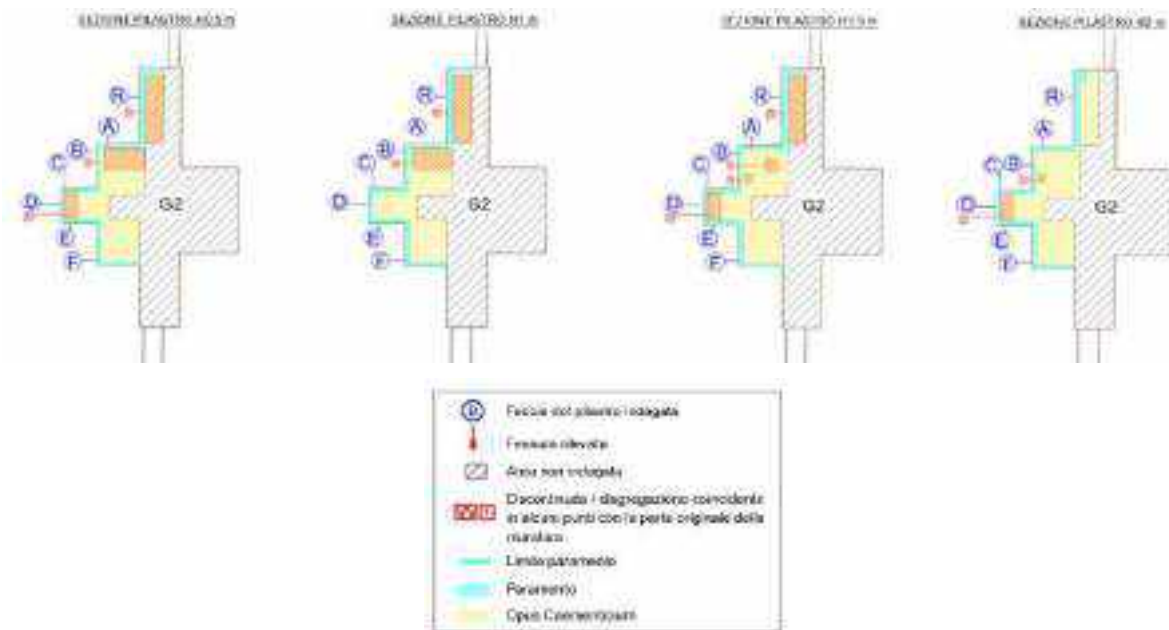


Figura 4.1.7 Sezioni di sintesi del pilastro 2

4.1.2 Pilastro 4- Codice prova G4

Il pilastro 4 è ubicato tra le aule I e II. Le facce accessibili per l'acquisizione Georadar sono le seguenti: A, B, C, H e G.

Nella sezione orizzontale di riferimento le facce acquisite sono state segnate in blu mentre le altre non indagate sono indicate in viola. A tratteggio è selezionata la parte di sezione non raggiunta dalle indagini radar.

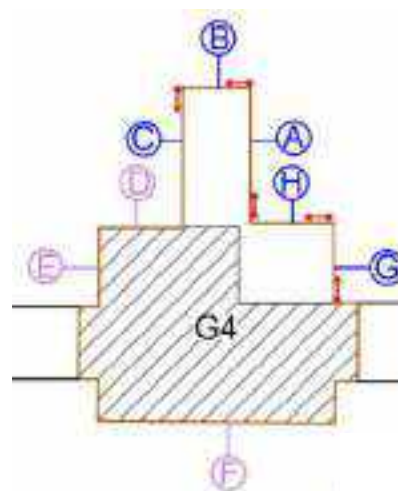


Figura 4.1.2 – Planimetria con ubicazione delle aree di indagine

I risultati dell'indagine G4 sono presentati nelle tavole dalla 4 alla 5 dell'Elaborato grafico 3A_Codice prova G_indagine georadar.

In Tavola 4 sono riportati i risultati dell'analisi dei dati raccolti in corrispondenza delle facce A,B e C.

Osservando il pilastro la prima cosa che si rileva visivamente (come da rilievo riportato in capitolo 2.2 Aspetto superficiale dei pilastri), è la differenza degli spigoli rispetto allo sviluppo delle facce; in particolare l'angolo fra le facce A e B e l'angolo fra le facce B e C sono ricostruiti.

Il primo strato di spessore murario, definito paramento, appare più spesso che nel Pilastro 2, ed è stimato di circa 40 cm dalle sezioni radar, anche se non si notano variazioni in termine di riflessione del segnale GPR tra lo zona in corrispondenza dei mattoni di rifacimento e la zona con i mattoni antichi.

In questo pilastro sono state individuate 3 zone di anomalia molto piccole e localizzate. Tali anomalie sono di natura diversa rispetto a quelle individuate nel Pilastro 2.

Vista la riflessione, la dimensione e l'ubicazione delle anomalie "2" e "3", si può ipotizzare che si tratti di zone di distacco tra paramento e opus caementicium.

L'anomalia "1" invece è ubicata nel centro tra le facce A e C, nello strato di opus caementicium. Potrebbe trattarsi di una zona molto localizzata disgregata o di una micro cavità.

Nella tavola 5 sono presenti i dati delle facce H e G in cui non sono state evidenziate zone di anomalia. Il paramento è spesso circa 40 cm e l'opus caementicium risulta omogeneo.

Nella stessa tavola sono riportate le sezioni orizzontali di sintesi a 3 altezze rispetto al piano di calpestio.

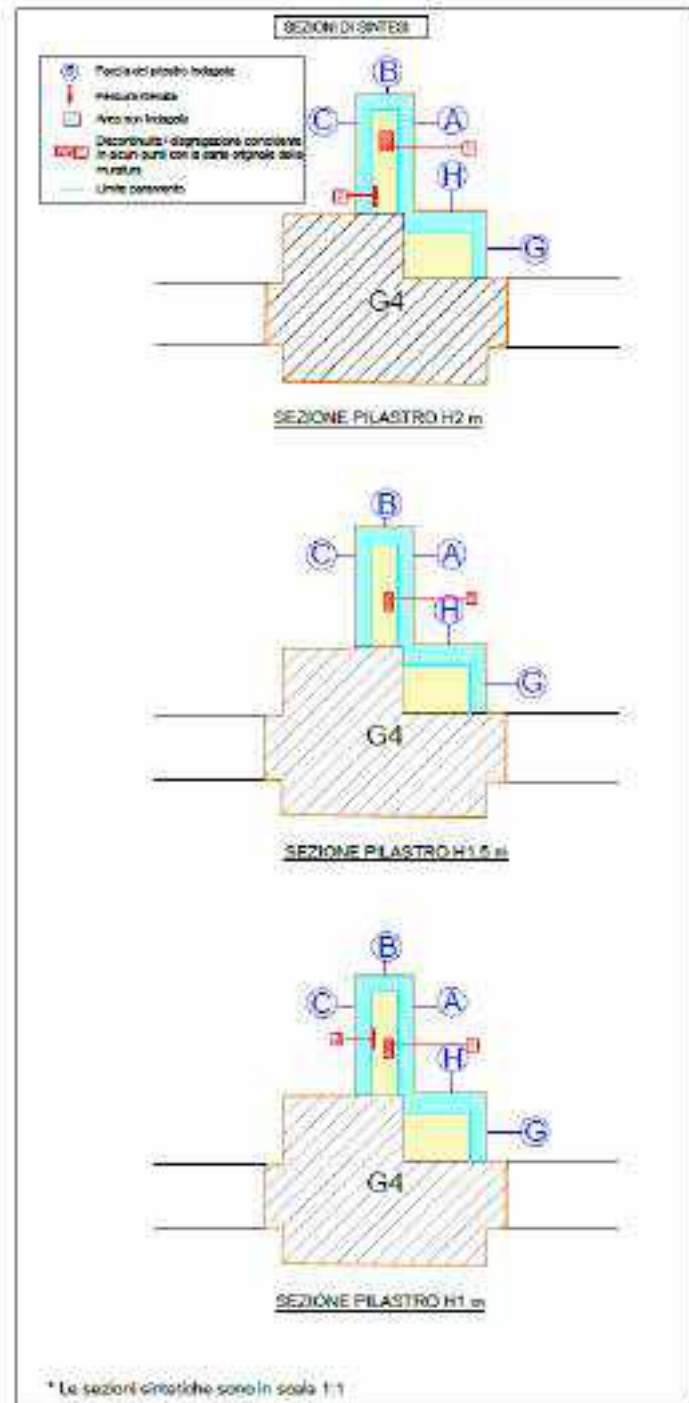


Figura 4.1.3 – Planimetrie di sintesi del rilievo radar eseguito sulle zone accessibili del pilastro 4.

4.2 Risultati Indagine sonica sui pilastri (Codice prova Sn2 e Sn4)

L'allegato grafico in cui sono organizzati i dati elaborati delle misure soniche eseguite in diverse modalità (come in precedenza descritto) è denominato "Elaborato grafico 3B_Codice prova Sn_Indagine sonica".

4.2.1 Pilastro 2- Codice prova Sn2

Le velocità della muratura sul pilastro 2 sono comprese tra 1000 e 2800 m/s.

Le velocità medie comprese tra 1600 e 2000 m/s corrispondono a zone omogenee, compatte e senza discontinuità.

Le sezioni orizzontali (in Tavola 1) mostrano caratteristiche omogenee di velocità (mediamente di 1900 m/s). Si osserva sui piani a +1,46 m e +1,86 m dal p.c una zona più lenta obliqua, (1200-1400 m/s) dovuta probabilmente alla diversa tipologia di caementa nell'opus caementicium (probabilmente clasti macroscopici tufacei).

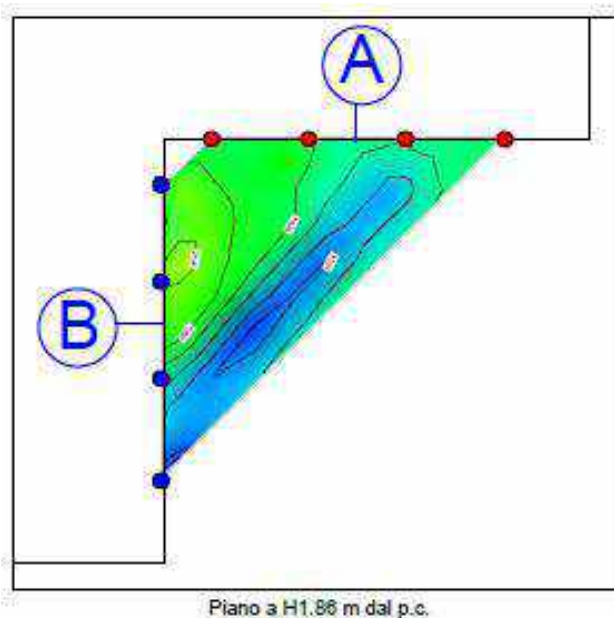


Figura 4.2.1. – Sezione orizzontale con anomalia a bassa velocità con andamento obliquo

In Tavola 2 sono rappresentati i piani verticali frutto del volume sezionato compreso tra le facce A e B. In tali sezioni dal basso verso l'alto si osserva una alternanza dei valori di velocità. Tale andamento può essere spiegato con un cambio di densità e di tipologia di caementa utilizzati.

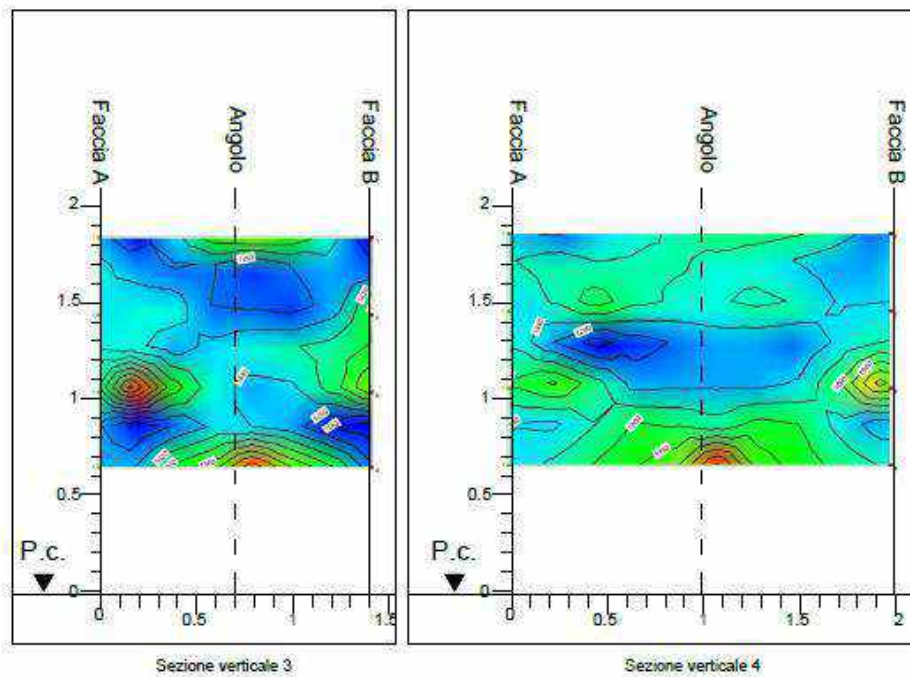


Figura 4.2.2 – Sezioni verticali con alternanza di velocità.

La tavola 3 riporta i risultati della acquisizione indiretta sulla faccia A e la tavola 4 riporta i dati della acquisizione indiretta sulla faccia B.

4.2.2 Pilastro 4- Codice prova Sn4

Le velocità registrate sui pilastri 4 oscillano mediamente tra 900 e 3300 m/s.

Le velocità medie comprese tra 1700 e 2500 m/s corrispondono a zone omogenee, senza discontinuità.

Sia le sezioni orizzontali che verticali mostrano dall'alto verso il basso un aumento delle velocità con un brusco scalino posto a circa +1,3 m dal p.c.

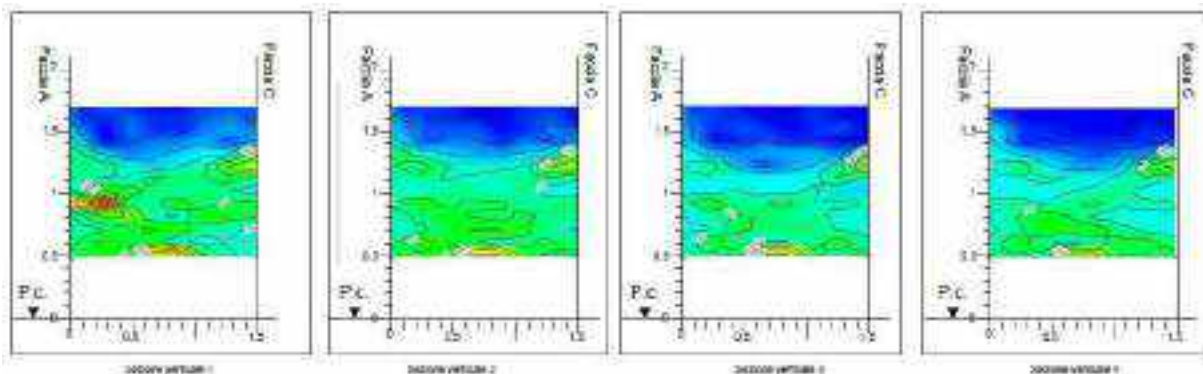


Figura 4.2.3 – Sezioni verticali nel pilastro 4 con evidente cambio di velocità a circa 1,3m da terra.

Tale andamento di velocità potrebbe essere spiegato con un cambio di densità e di tipologia di caementa utilizzati nell'opus caementicium, come la tecnica di costruzione romana può prevedere (paragrafo 2.1). Se le indagini fossero estese in altezza, probabilmente l'alternanza stratigrafica potrebbe essere ritrovata e confermata.

4.3 Risultati dell'indagine di Tomografia elettrica 3D (Codice 3Dp2 e 3Dp4)

L'allegato grafico in cui sono stati organizzati e presentati i risultati delle indagini elettriche è denominato "Elaborato grafico 3C_Codice prova 3Dp".

Grazie alla disponibilità di materiale interno alla struttura, prelevato durante il carotaggio continuo (codice prova 3D) è stato possibile eseguire delle misure di resistività in laboratorio. Sui campioni a nostra disposizione, non utili per le prove meccaniche per irregolarità e dimensioni ridotte, sono state fatte acquisizioni speditive, utili per avere un'ulteriore chiave interpretativa delle resistività riscontrate nel volume dei pilastri. Il metodo utilizzato è lo stesso di quello descritto in precedenza, con stesso tipo di chiodi, stessi cavi, ma in numero molto ridotto di elettrodi, come dimostrato nelle foto sotto riportate.

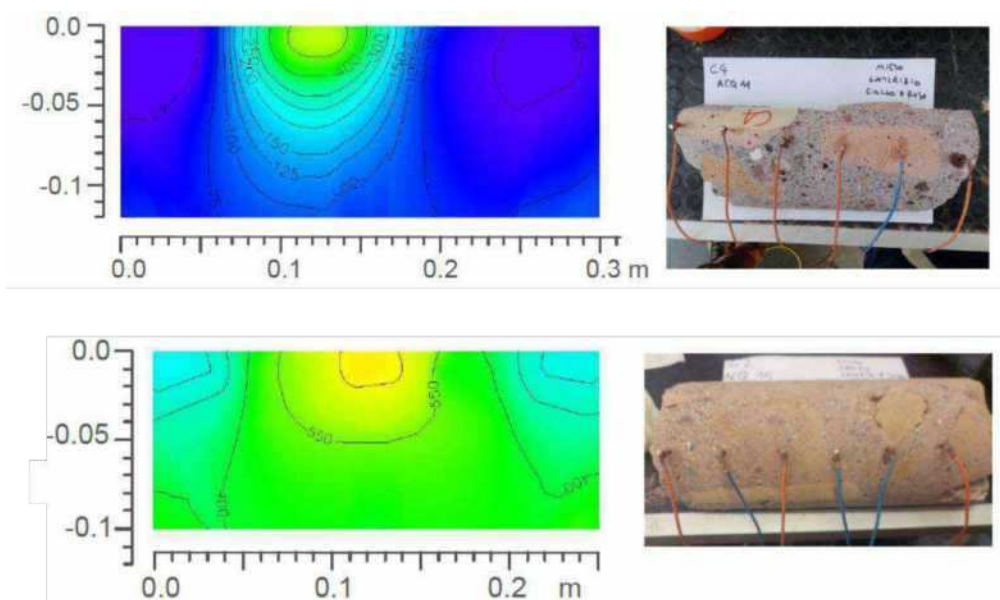


Figura 4.3.1 Esempi di misura di resistività su campioni di dimensioni ridotte e irregolari

Da tali misure è stato possibile ottenere un trend di andamento dei valori di resistività per i diversi materiali. In particolare è stato osservato come la malta priva dei caementa in laterizio e tufo abbia valori decisamente superiori anche di un ordine di

grandezza rispetto a quando sono presenti tali tipi di aggregati (in media 300-600 Ohmxm). Le misure realizzate direttamente sui caementa confermano i dati precedenti mostrando risultati caratterizzati da bassi valori di resistività (in media 60-200 Ohmxm).

4.3.1 Pilastro 2- Codice prova 3Dp2

Le tavole 1, 2 e 3 dell'elaborato grafico 3C_codice prova 3Dp2 e 3dp4, sono contenute i risultati dei dati acquisiti sul pilastro 2.

Nella Figura 4.3.1.1 è rappresentato il volume totale di tomografia elettrica derivante dall'unione di tutte le acquisizioni singole acquisite. Da questo volume è stato possibile ottenere numerose sezioni sia orizzontali a diverse altezze, che verticali in diverse posizioni per ottenere una valutazione della omogeneità della struttura interna del pilastro e sulla presenza di eventuali anomalie localizzate.

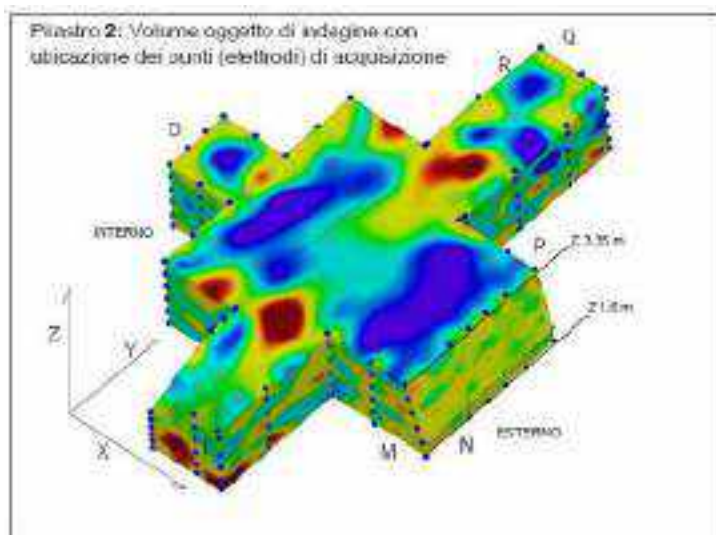


Figura 4.3.1.1 Volume elaborato del Pilastro 2.

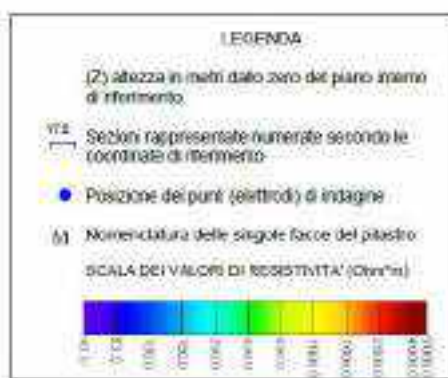


Figura 4.3.1.2 Legenda presente nelle tavole grafiche con scala cromatica di riferimento da 40 a 5000 Ohm*m.

Osservando le sezioni orizzontali alle diverse altezze da terra si nota principalmente la presenza di tre anomalie di forma sub circolare posizionate non in modo casuale, ma seguendo quello che appare uno schema preciso.

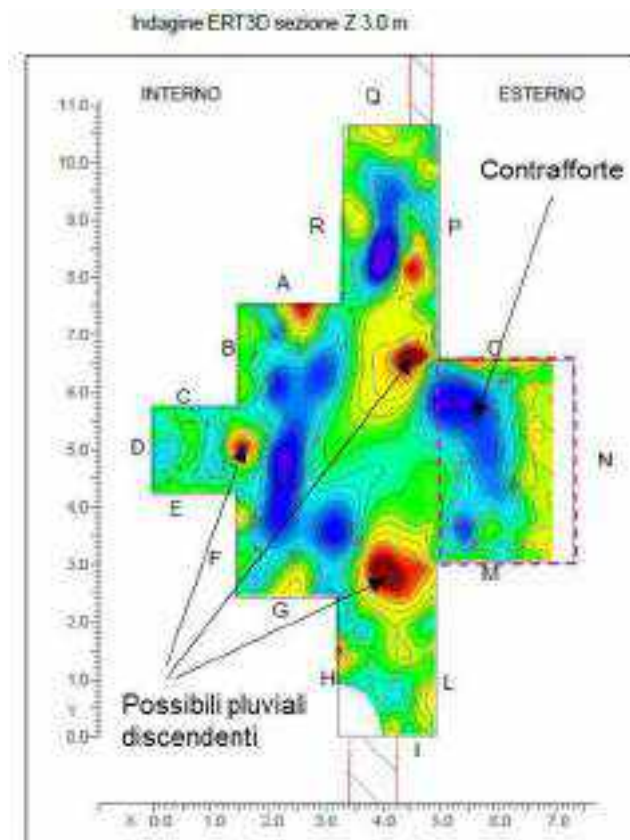


Figura 4.3.1.3 Sezione orizzontale e relative anomalie.

Anche in questo caso la gestione e la lettura dei dati dipende dal sistema cartesiano X, Y di riferimento, secondo il quale sono scelte e presentate nelle tavole le sezioni verticali secondo X o secondo Y. Si tratta di un sistema grafico e non di acquisizione come quello descritto per i dati radar.

Due di queste sono poste sul lato esterno del pilastro; la prima è ubicata sullo spigolo tra la faccia O e P, mentre l'altra sullo spigolo tra la faccia M e L. La terza è posizionata tra le facce B e F. Tali anomalie potrebbero essere attribuite alla presenza pluviali discendenti inglobati all'interno della muratura. La presenza di porzioni cave all'interno dei discendenti può generare le anomalie con nucleo alto resistivo come quello qui registrato (rosso per semplificare la lettura).

E' visibile inoltre una differenza nella risposta elettrica tra il pilastro in senso stretto e il contrafforte sul lato esterno, dovuta probabilmente ad una differenza nei materiali utilizzati. Tale fatto suggerisce che il contrafforte possa essere un corpo aggiunto in

un periodo successivo a quello romano, come dimostrato in alcune planimetrie storiche, diverse tra pre e post Rinascimento.

Lo sviluppo verticale delle anomalie generate possibilmente dalla presenza di discendenti pluviali all'interno della muratura (in particolare quella compresa tra le facce O e P) è ben visibile nelle sezioni verticali come si può osservare in Figura 4.3.1.4.

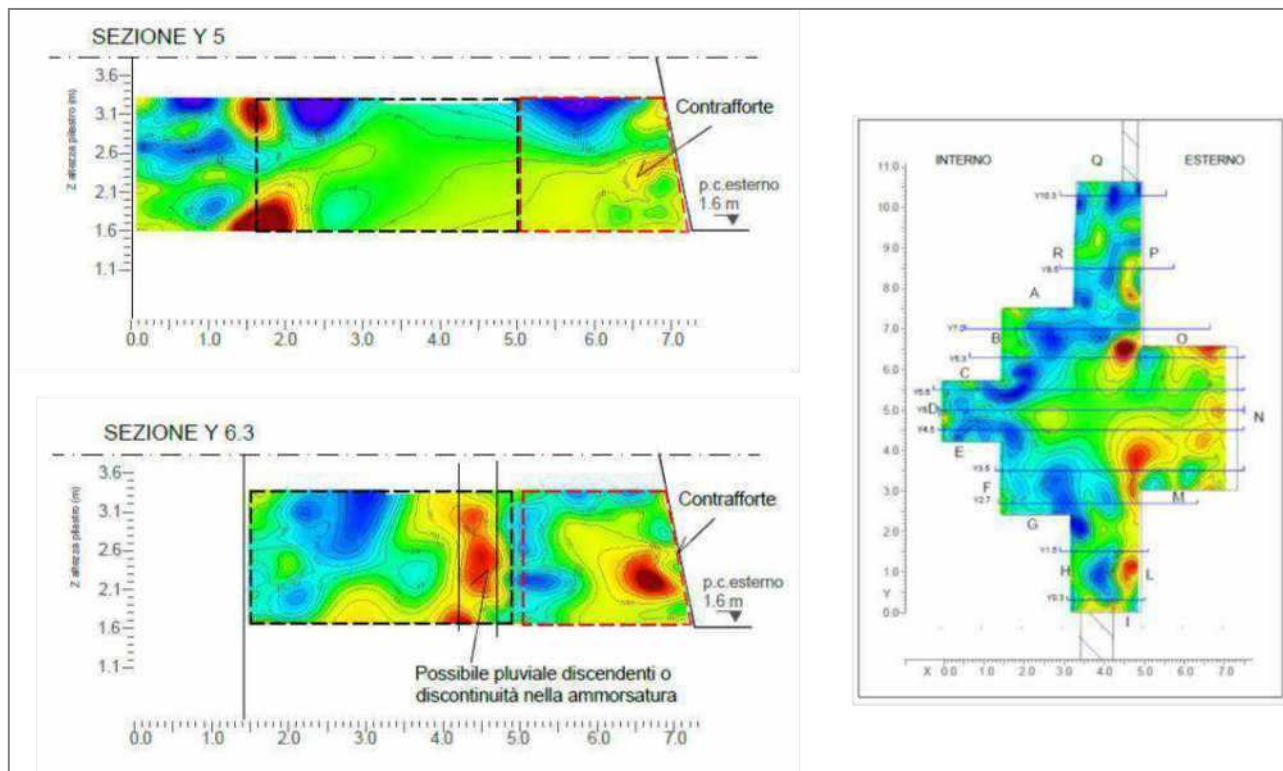


Figura 4.3.1.4 Sezioni verticali (Y5 e Y 6.3 del sistema X Y rispetto al volume globale di resistività), e relative anomalie

Nelle stesse sezioni è confermata la presenza di un cambio nelle caratteristiche di resistività elettrica del pilastro in senso stretto ed il contrafforte (vedi sezione a Y6.3 molto significativa).

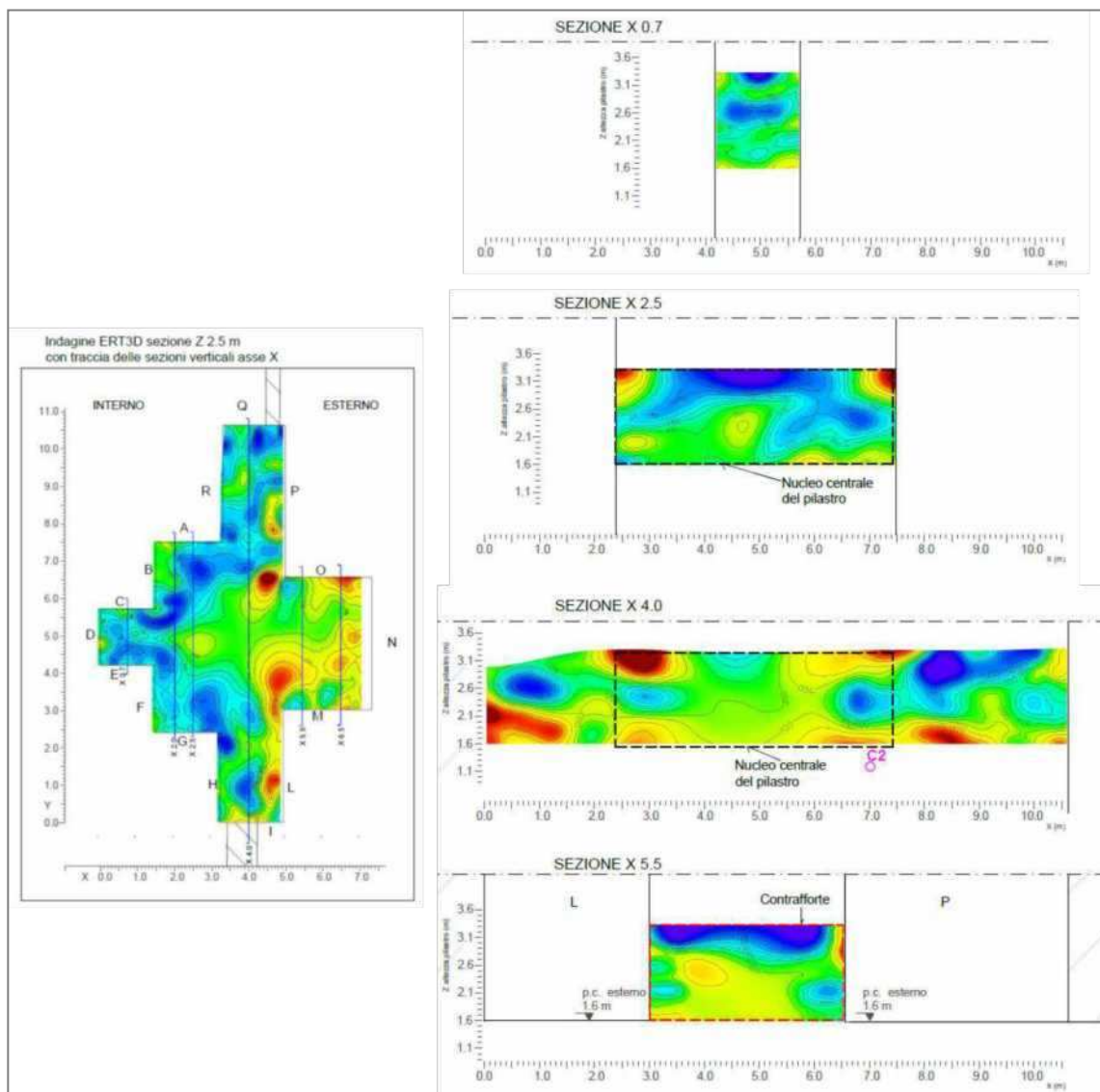


Figura 4.3.1.5 Sezioni verticali secondo X e relative anomalie.

Dalle sezioni verticali non coincidenti con le anomalie sopradescritte (pluviali), come ad esempio la sezione a Y4.5 e la maggior parte delle sezioni secondo X, risulta evidente la presenza di una stratificazione/alternanza dei valori di resistività frutto probabilmente della tipologia della tecnica costruttiva (vedi Paragrafo 2.1) in cui venivano messi in opera livelli successivi di malta nei quali venivano immersi gli aggregati (caementa). In funzione della percentuale della malta e della tipologia dei caementa usati si possono osservare variazioni nella risposta elettrica della muratura, così come dimostrato dalle misure di laboratorio eseguite sui pezzi residuali delle carote estratte dai C2, C3, C4, C1. Tale andamento che si potrebbe definire stratificato, è visibile (Figura 4.3.1.5) in quasi tutte le porzioni che compongono il pilastro.

Un'altra osservazione possibile riguarda la delimitazione del nucleo centrale del pilastro, corrispondente alla parte che nella analisi dei dati riguardanti le fondazioni

abbiamo definito “fondazione del pilastro”, diversificandola dal materiale di fondazione laterale ai pilastri (vedi relazione ed elaborati grafici 4A). Come si evidenzia nella figura 4.3.1.6 con una selezione di piani orizzontali di resistività del pilastro 2, è possibile individuare il nucleo centrale del pilastro (racchiuso dal poligono a tratteggio nero) rispetto alle parti murarie laterali. Le zone di ammortatura sono comunque buone tranne nei due punti in cui abbiamo indicato la possibile presenza dei pluviali discendenti riutilizzati (angolo tra P e O e angolo tra M e L), che comunque sono caratterizzati da forti discontinuità (alta resistività localizzata e geometrica).

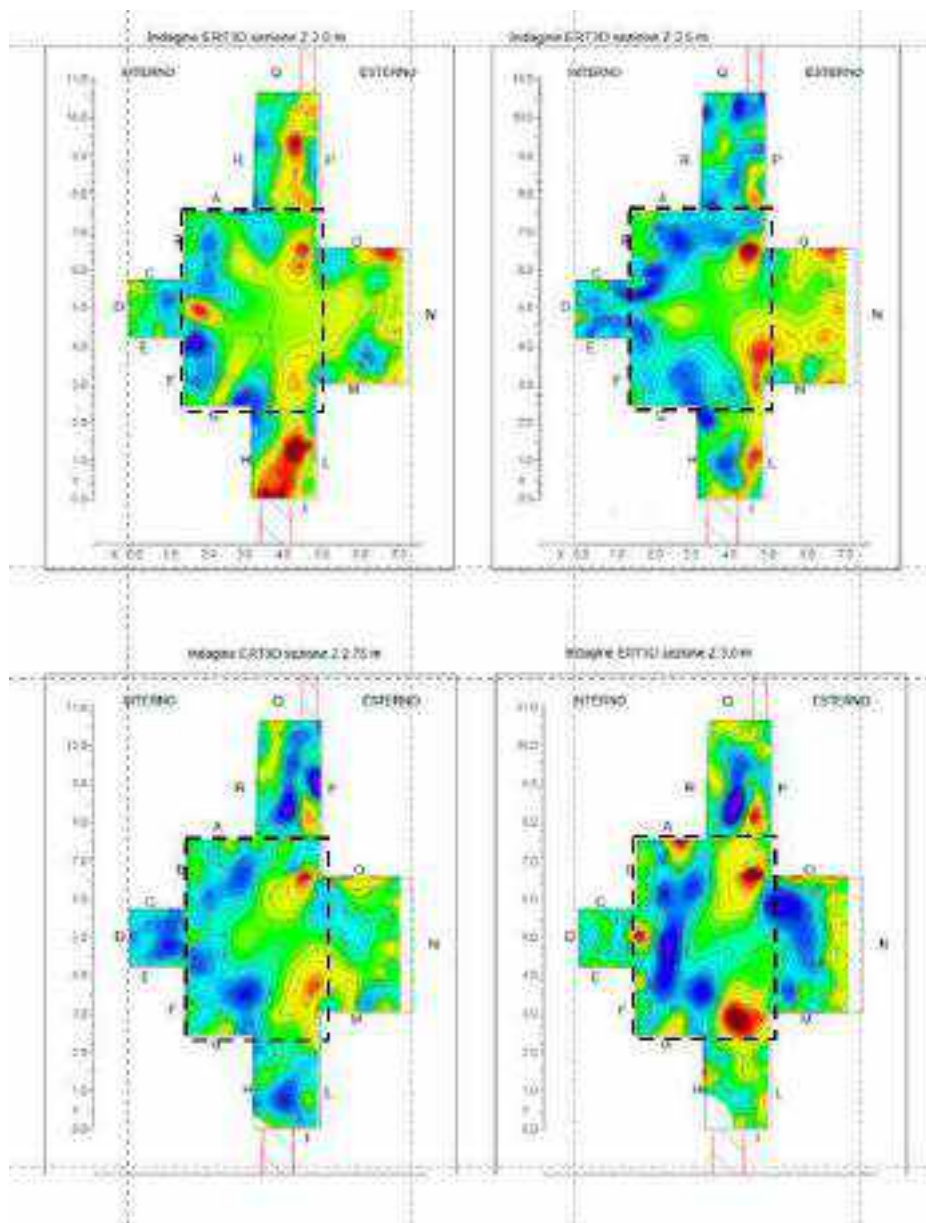


Figura 4.3.1.6 Selezione di 4 piani di resistività elettrica a diverse altezze rispetto allo 0.0 interno all'aula IV

La presenza comunque attestata dalla pubblicazione di Lombardi e Santucci “Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano” dei discendenti pluviali antichi riutilizzati e

funzionanti, si trova alla base della ns interpretazione delle anomalie resistive localizzate e geometricamente coerenti con questa presenza. Le zone basso resistive sono invece molto più diffuse rispetto al pilastro 4, descritto nel paragrafo che segue; inoltre la resistività più bassa del pilastro 2 rispetto al 4 potrebbe avere anche relazione con la presenza di umidità nello spessore murario, dovuta proprio a possibili perdite derivanti dal pluviale discendente, cosa che non risulta presente nel 4 secondo Lombardi Santucci.

Osservando inoltre il materiale estratto a 2,5m di profondità nelle quattro zone di prova (carotaggio e schiacciamento) denominate C1, C2, C3 e C4, tra le quali la C1 e la C2 mostrano il materiale estratto ancora umido a oltre 20 giorno dal giorno di estrazione (07-09-2022).

Tale evidenza emerge dall'Elaborato grafico 3D1_codice prove C di cui riportiamo un estratto riferito alla carota C1 e alla Carota C2, quest'ultima eseguita sul pilastro 2 di cui stiamo descrivendo i risultati della analisi di tomografia elettrica 3D.

Sia il C1 che il C2 sono citati da Lombardi e Santucci per la presenza di discendenti pluviali antichi riutilizzati.



Figura 4.3.1.7 Dettaglio interno alla struttura del pilastro 1, visibile grazie al carotaggio C1. Le zone indicate con la freccia sono ancora umide a distanza di 28 giorni dalla estrazione.



Figura 4.3.1.8 Dettaglio interno alla struttura del pilastro 2, visibile grazie al carotaggio C2. L'umidità è diffusa e la qualità dei caementa è variabile per tipo, dimensioni e geometria. Numerose sono le discontinuità tra malta e caementa, ben visibili sul campione estratto e poco nella videoendoscopia eseguita all'interno del foro.

Oltre alla presenza di umidità nei campioni C1 e C2 si sottolinea la presenza di aggregati e/o caementa molto irregolari, frammentati e senza una direzione principale di posa, da cui derivano anche le discontinuità nel riempimento di malta tra un caementa e l'altro. Questo particolare sembra possa essere anche influente sulla resistenza a compressione rilevata, dove il valore medio per il campione C1 è pari a 3,65 Mpa e per il campione C2 è di 3,37Mpa, quest'ultimo addirittura il più basso valore di resistenza a compressione tra tutti i punti di indagine.

Un caso completamente opposto sia per compattezza della carota che per assenza di umidità dopo 20 gg dalla estrazione del campione e per presenza di caementa più grandi, regolari e stratificati secondo una direzione principale, è quello della carota C3, di cui si riporta un estratto fotografico dallo stesso elaborato grafico.

Alla luce di questi risultati sarebbe stato interessante eseguire la tomografia elettrica anche su questo pilastro interno, per confrontare non solo le carte ma anche la variazione di resistività elettrica tra le due strutture molto diverse dal punto di vista emerso dal carotaggio. La resistenza a compressione media del campione C3 è di 12,291Mpa.

Si evidenzia infine che Lombardi e Santucci rilevano la presenza del discendente pluviale anche sul pilastro in cui è stato estratto in campione C3 e in data 19/09/2022 sono state rilevate gocce di acqua all'interno del foro, grazie all'uso della sonda videoendoscopica (vedi Elaborato grafico 3D2).



Figura 4.3.1.8 Dettaglio della carota C3, asciutta e compatta, senza vuoti, con caementa stratificati in modo regolare secondo una direzione prevalente.

4.3.2 Pilastro 4- Codice prova 3Dp4

Nella Figura 4.3.2.1 è rappresentato il volume totale di resistività derivante dalla elaborazione integrata di tutte le acquisizioni fatte sul pilastro 4. Anche in questo caso sono stati estratti sia piani che sezioni verticali nelle due direzioni, X e Y.

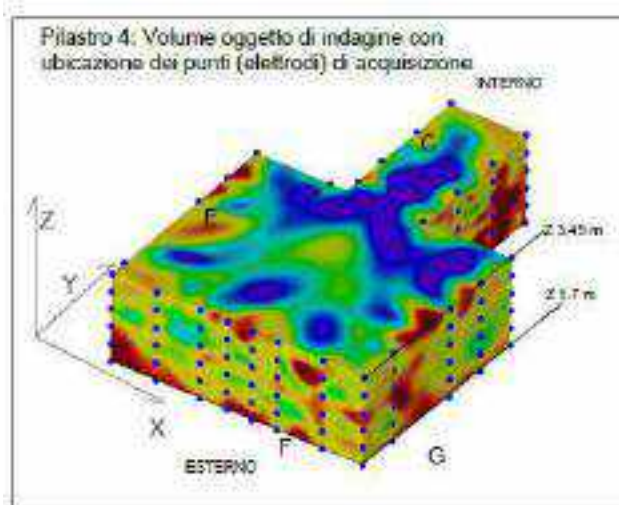


Figura 4.3.2.1 Volume elaborato del Pilastro 4.

Dallo studio delle sezioni orizzontali alle diverse altezze da terra (0.0 interno alle aule) si osserva un andamento caratterizzato da valori mediamente alto resistivi fino a quota 2,9 m, che poi si abbassano nelle sezioni più alte, fino a 3,45 m da terra. Una variazione più marcata (600-4000 Ohm*m) dal precedente pilastro perché di fondo la resistività del primo strato (fino a 2,9m) è diffusamente più elevata.

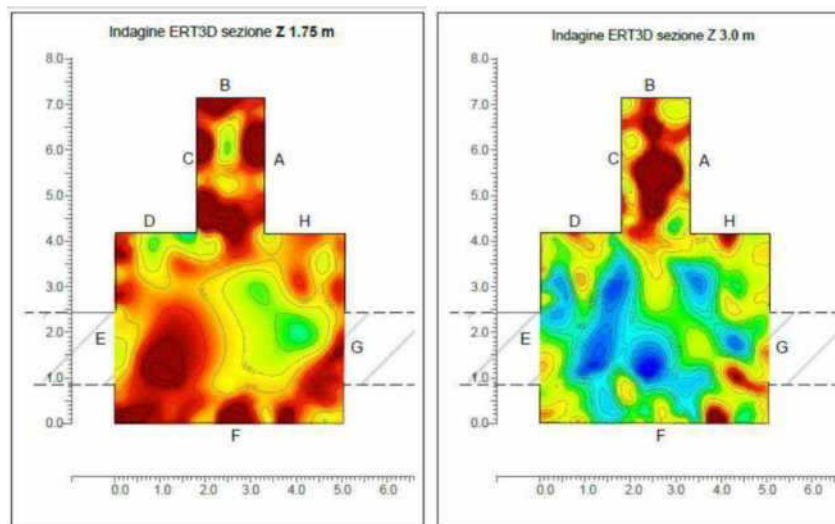


Figura 4.3.2.2 Sezioni verticali e relative anomalie.

Grazie alle sezioni verticali, sia per X che per Y, la variazione osservata sui piani secondo l'asse Z, risulta ancora più evidente con una stratificazione/alternanza dei valori di resistività, frutto probabilmente della tecnica costruttiva romana (vedi Paragrafo 2.1) in cui venivano messi in opera livelli successivi di malta nei quali si immergevano diversi aggregati (caementa).

In sintesi è possibile che in funzione della percentuale della malta rispetto alla tipologia e alla densità dei caementa usati si possono osservare variazioni ad andamento stratigrafico suborizzontale nella risposta elettrica della muratura.

Tale andamento è ben visibile nelle figure seguenti Fig 4.3.2.3 e Fig 4.3.2.4, tratte dalle tavole 4 e 5 dell'Elaborato grafico 3C, per tutte porzioni che compongono il pilastro 4 da noi analizzato.

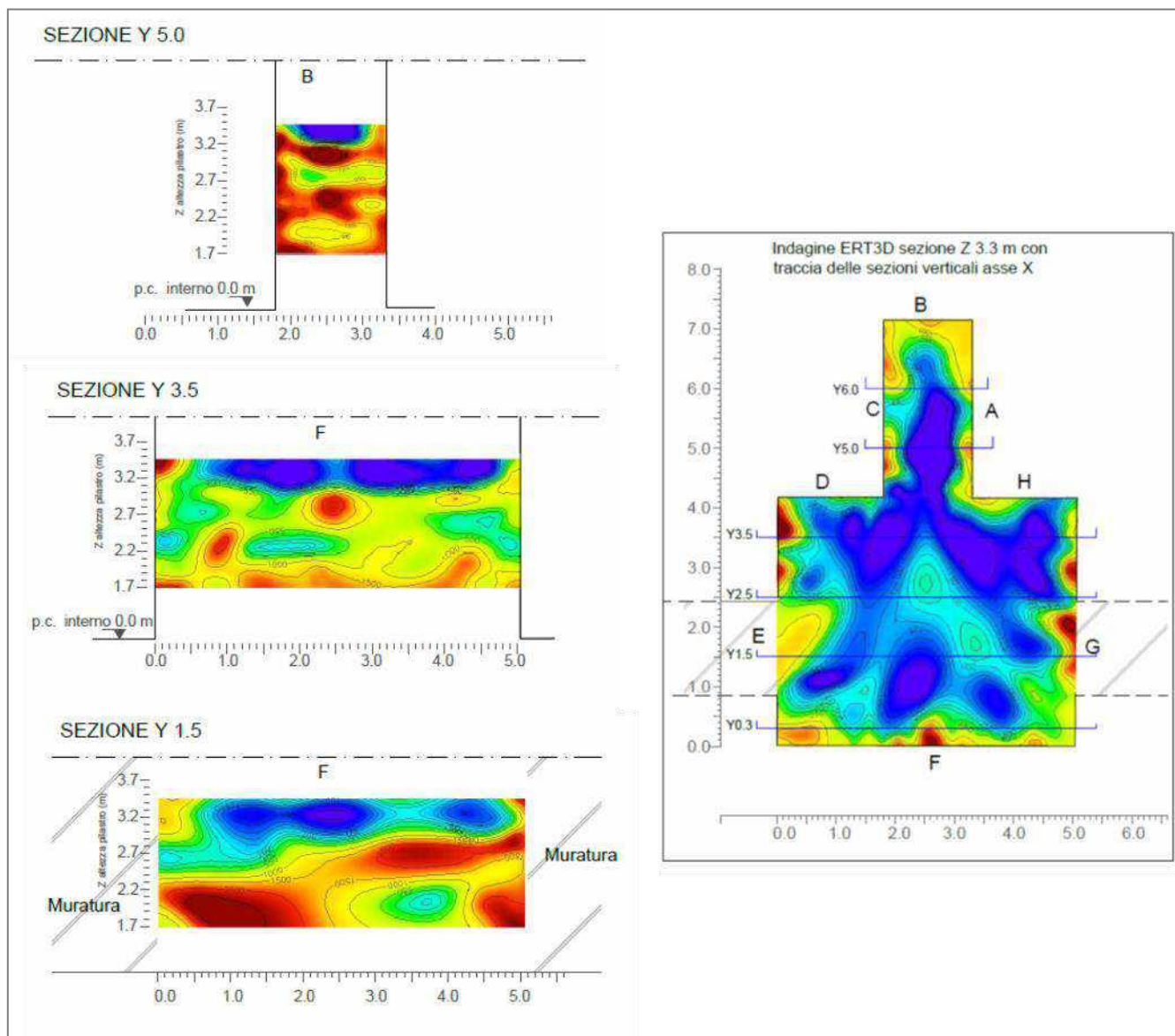


Figura 4.3.2.3 Sezioni verticali secondo Y e relative variazioni di carattere stratigrafico

I valori alto resistivi che si osservano nella porzione al di sotto dei 2,95 m di altezza potrebbero essere messi in relazione all'uso di caementa di natura lapidea come clasti di calcare, travertino o lava che di per sé presentano caratteristiche alto resistive, maggiori della sola malta costituente il cemento romano (secondo le misure di laboratorio eseguite su diversi campioni, di cui abbiamo accennato in precedenza, la cui variazione si attesta tra 300 e 600 Ohm*m). Tale fatto potrebbe essere ben correlato (Paragrafo 2.1) alla tecnica costruttiva romana in cui si possono trovare differenti tipi caementa a seconda se la porzione di muratura si trova in basso od in alto della struttura.

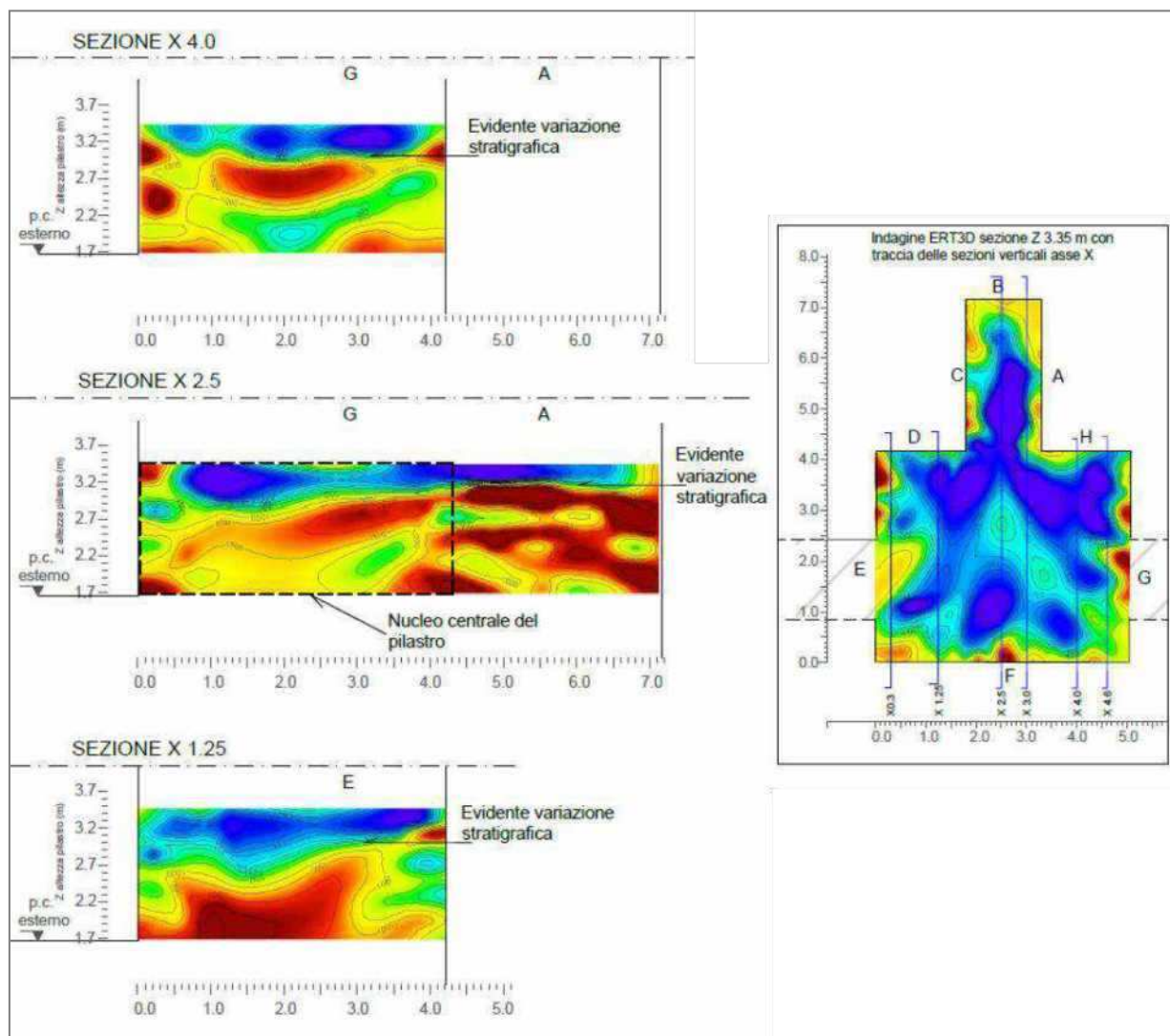


Figura 4.3.2.4 Sezioni verticali secondo X e relative variazioni di carattere stratigrafico

Anche per il Pilastro 4 la tomografia elettrica evidenzia il nucleo centrale del pilastro rispetto alla muratura laterale. La figura 4.3.2.5 riporta infatti la successione dei piani da 1.75m a 3.35m con la sovrapposizione di un poligono a tratteggio nero che ne facilita la lettura. Le ammorsature sono comunque buone vista la continuità laterale dei valori nelle zone d'angolo.

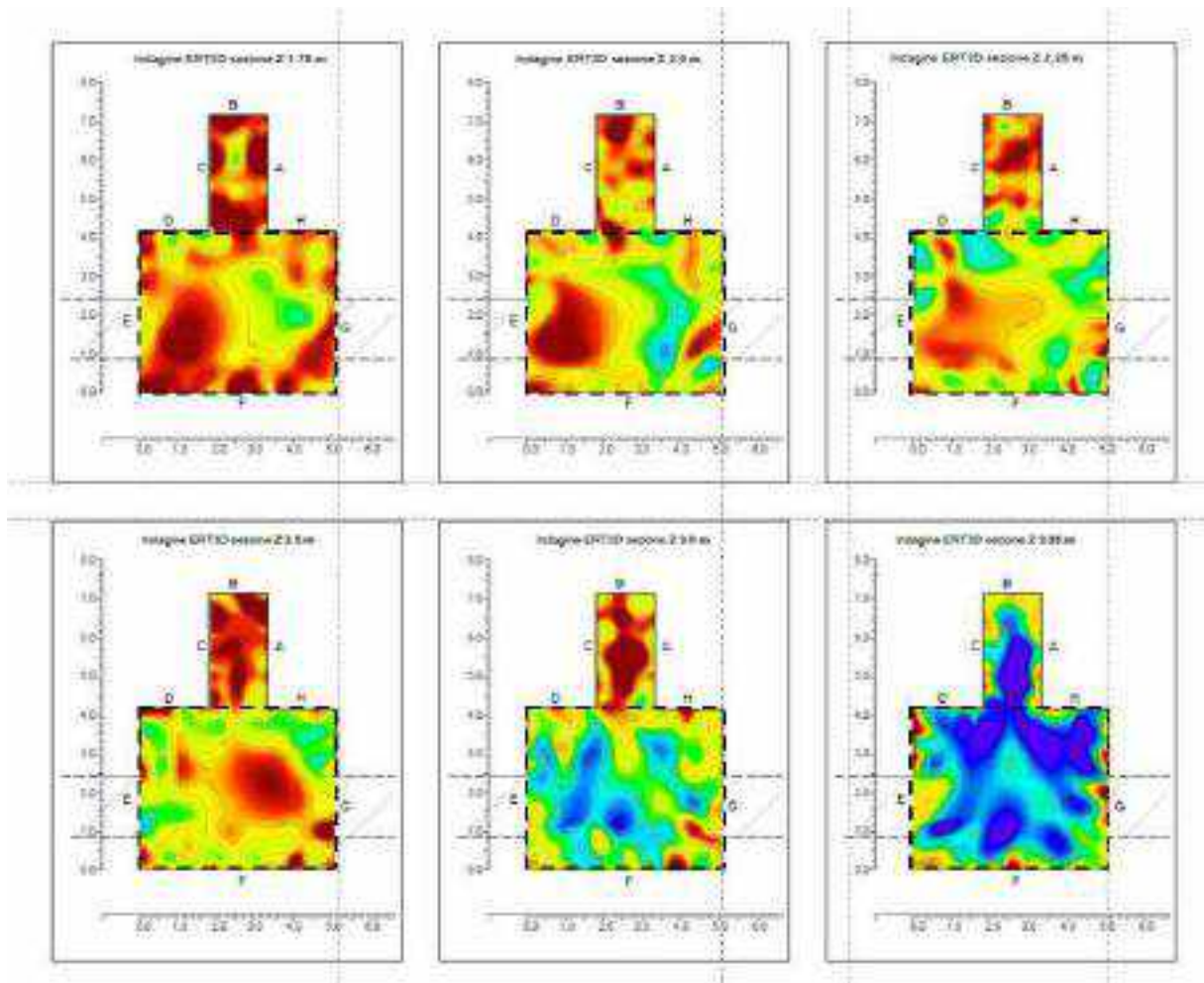


Figura 4.3.2.5 Sezioni orizzontali secondo l'asse Z con delimitazione in tratteggio nero del nucleo principale del pilastro

5. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati ottenuti dalle diverse tecniche applicate per lo studio delle murature dei pilastri, si può affermare che lo stato di conservazione del paramento esterno, compresi i vari livelli e le varie fasi dei rifacimenti e dei restauri, non hanno correlazione con lo stato e la caratterizzazione degli strati più interni e originali dell'opus caementicium dei pilastri.

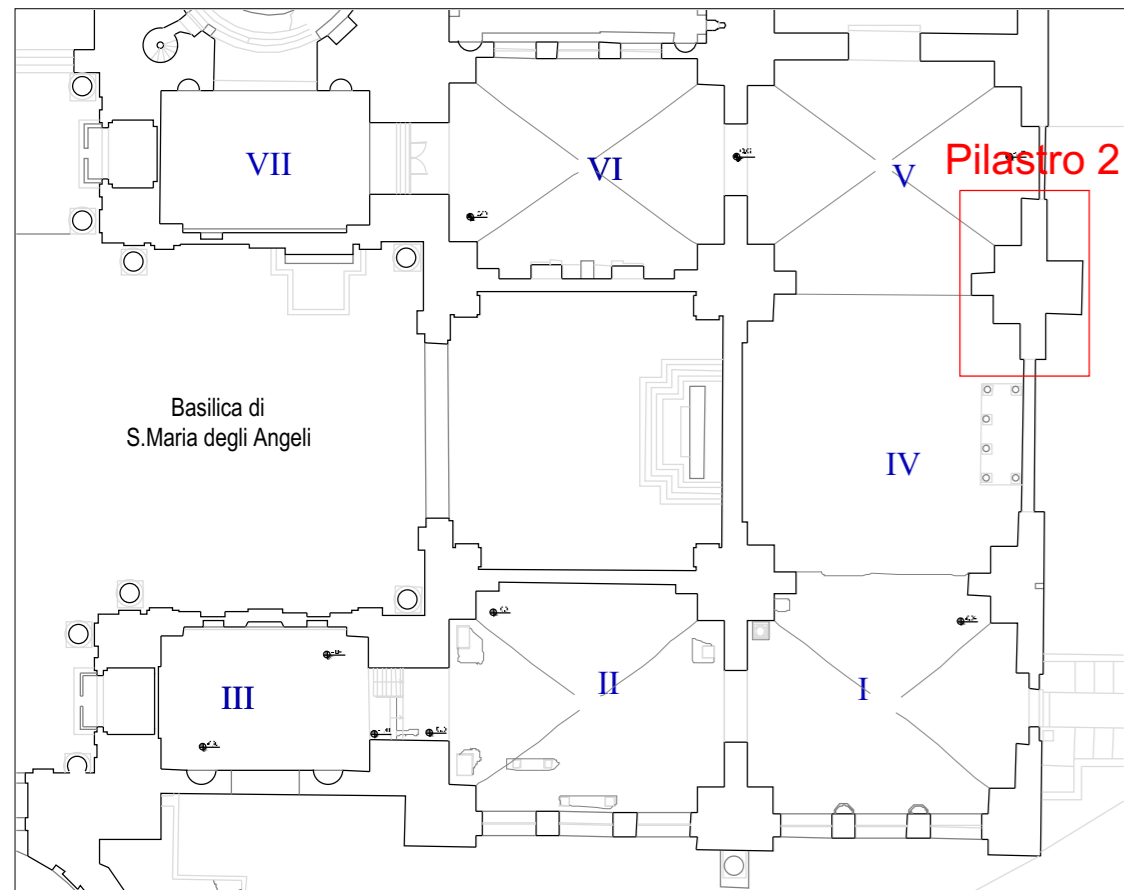
La sovrapposizione dei risultati derivanti dalle tre tecniche ha evidenziato la natura stratificata della struttura dei pilastri, frutto probabilmente della tecnica costruttiva romana (vedi Paragrafo 2.1) in cui venivano messi in opera livelli successivi di malta, sui quali si immergevano gli inerti (caementa) di varia natura lapidea e di laterizio.

In generale per ogni tecnica il risultato dimostra una variazione o una alternanza stratigrafica orizzontale, coerente con la tecnica costruttiva romana.

Nel Pilastro 2 sono state inoltre identificate anomalie resistive da ricondurre possibilmente alla presenza di pluviali discendenti immersi nella muratura che probabilmente ne determinano lo stato di conservazione nel suo complesso. Le due zone che potrebbero coincidere a due cavità verticali che attraversano il pilastro costituiscono due punti deboli nelle zone di ammorsatura con la muratura laterale. Anche se non fossero entrambi discendenti si tratterebbe comunque di discontinuità nella zona di ammorsatura. Inoltre è stata rilevata una variazione di fondo dei valori di resistività elettrica tra il pilastro 2 e il pilastro 4, entrambi analizzati con la tomografia elettrica ma solo il 2 interessato dal carotaggio e dalla presenza del discendente pluviale. Il P2 ha valori mediamente più bassi rispetto al pilastro P4. Questa differenza potrebbe dipendere dallo stato di conservazione diverso tra i due, dove di certo il C2 risulta umido all'interno, come visto dalla carota oltre che dai dati di resistività. In qualche modo quindi la presenza del discendente potrebbe facilitare la presenza di umidità al suo interno e rendere il cemento romano meno resistente.

Lo stesso pilastro 2, dal punto di vista meccanico infatti (carota C2) ha fornito esiti di prova peggiori rispetto a tutti gli altri punti di prova.

Indagine Georadar su pilastro 2_ Codice prova G2

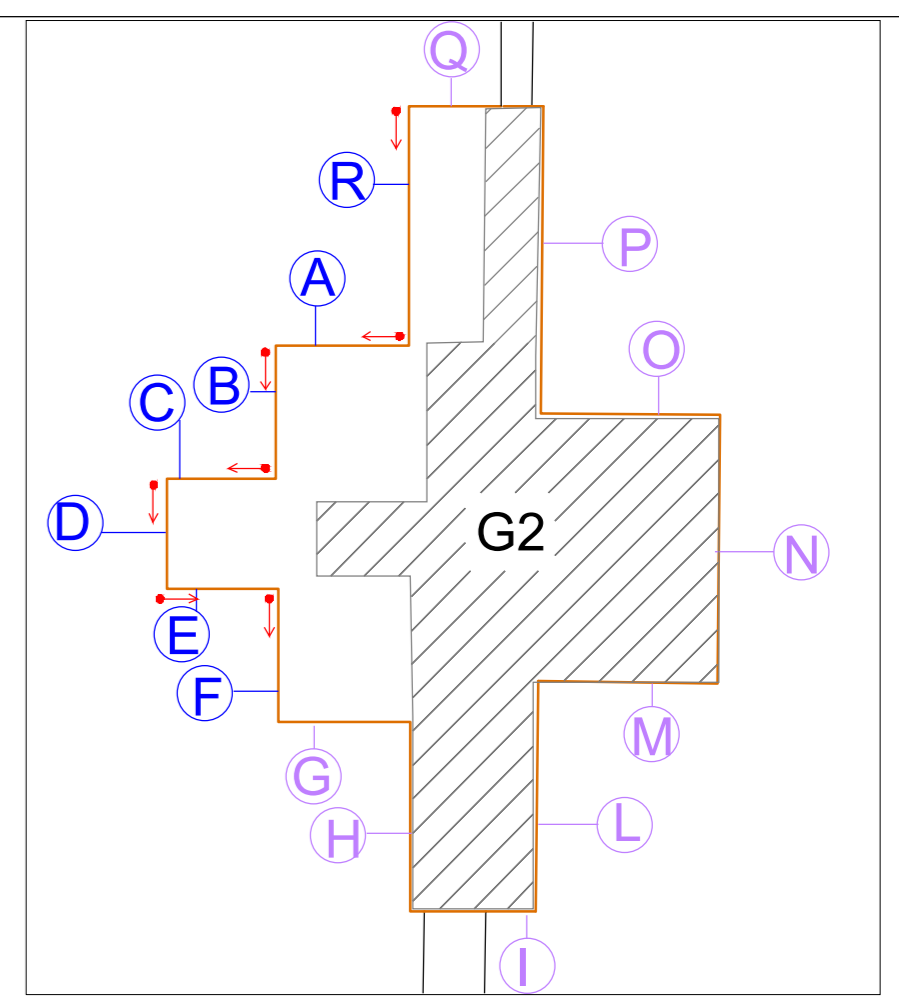


Planimetria e ubicazione dei pilastri oggetti di indagine (1/500)

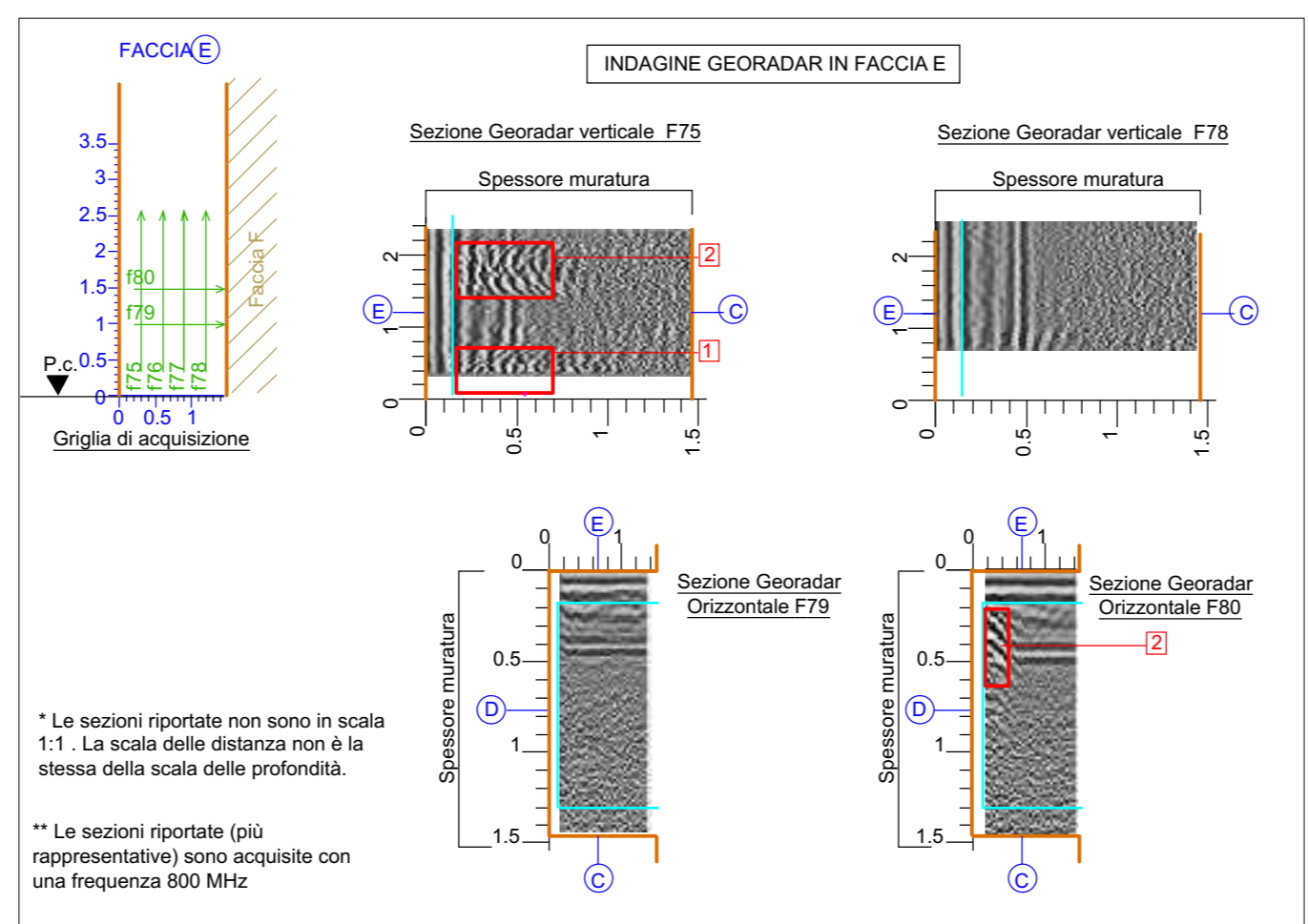
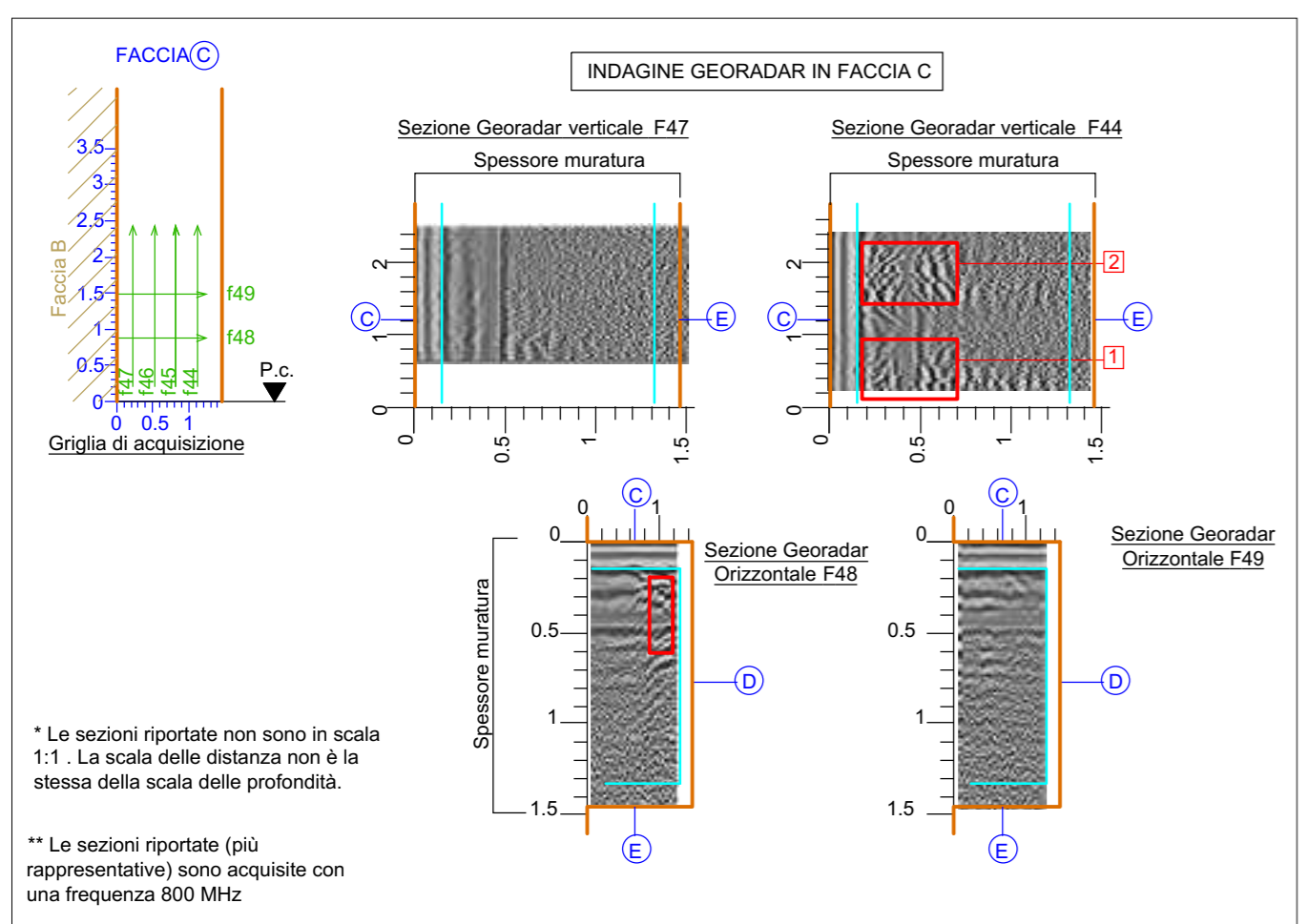
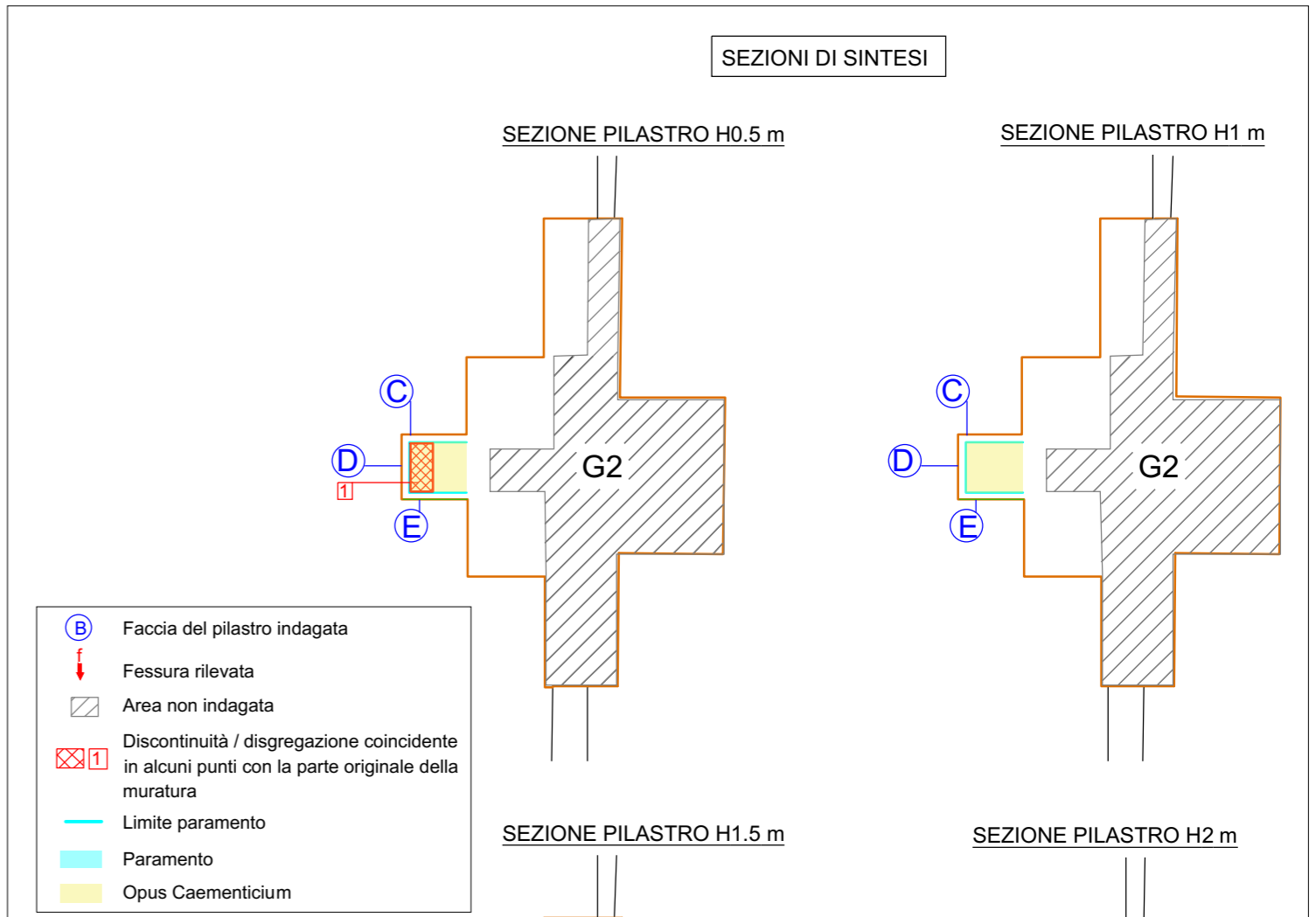
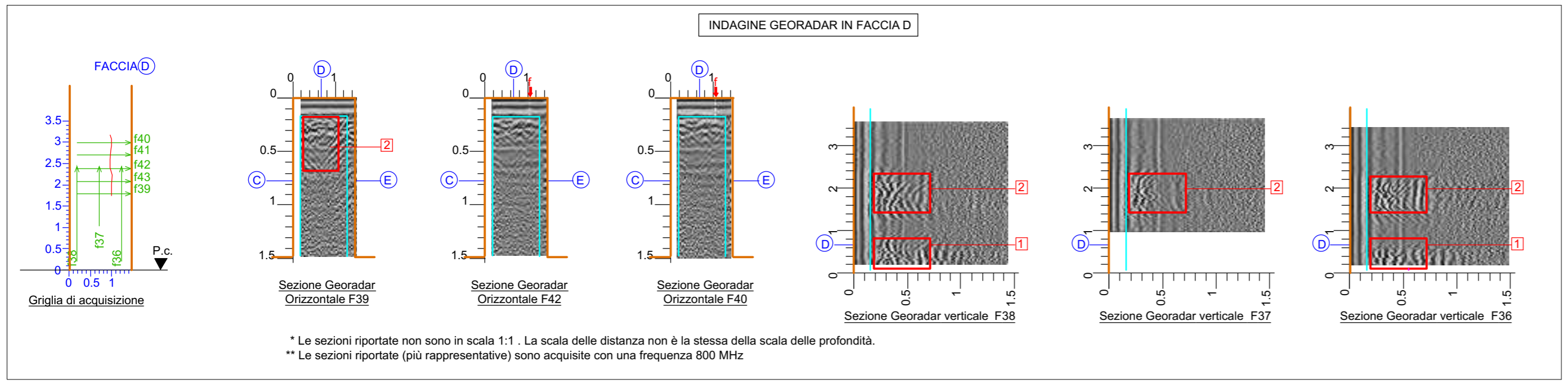


- B Faccia del pilastro indagata
- ↓ Fessura rilevata
- 1 Discontinuità / disgregazione individuata
- Limite paramento

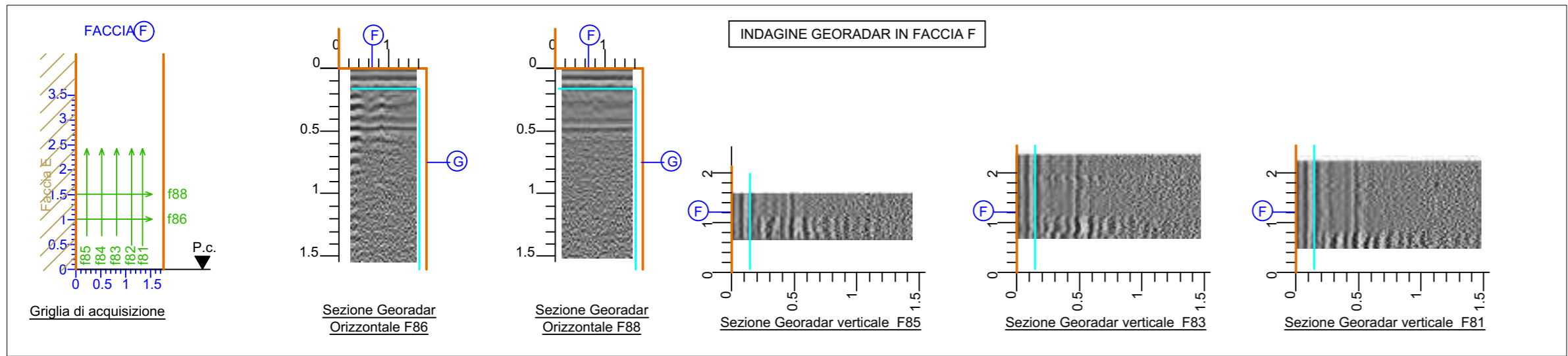
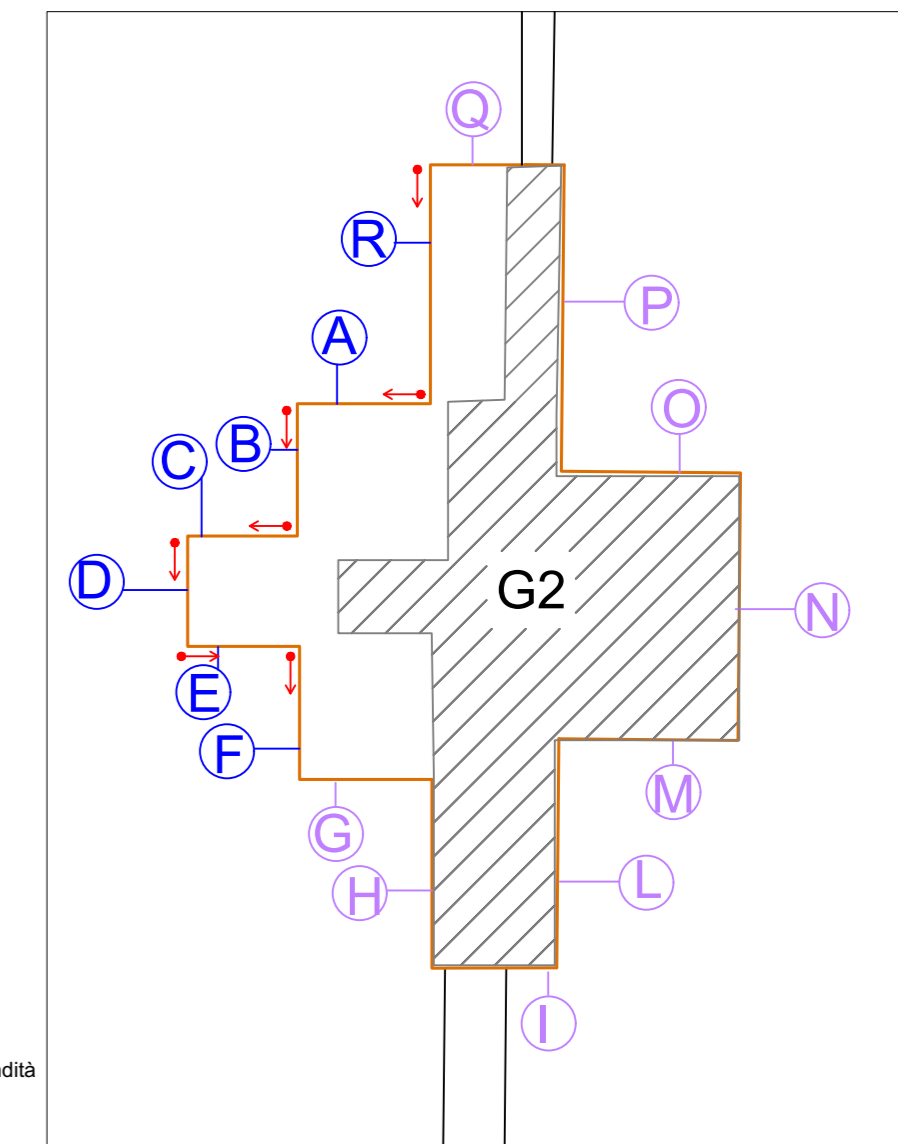
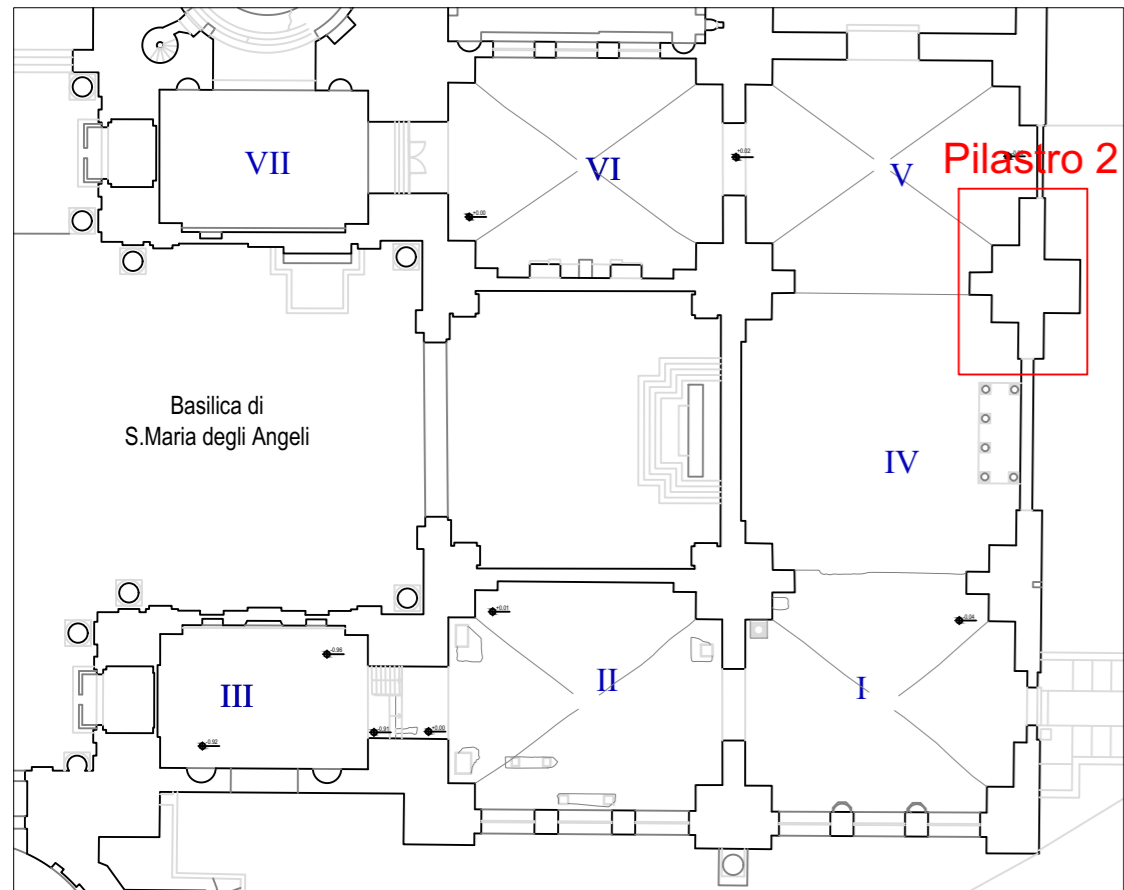
- B Faccia del pilastro indagata
- D Faccia del pilastro non indagata
- Area non indagata
- Origine della griglia e direzione di acquisizione



Ubicazione delle varie facce di indagine del pilastro 2 (1/100)



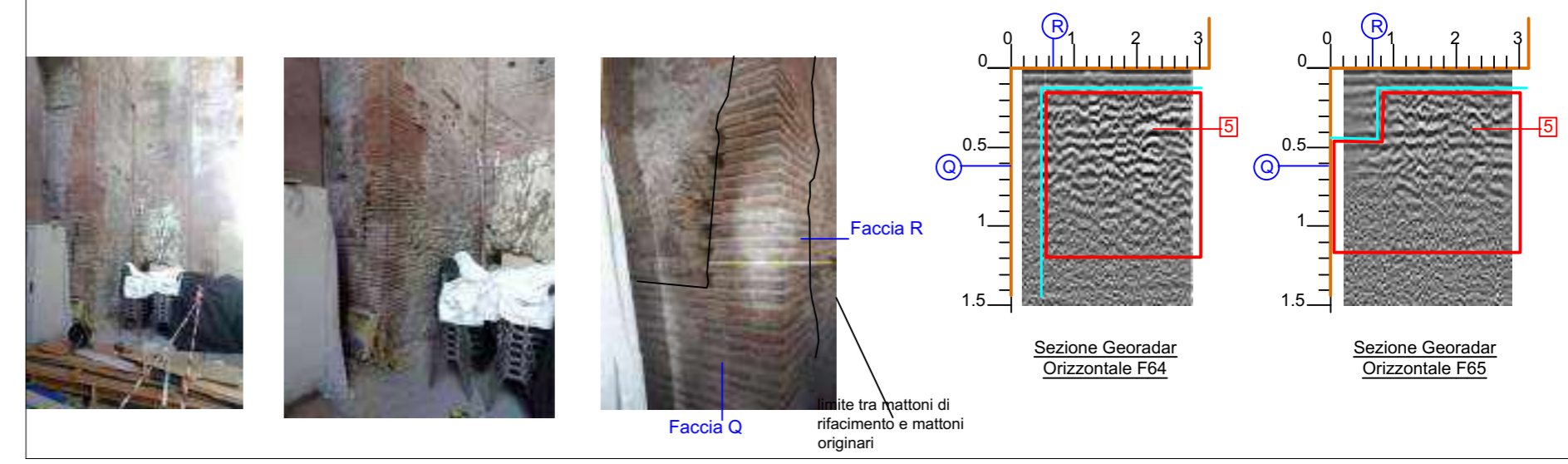
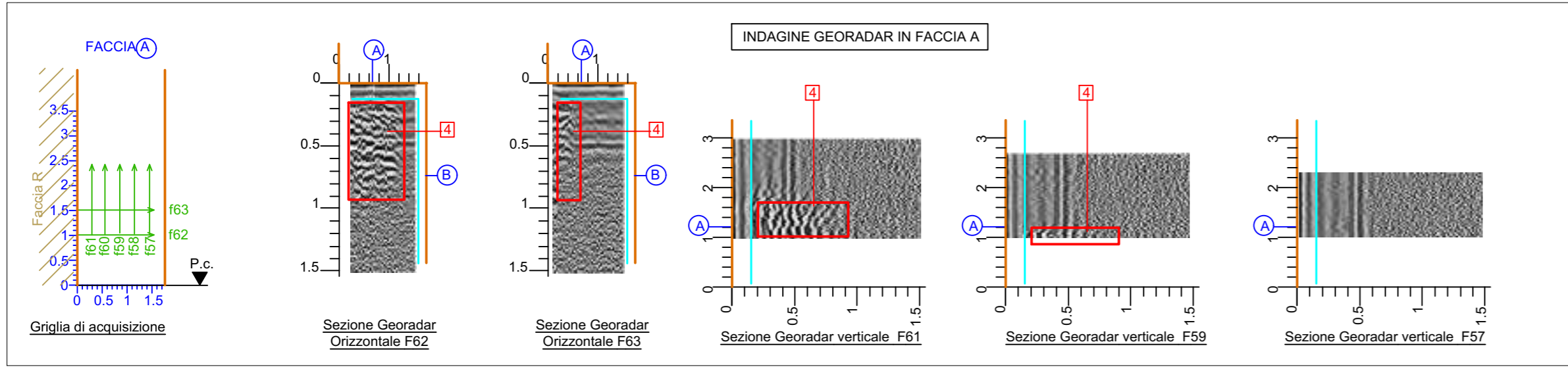
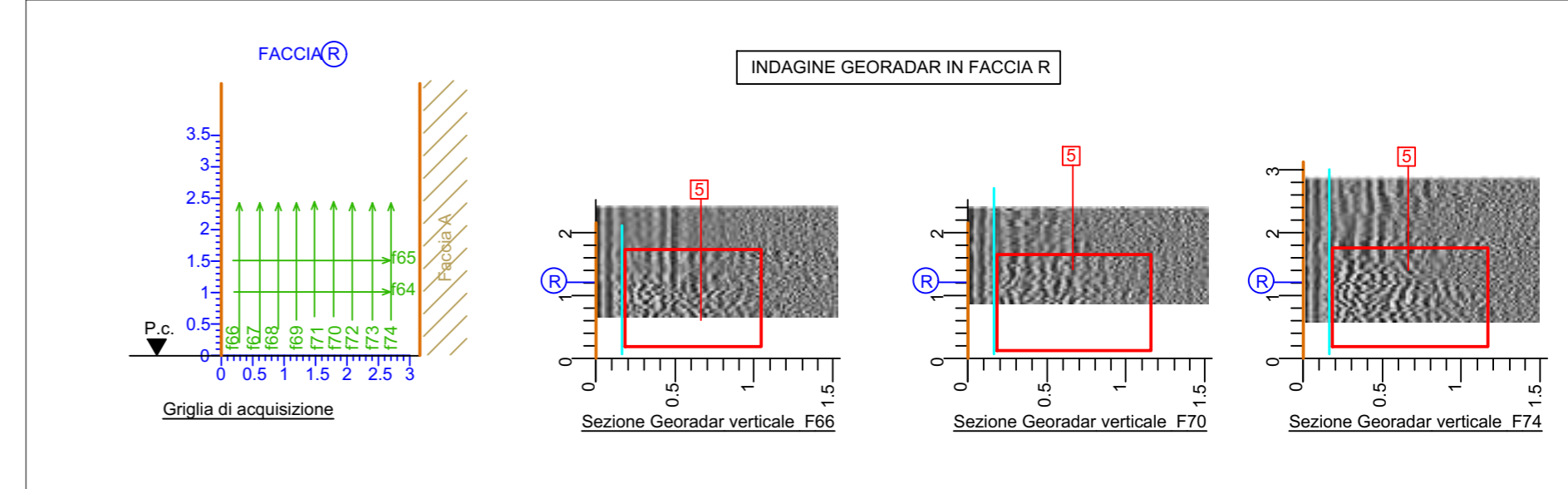
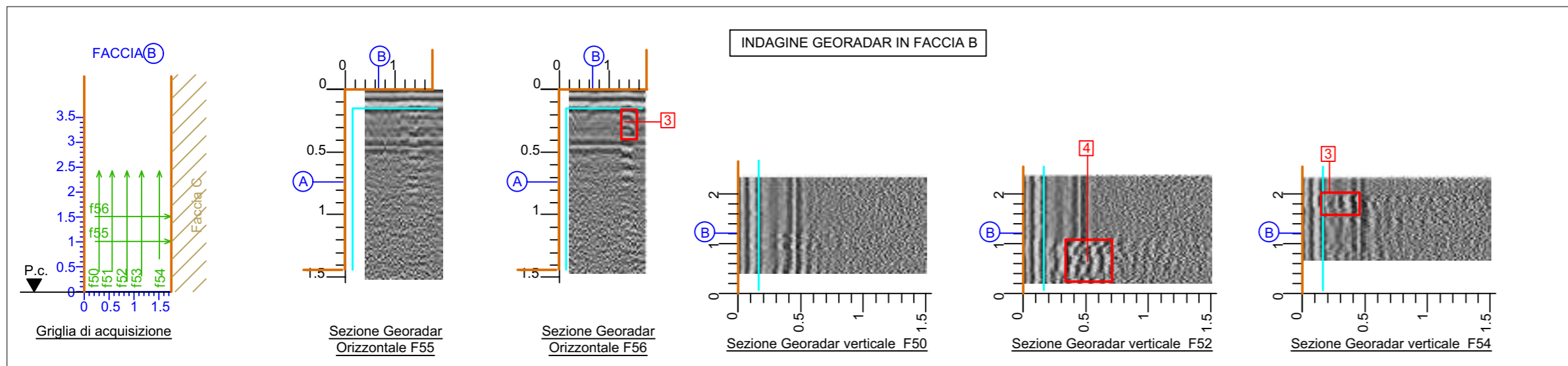
Indagine Georadar su pilastro 2_ Codice prova G2



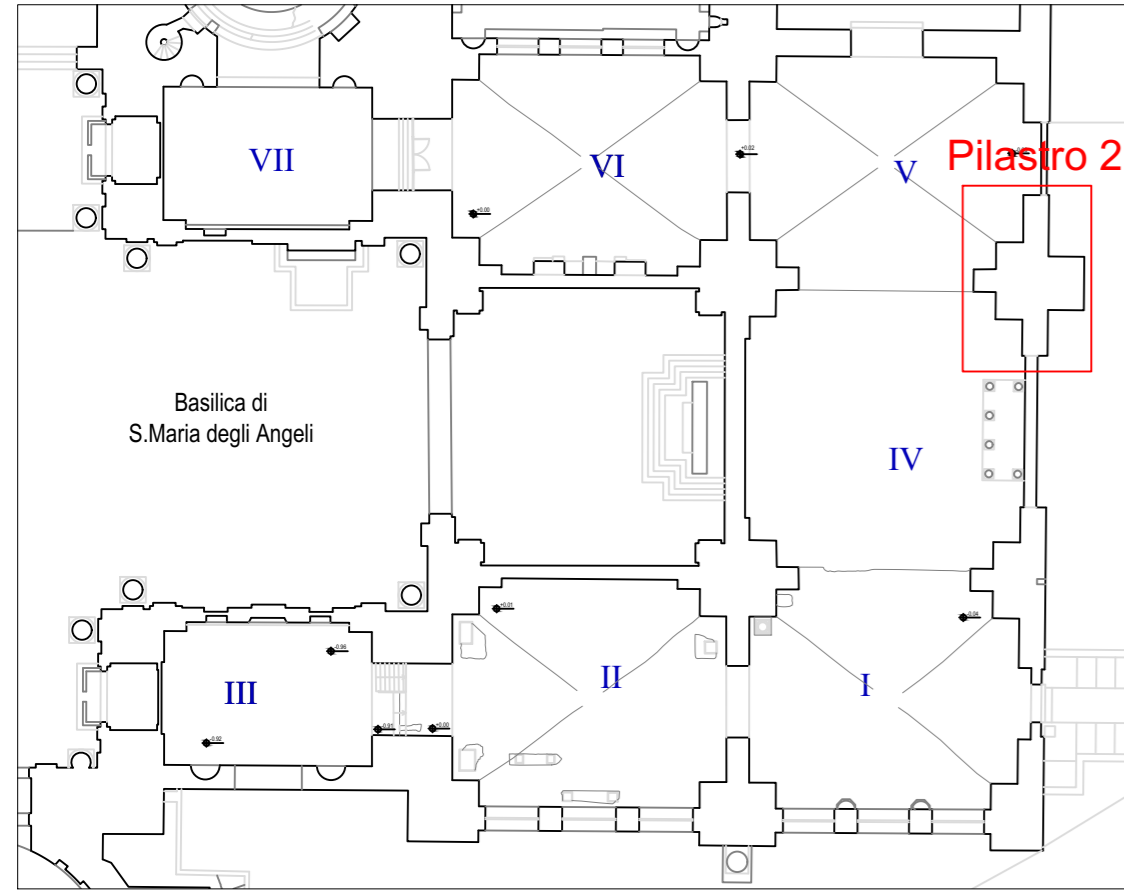
* Le sezioni riportate non sono in scala 1:1. La scala delle distanze non è la stessa della scala delle profondità
 ** Le sezioni riportate (più rappresentative) sono acquisite con una frequenza 800 MHz

- B Faccia del pilastro indagata
- ↓ Fessura rilevata
- I Discontinuità / disgregazione individuata
- Limite paramento

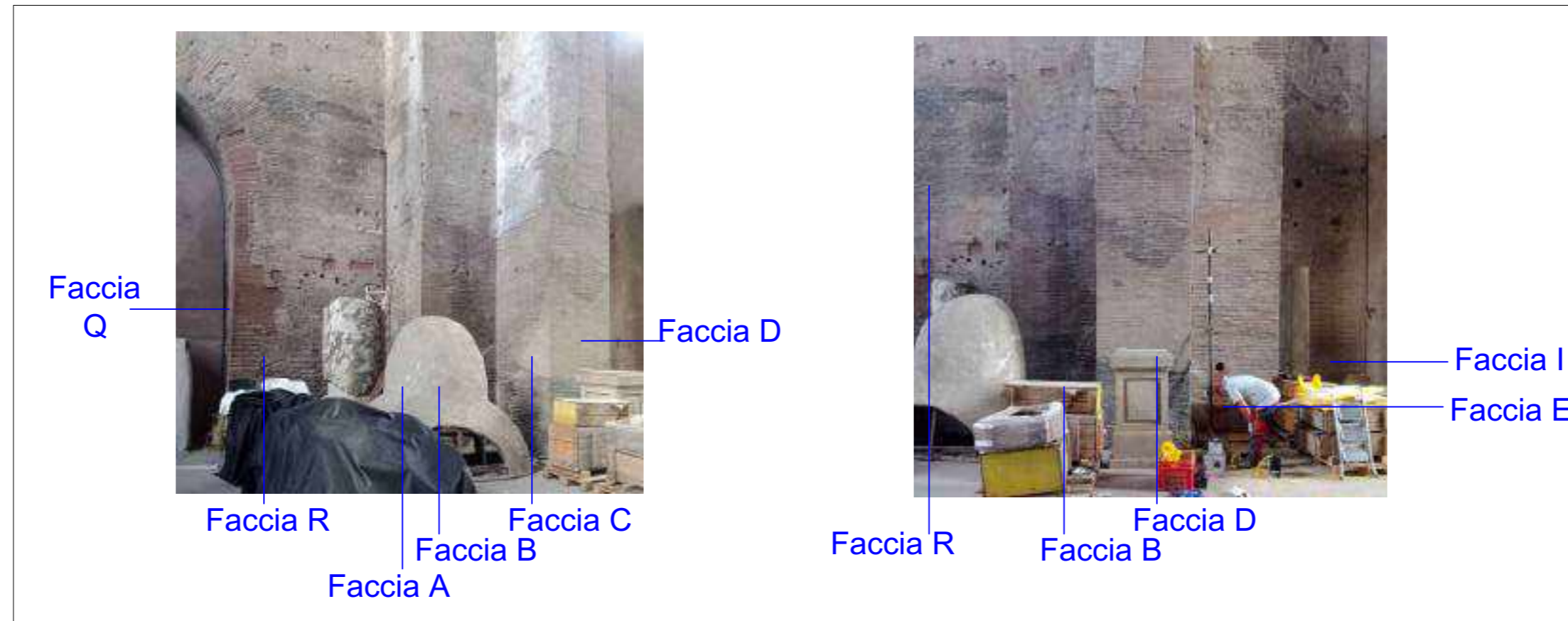
- B Faccia del pilastro indagata
- D Faccia del pilastro non indagata
- Area non indagata
- Origine della griglia e direzione di acquisizione



Indagine Georadar su pilastro 2_ Codice prova G2



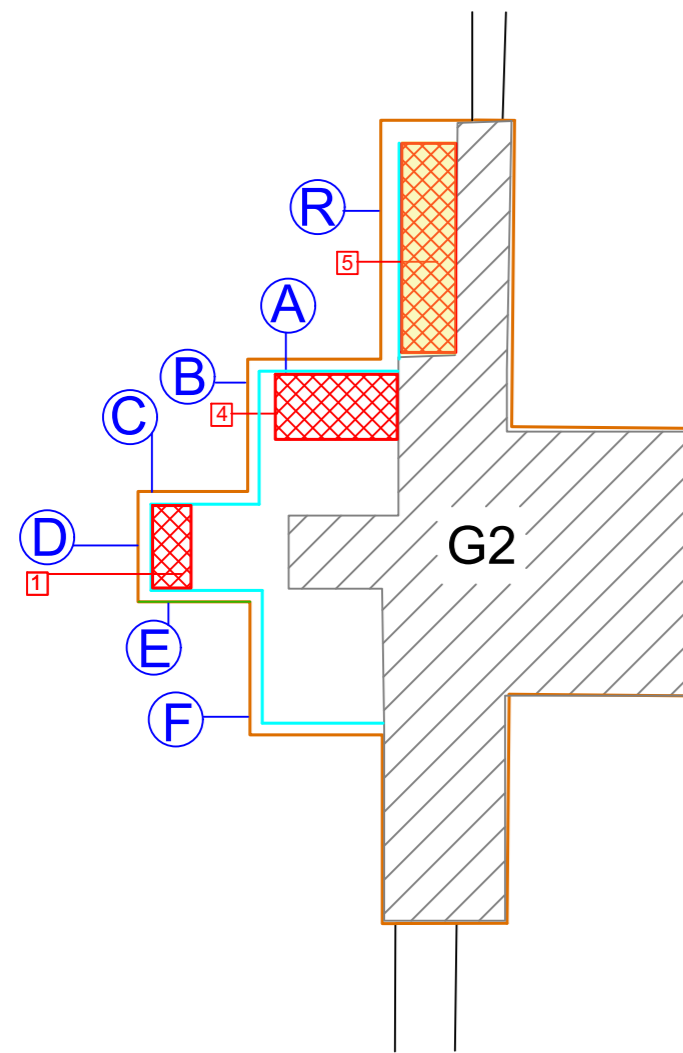
Planimetria e ubicazione dei pilastri oggetti di indagine (1/500)



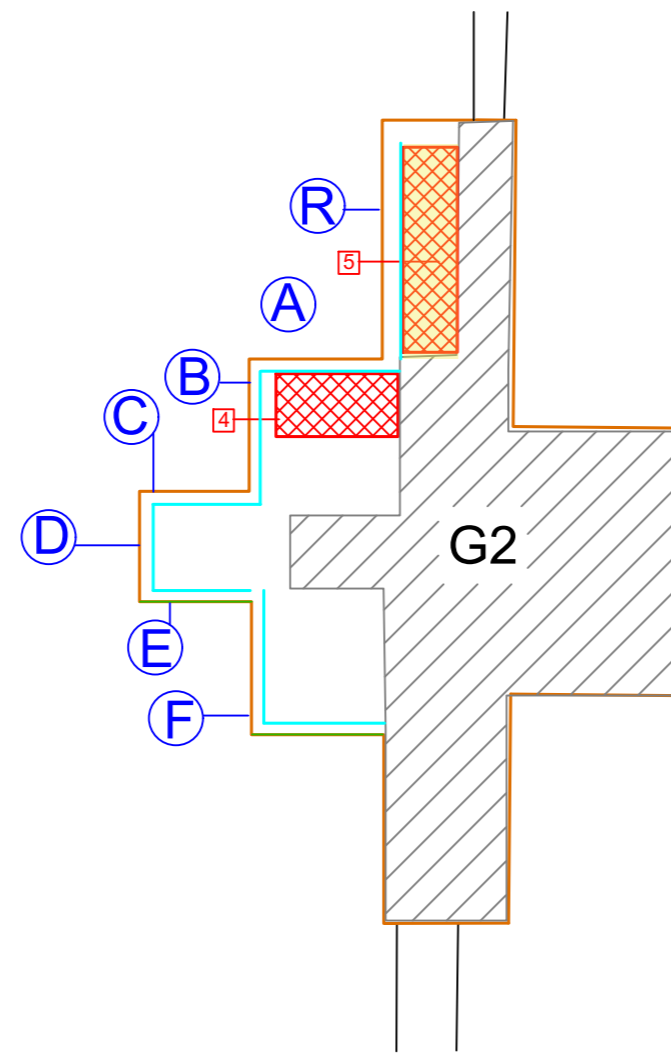
- B Faccia del pilastro indagata
- ↓ Fessura rilevata
- Area non indagata
- Discontinuità / disgregazione coincidente in alcuni punti con la parte originale della muratura
- Limite paramento
- Paramento
- Opus Caementicium

SEZIONI DI SINTESI

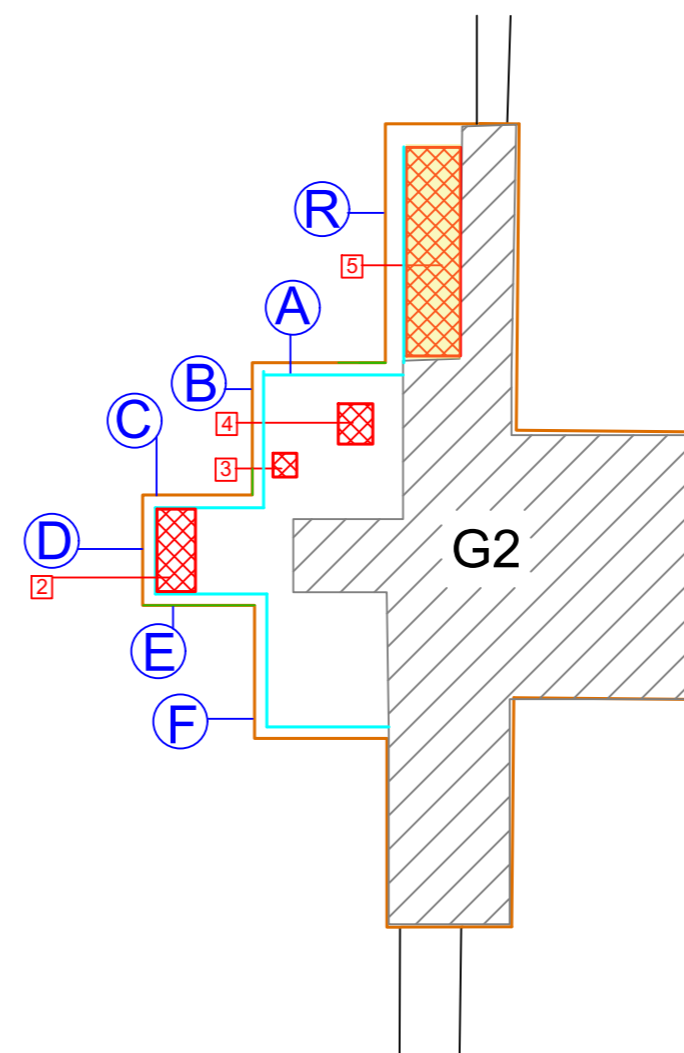
SEZIONE PILASTRO H0.5 m



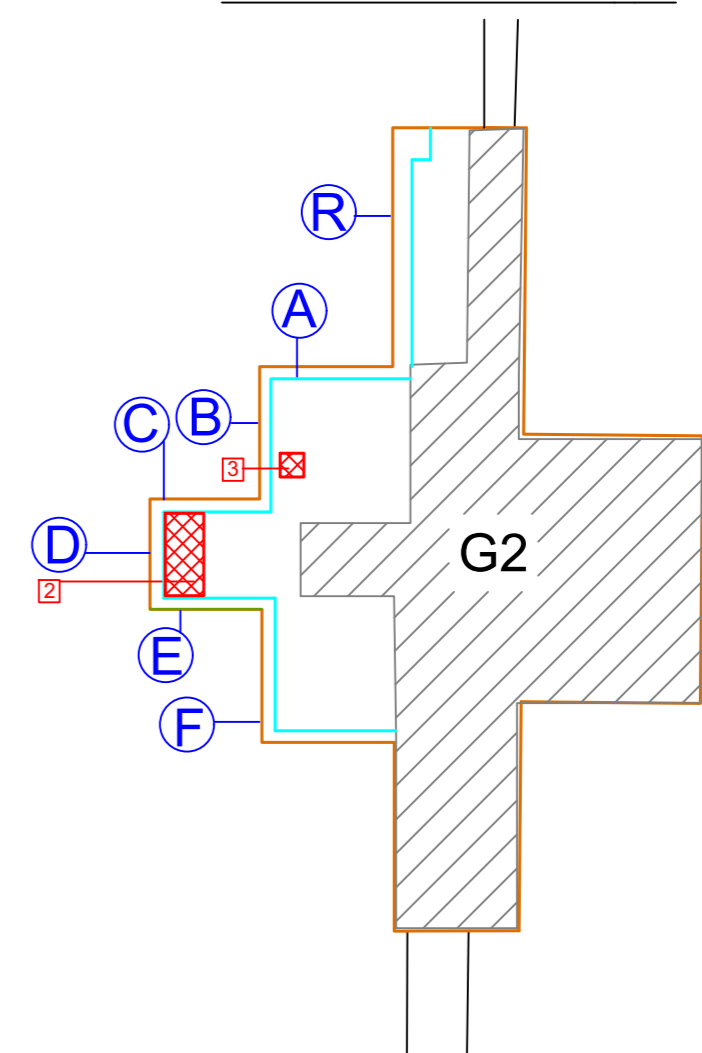
SEZIONE PILASTRO H1 m



SEZIONE PILASTRO H1.5 m



SEZIONE PILASTRO H2 m



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO

Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO

Indagine Georadar su pilastro 2_Codice prova G2

ELABORAZIONE Agathe Crespin
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

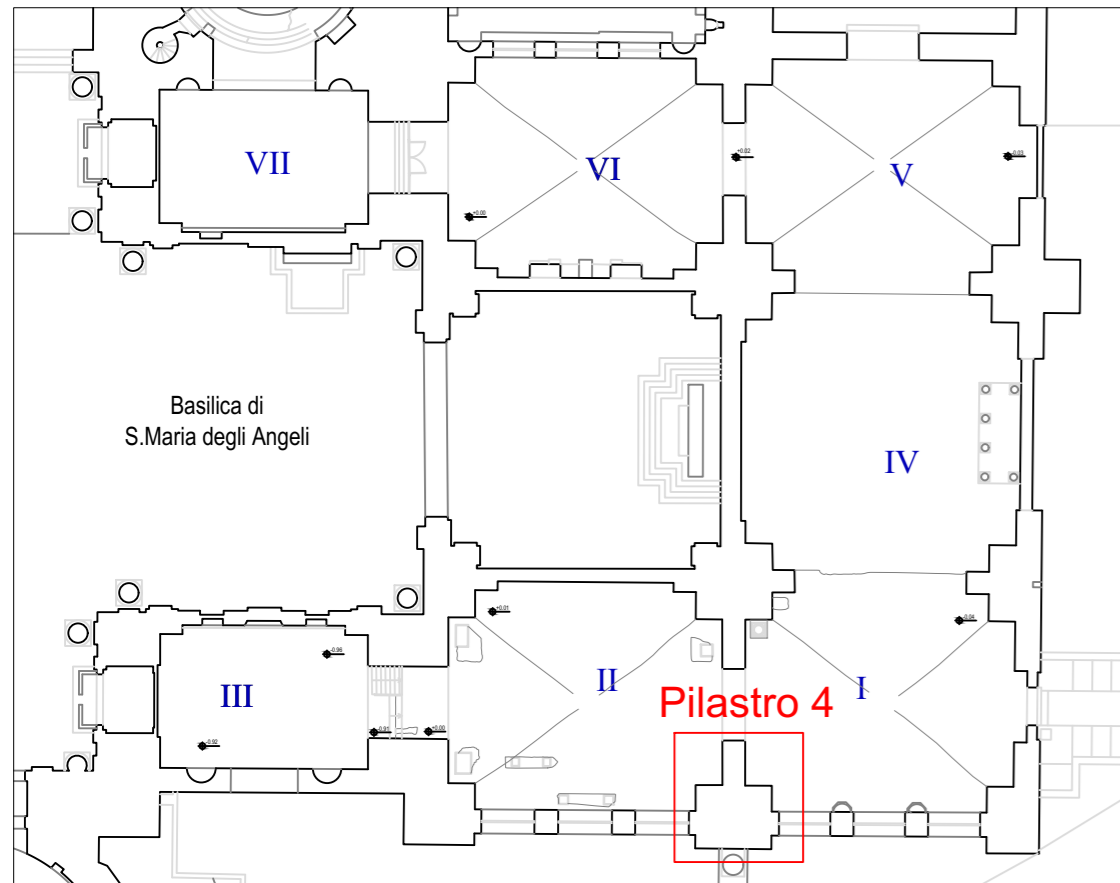
DATA CONSEGNA
Settembre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

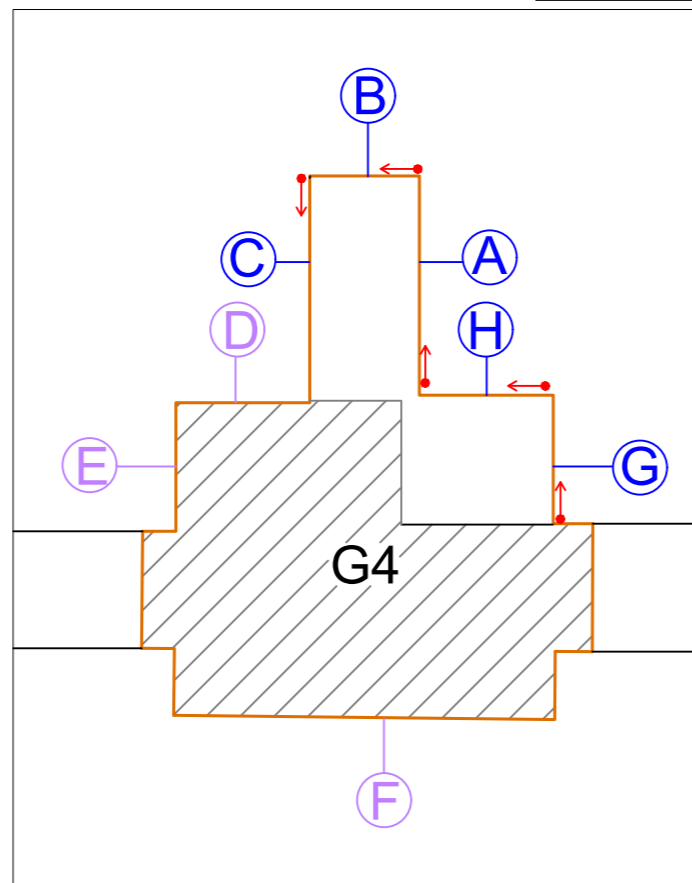
TAVOLA

3

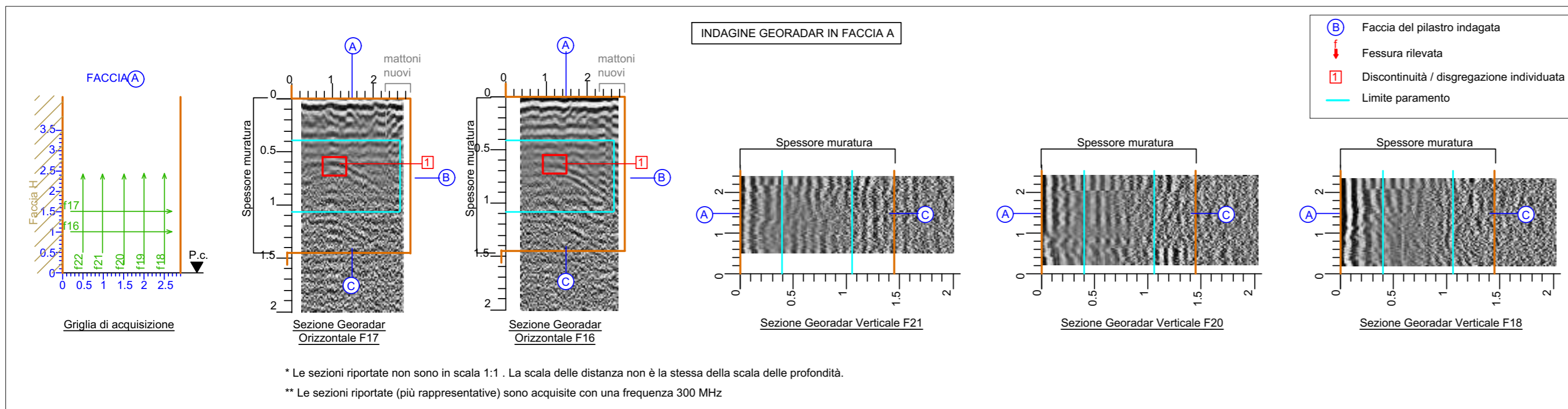
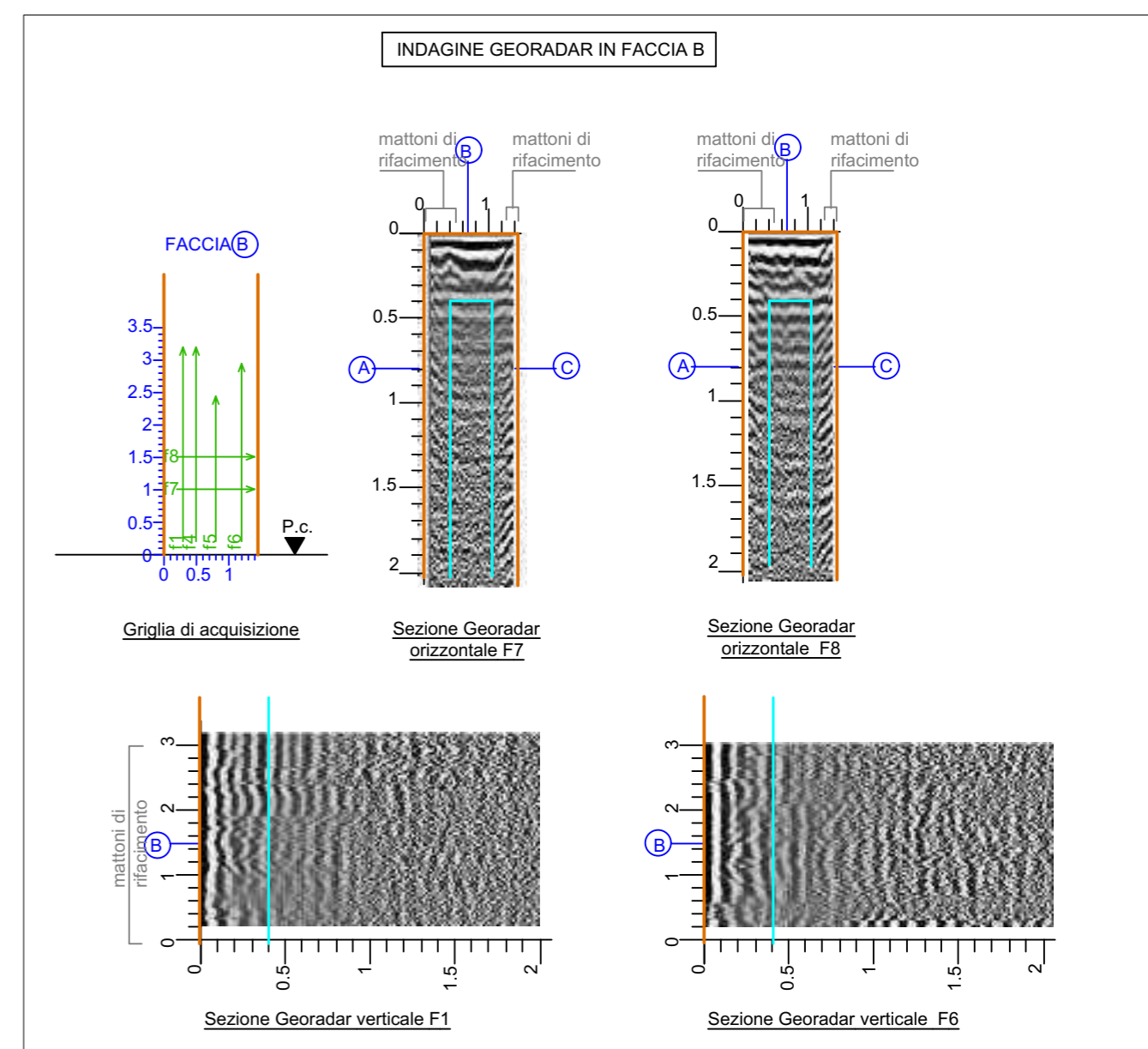
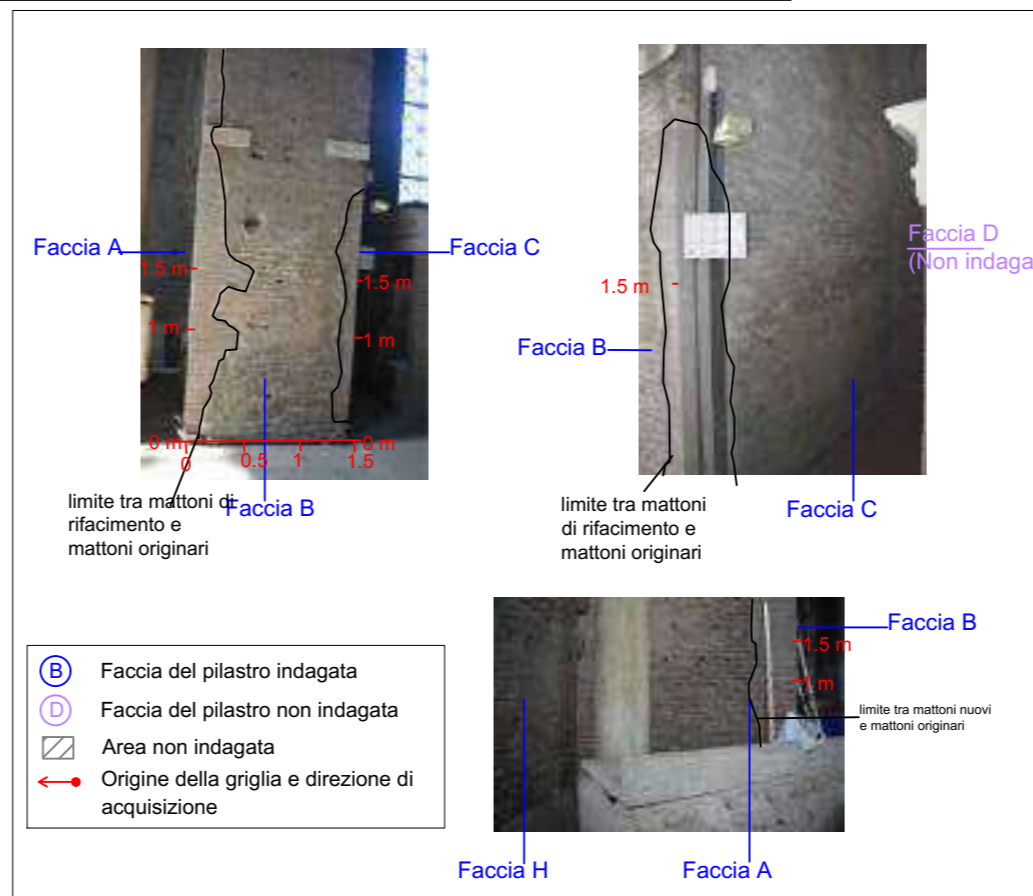
Indagine Georadar su pilastro 4_Codice Prova G4



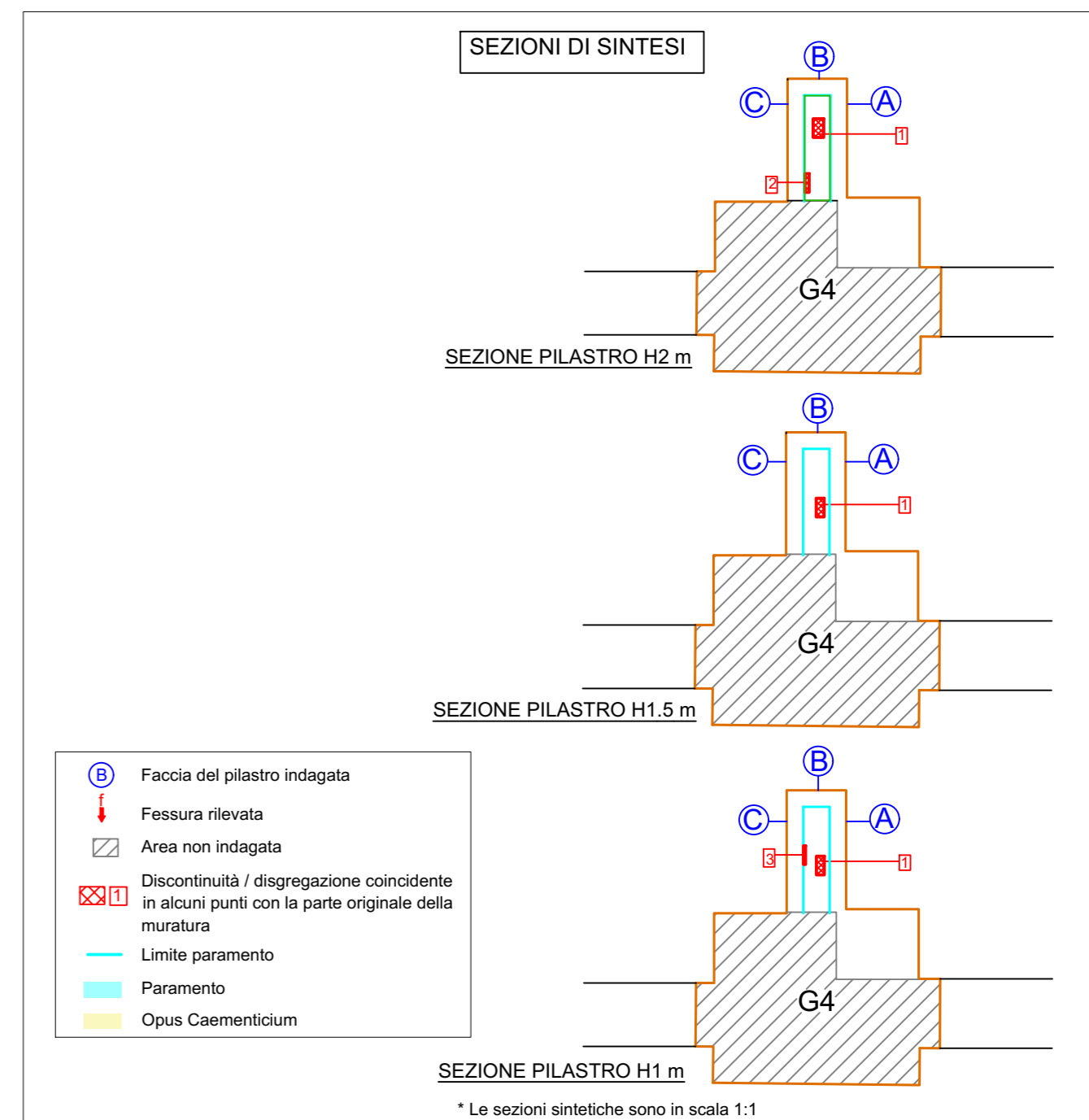
Planimetria e ubicazione dei pilastri oggetti di indagine (1/500)



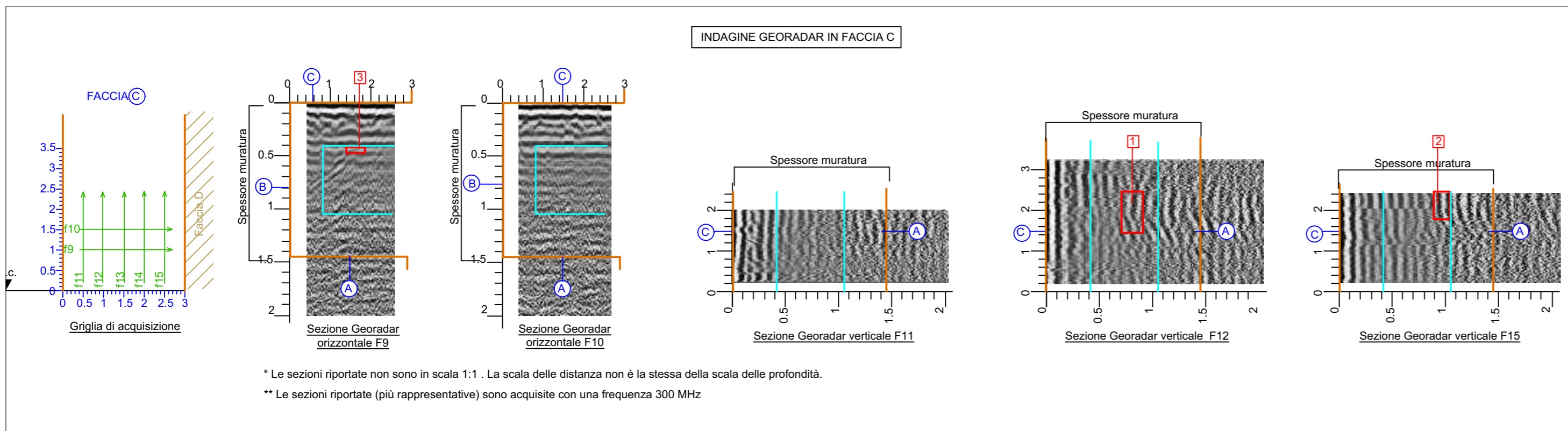
Ubicazione delle varie facce di indagine del pilastro 4 (1/100)



* Le sezioni riportate non sono in scala 1:1. La scala delle distanze non è la stessa della scala delle profondità.
 ** Le sezioni riportate (più rappresentative) sono acquisite con una frequenza 300 MHz



* Le sezioni sintetiche sono in scala 1:1



* Le sezioni riportate non sono in scala 1:1. La scala delle distanze non è la stessa della scala delle profondità.
 ** Le sezioni riportate (più rappresentative) sono acquisite con una frequenza 300 MHz



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
 Ministero della Cultura
 Museo Nazionale Romano in Roma
 Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO
 Servizio di diagnostica strumentale
 Campagna di indagini, prove e rilievi
 CIG 9374109F73
 CUP F89D21000020001

OGGETTO
 Indagine Georadar su pilastro 4_Codice prova G4

ELABORAZIONE Agathe Crespin
 VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
 APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

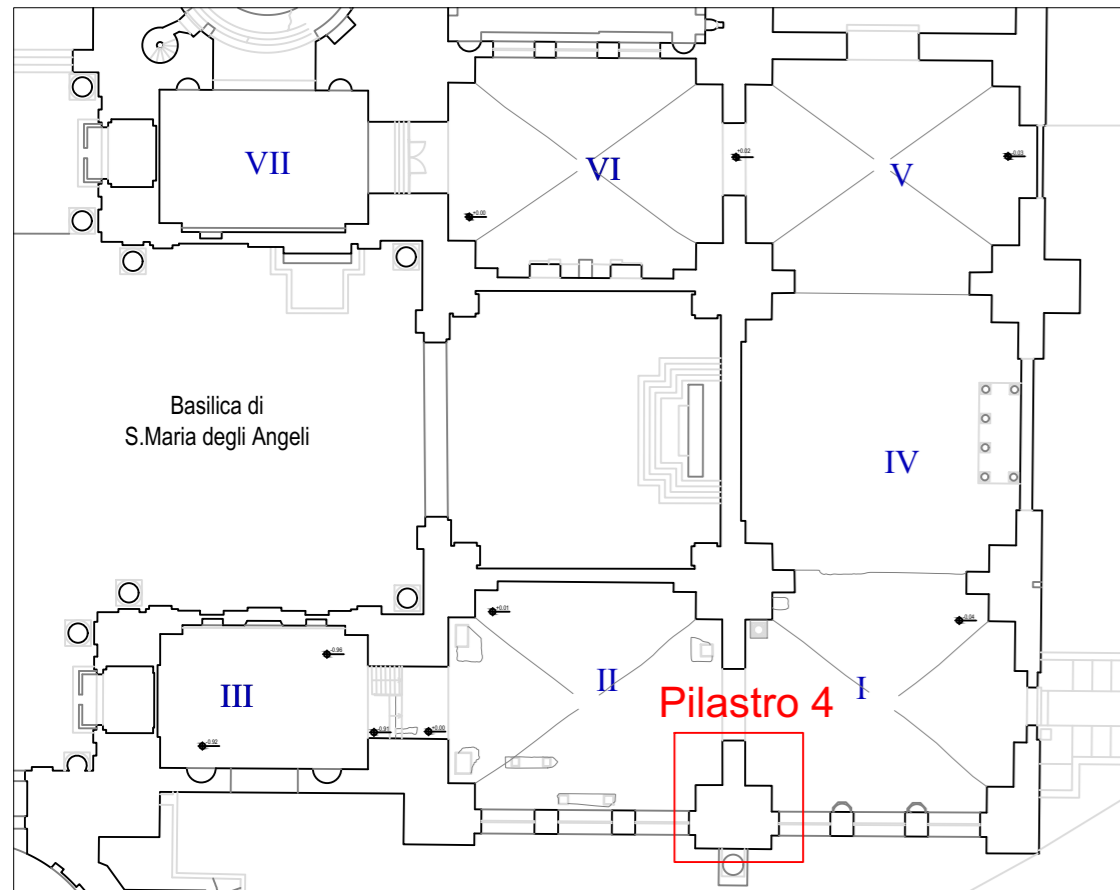
DATA CONSEGNA
 Settembre 2022

RIF. INTERNI
 CO-049_22_archi

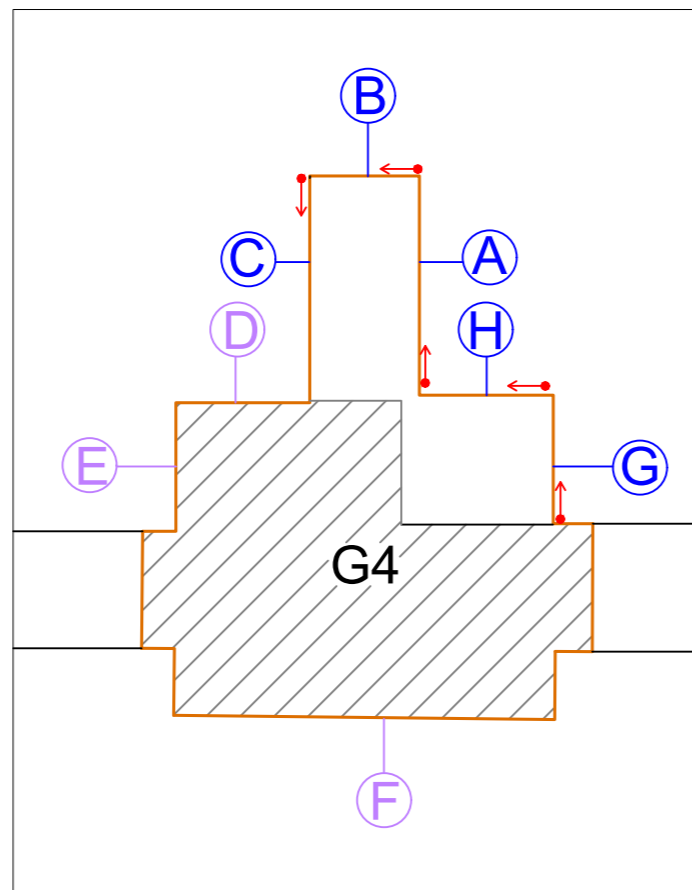
TAVOLA

4

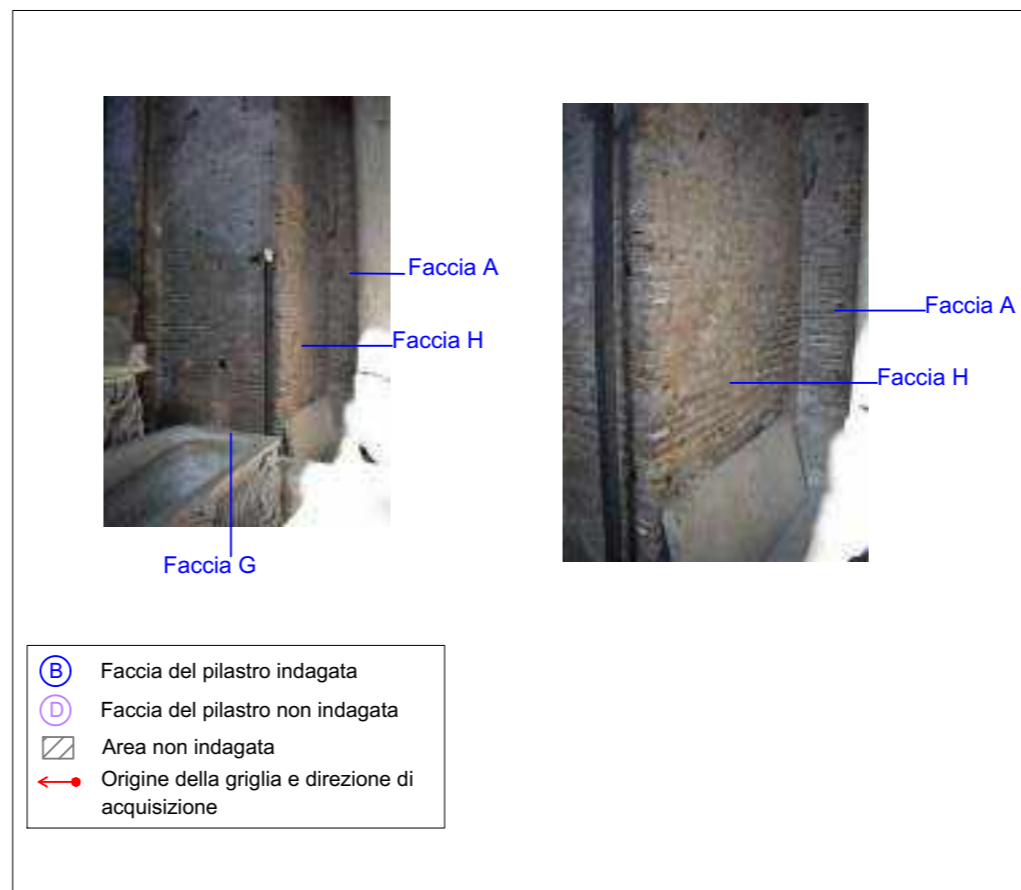
Indagine Georadar su pilastro 4_ Codice Prova G4



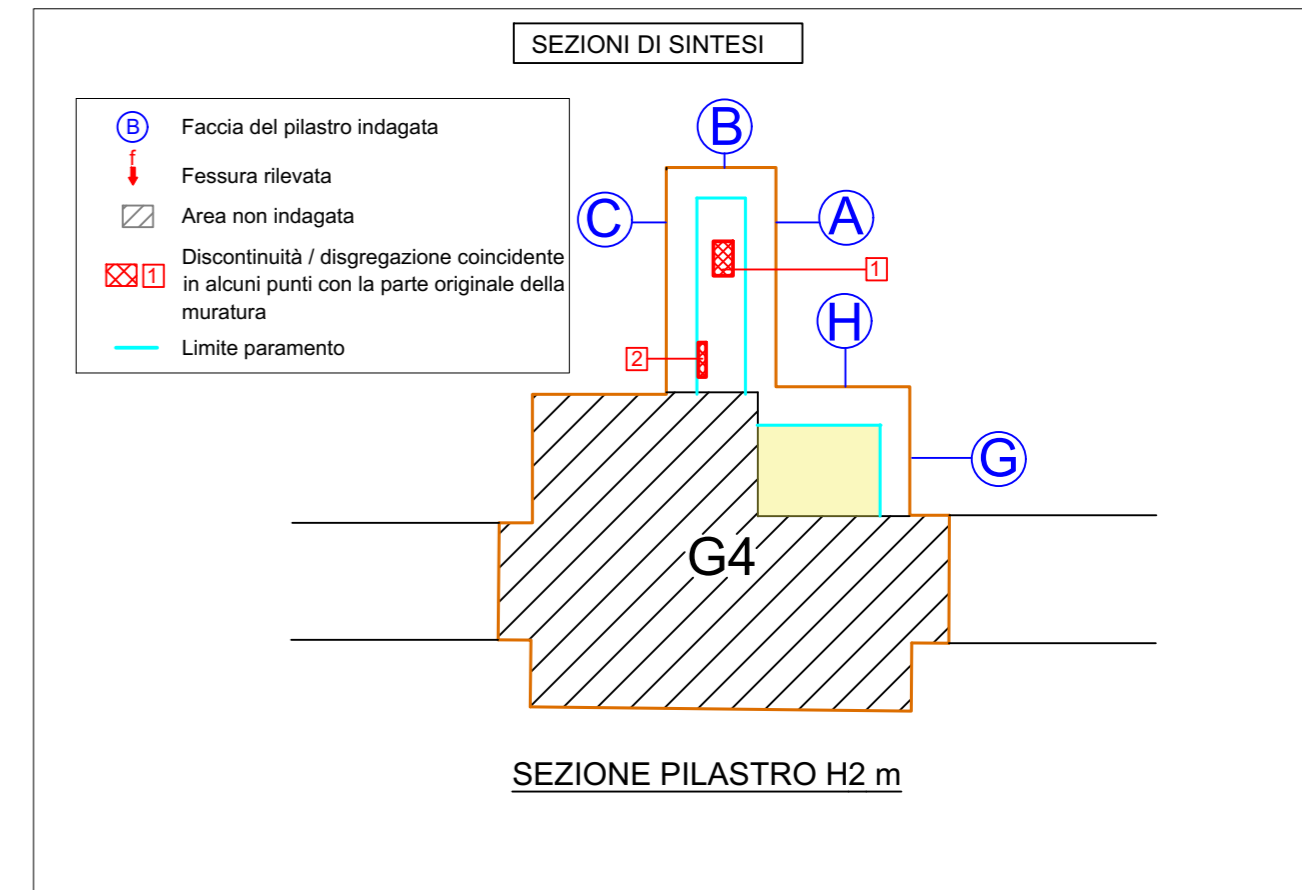
Planimetria e ubicazione dei pilastri oggetti di indagine (1/500)



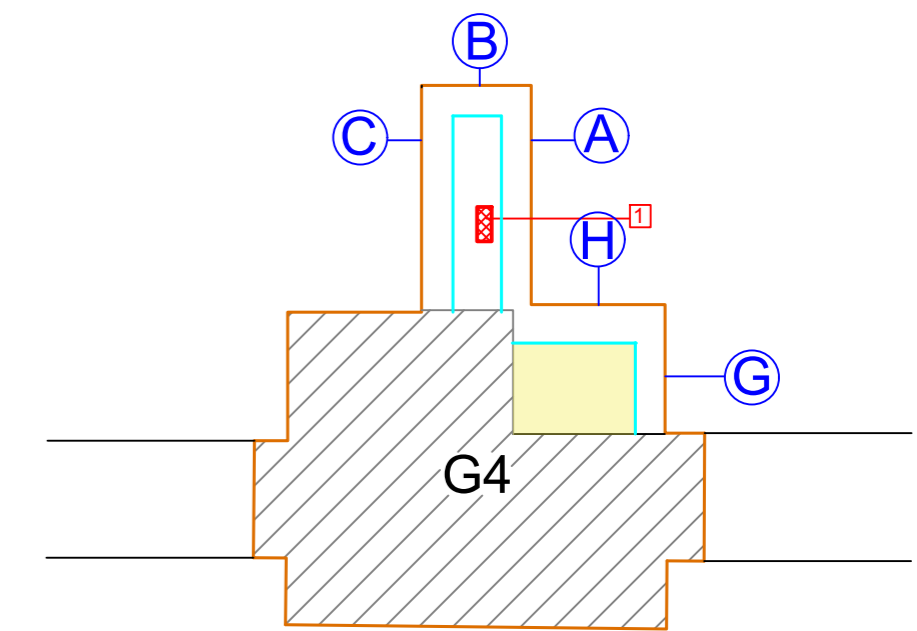
Ubicazione delle varie facce di indagine del pilastro 4 (1/100)



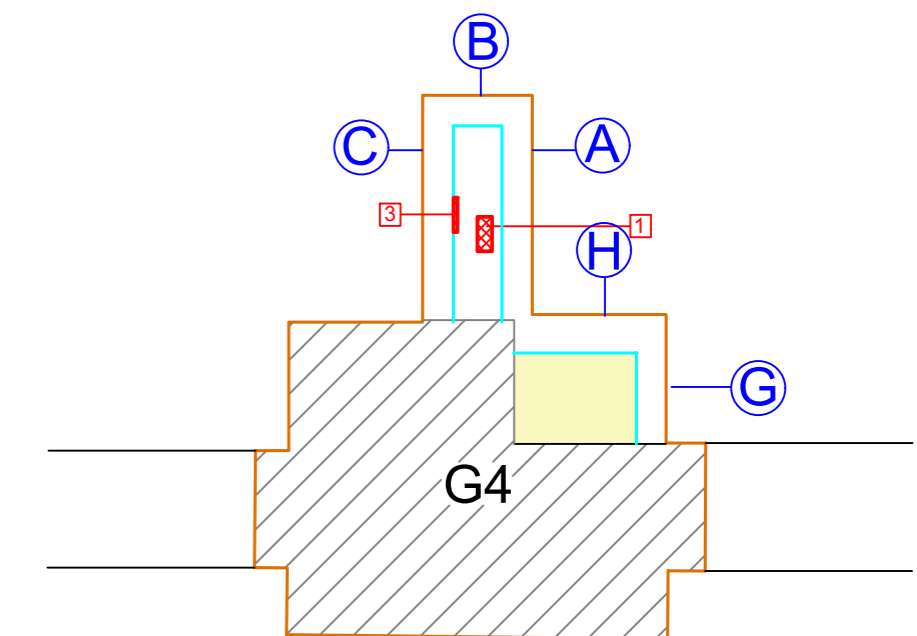
- ⓑ Faccia del pilastro indagata
- ⓓ Faccia del pilastro non indagata
- ▨ Area non indagata
- ↔ Origine della griglia e direzione di acquisizione



SEZIONE PILASTRO H2 m

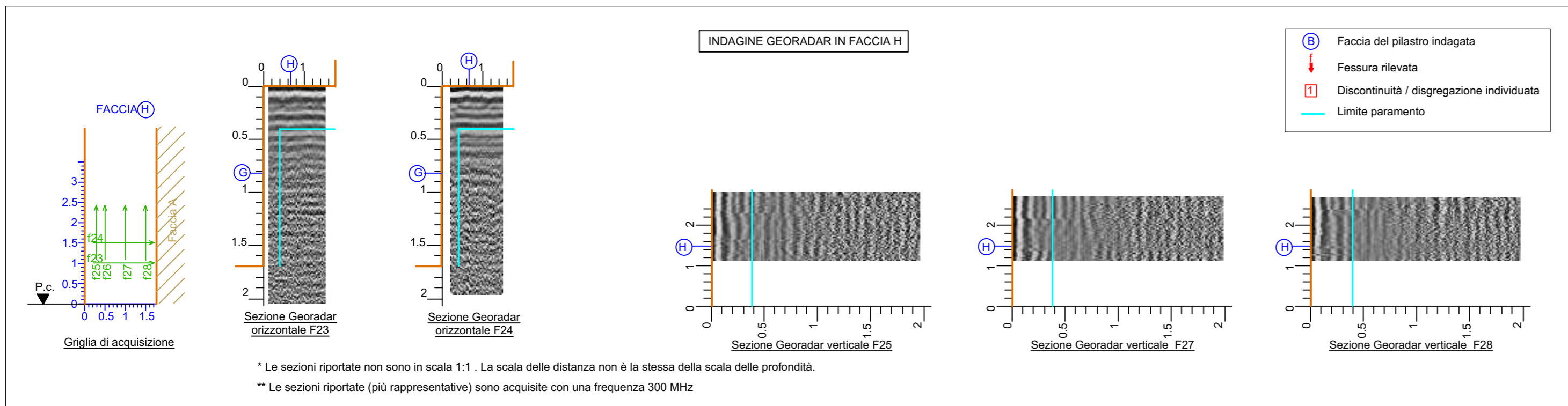


SEZIONE PILASTRO H1.5 m



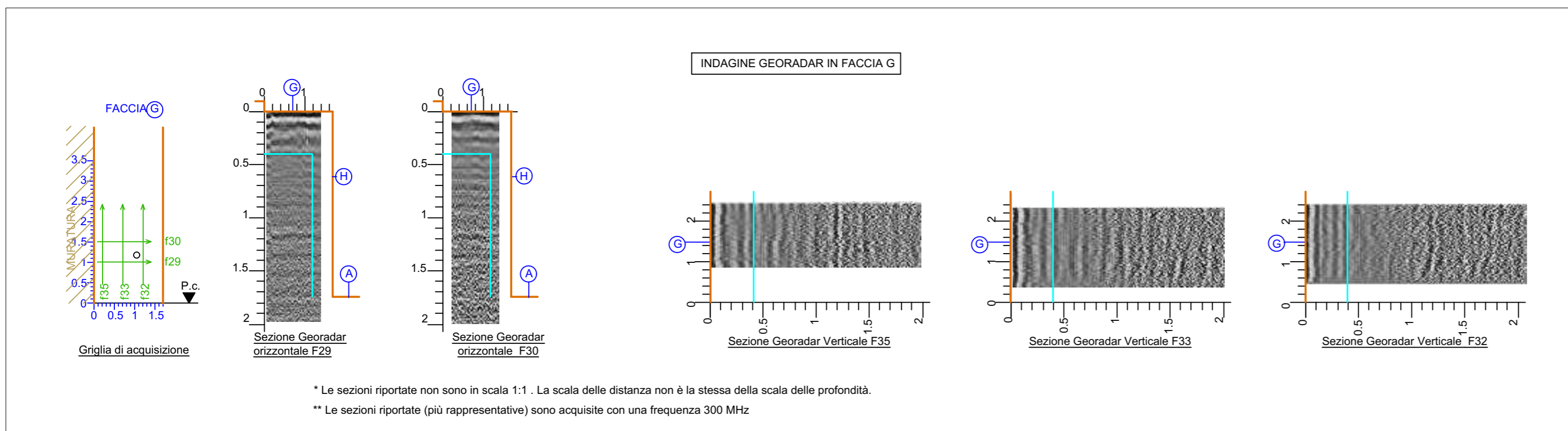
SEZIONE PILASTRO H1 m

* Le sezioni sintetiche sono in scala 1:1



* Le sezioni riportate non sono in scala 1:1. La scala delle distanza non è la stessa della scala delle profondità.

** Le sezioni riportate (più rappresentative) sono acquisite con una frequenza 300 MHz



* Le sezioni riportate non sono in scala 1:1. La scala delle distanza non è la stessa della scala delle profondità.

** Le sezioni riportate (più rappresentative) sono acquisite con una frequenza 300 MHz



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO
Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO
Indagine Georadar su pilastro 4_ Codice prova G4

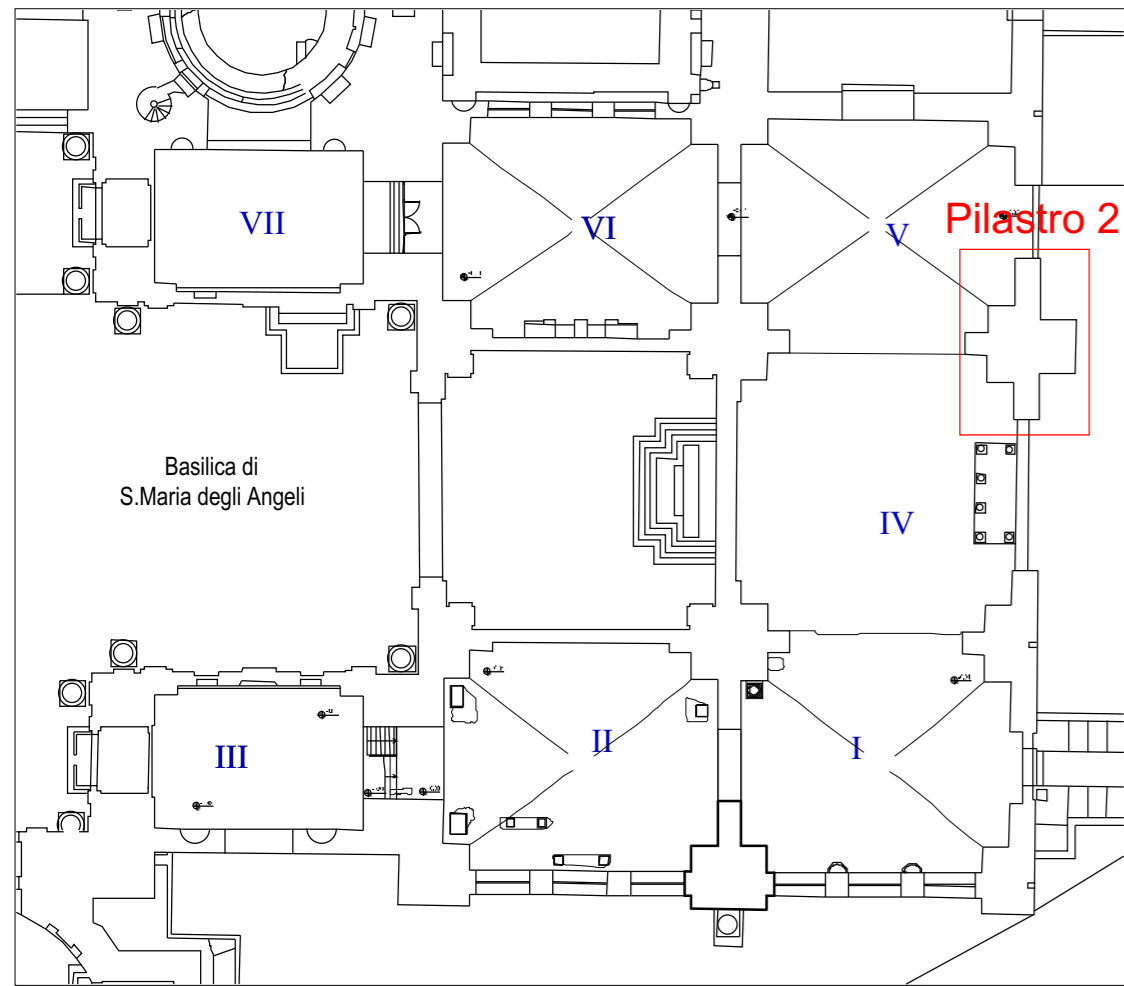
ELABORAZIONE Agathe Crespin
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA
Settembre 2022

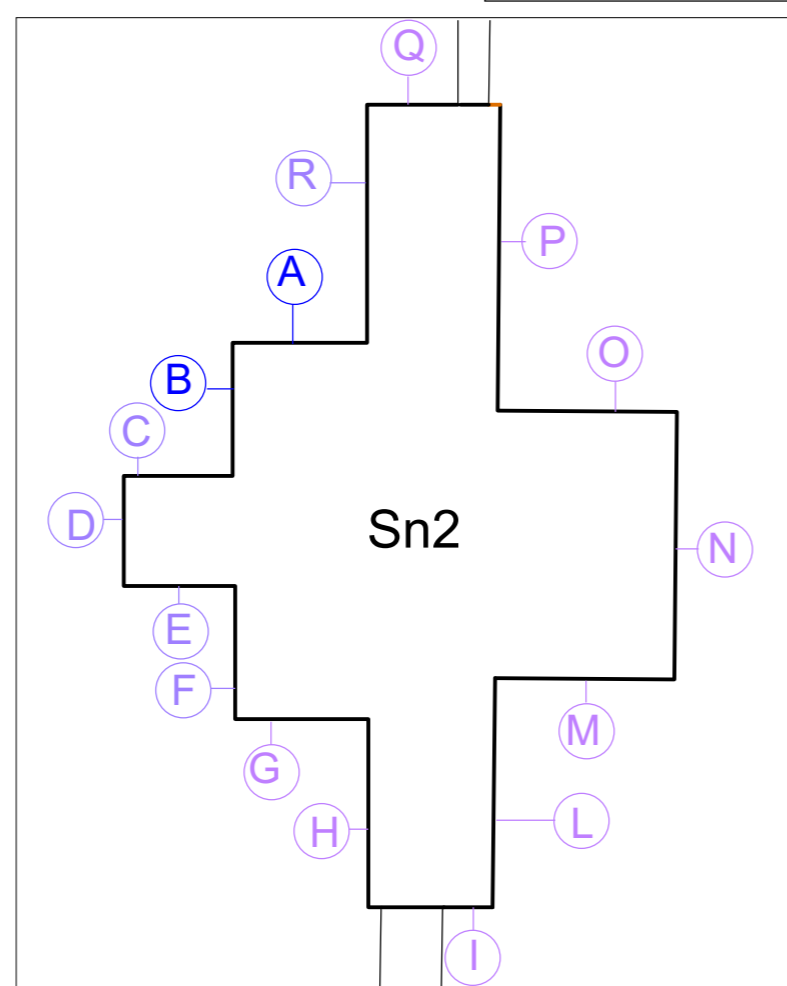
RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
5

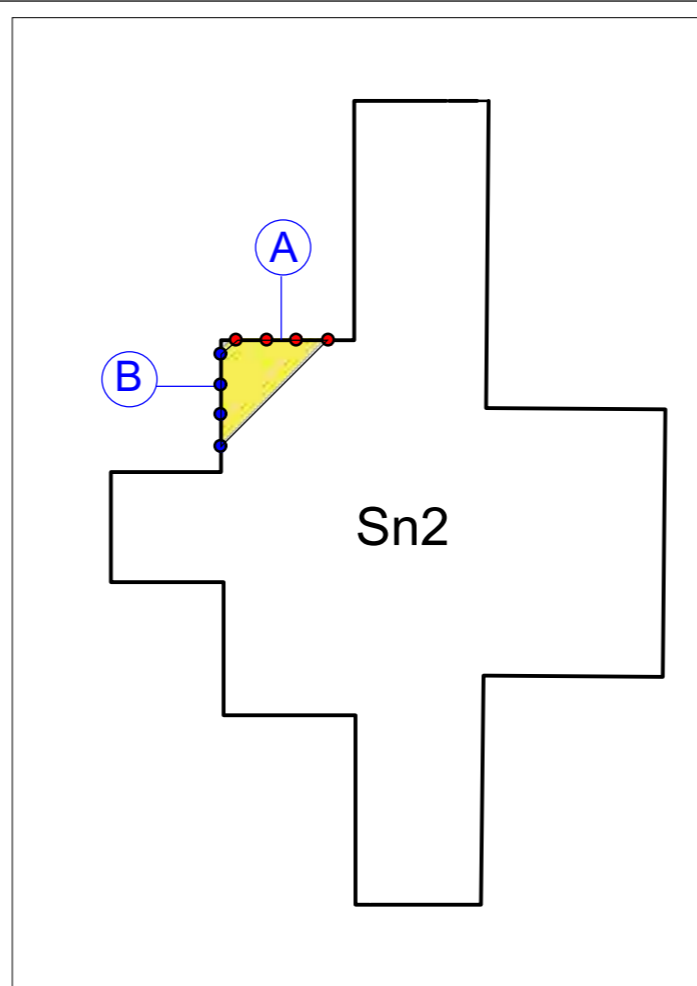
Indagine sonica su pilastro 2_ indagine semi diretta_Codice prova Sn2



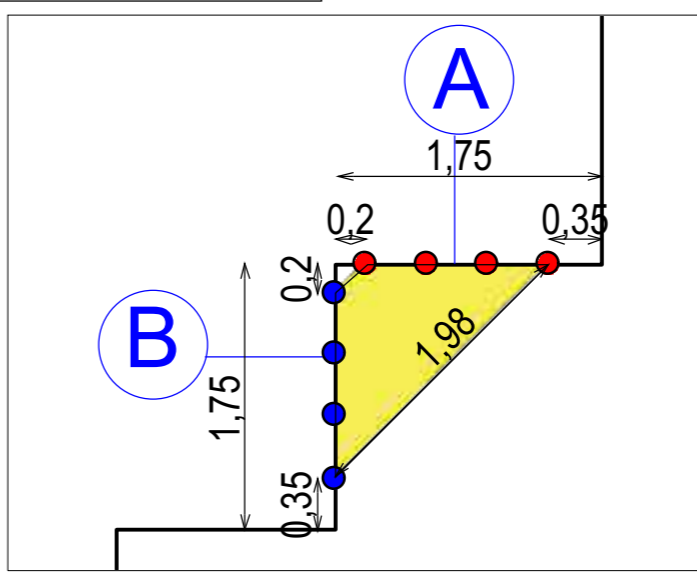
Planimetria e ubicazione del pilastro oggetto di indagine (1/500)



Ubicazione in sezione delle varie facce di indagine del pilastro 2 (1/100)

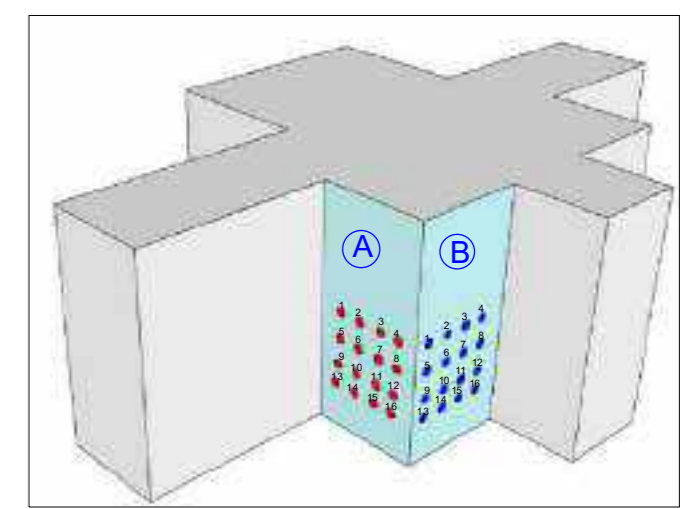


Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 2 (1/100)

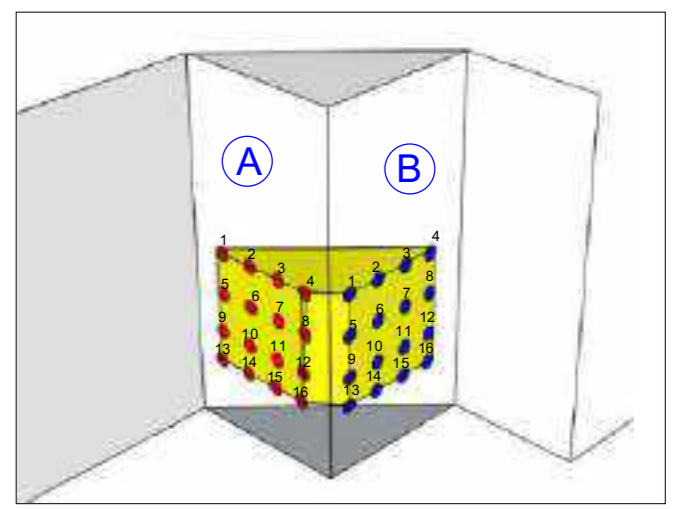


Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 2 (1/50)

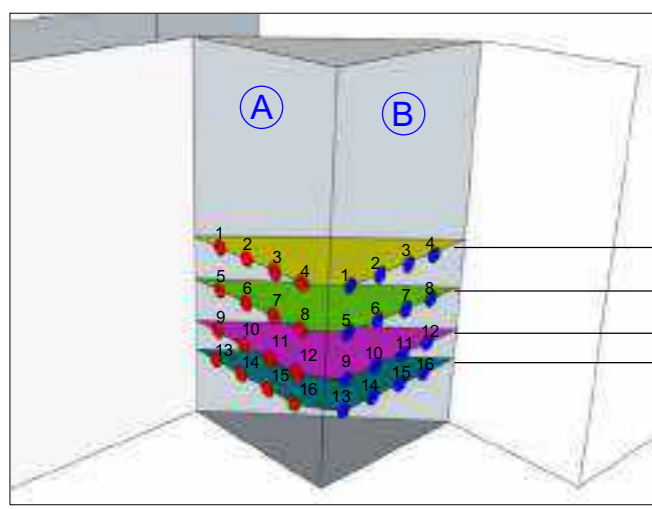
- (D) Faccia del pilastro non indagata
- (B) Faccia del pilastro indagata
- (●) Trasmettitore (martello strumentato)
- (●) Ricevitore (Sonda)
- (■) superficie indagata



Schema 3D del pilastro 2 e facce di indagine con ubicazione dei ricevitori (pallini azzurri) e trasmettitori (pallini rossi)



Schema 3D del pilastro 2 e con ubicazione dei ricevitori (pallini azzurri) e trasmettitori (pallini rossi) e indicazione del volume indagato (in giallo)

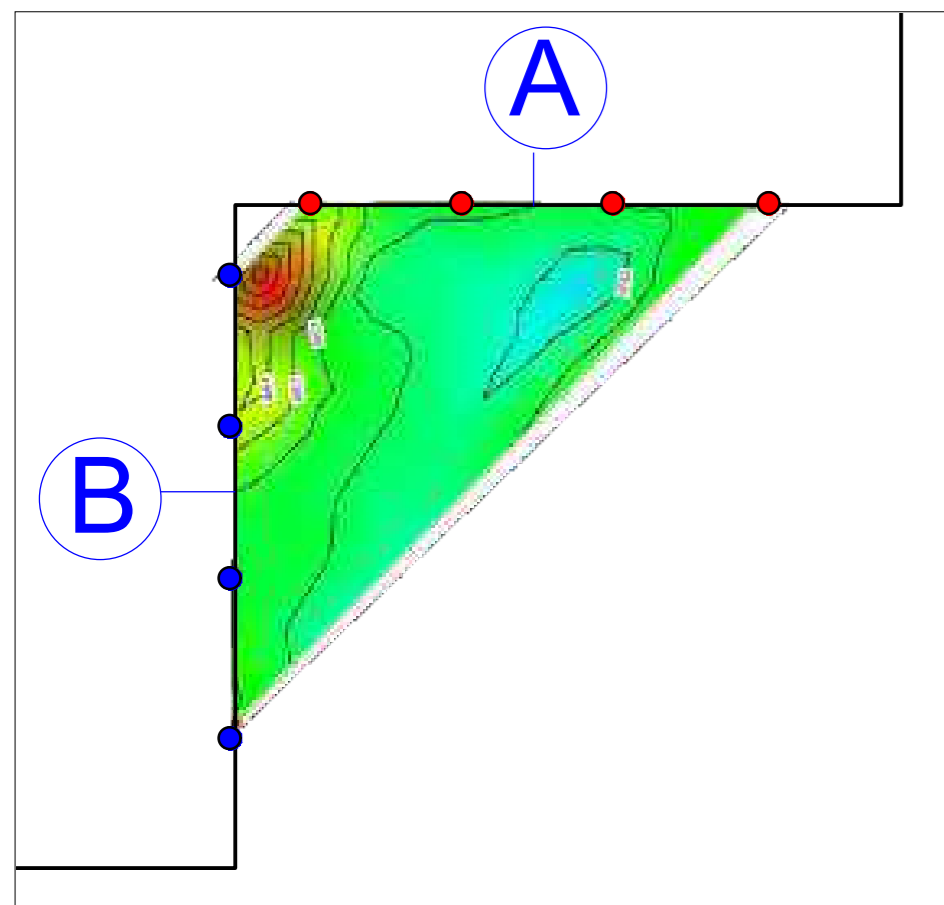


Schema 3D del pilastro 2 ubicazione dei ricevitori (pallini azzurri) e trasmettitori (pallini rossi) e piani rappresentati

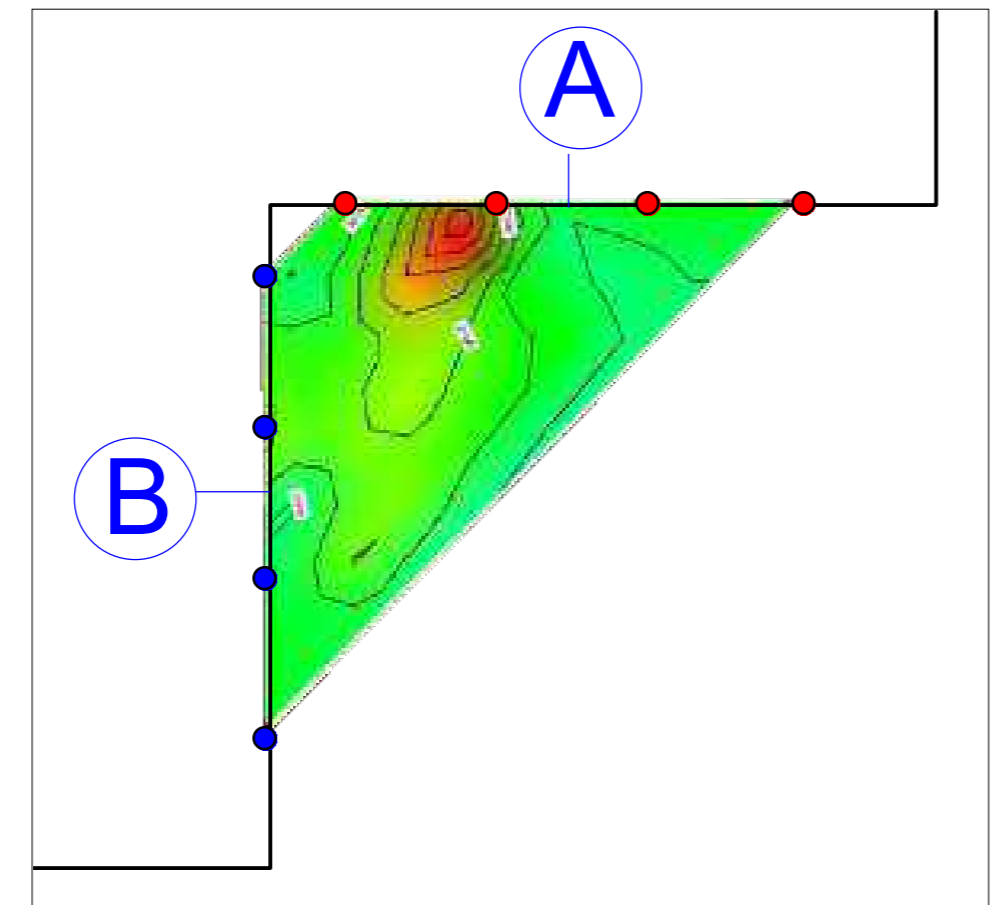
- piano a H 1.86 m
- piano a H 1.46 m
- piano a H 1.06 m
- piano a H 0.66 m

Considerazioni:

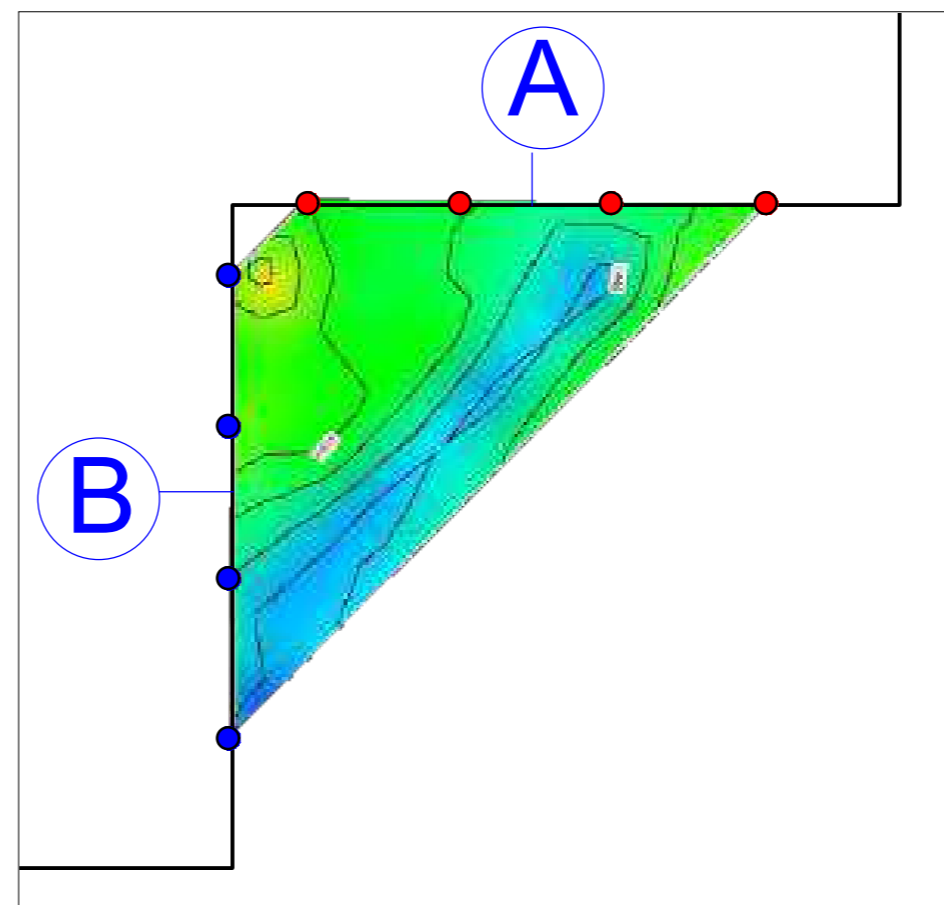
- Le velocità sui 4 piani oscillano tra 1000 e 2800 m/s.
- Le velocità medie comprese tra 1600 e 2000 m/s corrispondono a zone senza discontinuità.
- Sul piano a +0.66 m dal p.c., presenza di una zona più veloce molto localizzata. Possibile zona più compatta. Nell'angolo tra le facce A e B non si evidenziano variazioni particolari.
- Sul piano a +1.06 m dal p.c., presenza di una zona più veloce molto localizzata vicino alla faccia A. Possibile zona più compatta.
- Sui piani a +1.46 m e +1.86 m dal p.c., situazione molto simile. velocità omogenee mediamente di 1900 m/s con una zona più lenta obliqua (1200-1400 m/s) dovuta a una probabile composizione diversa dei clasti nella malta cementizia legata alla presenza di clasti macroscopici tufacei.



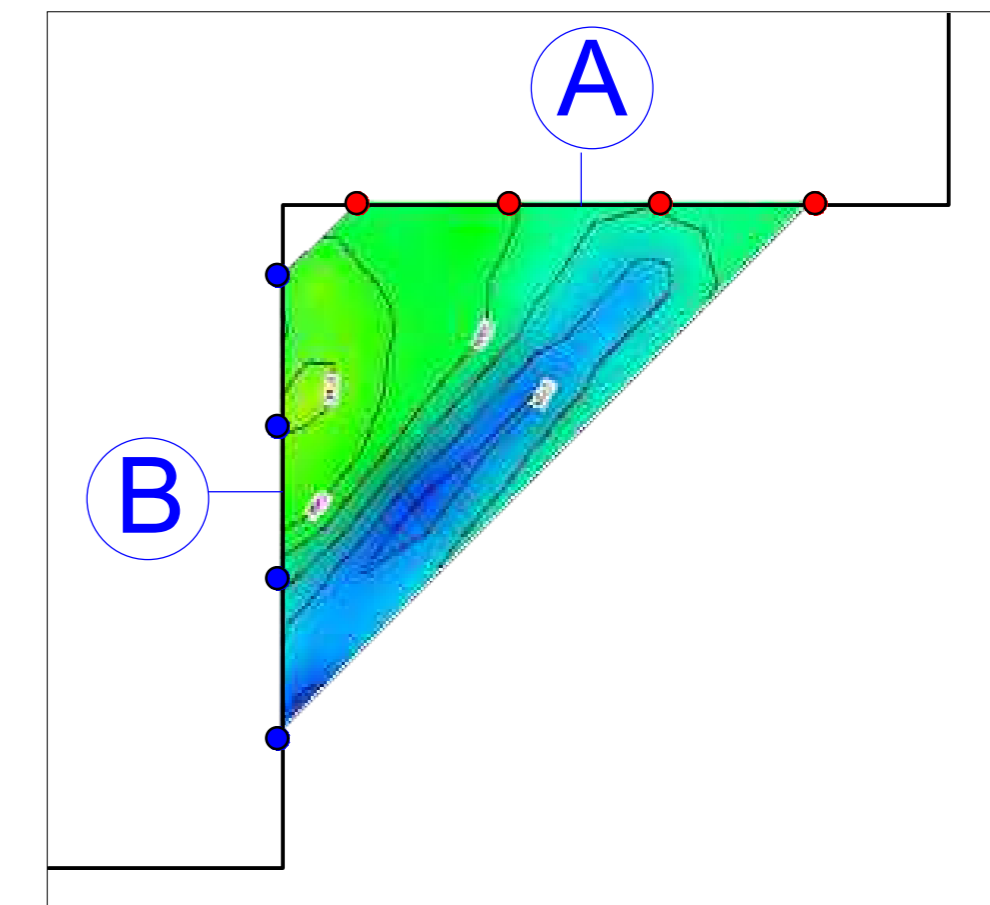
Piano a H0.66 m dal p.c.



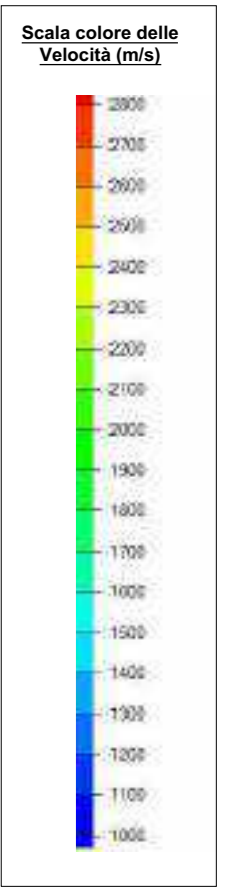
Piano a H1.06 m dal p.c.



Piano a H1.46 m dal p.c.



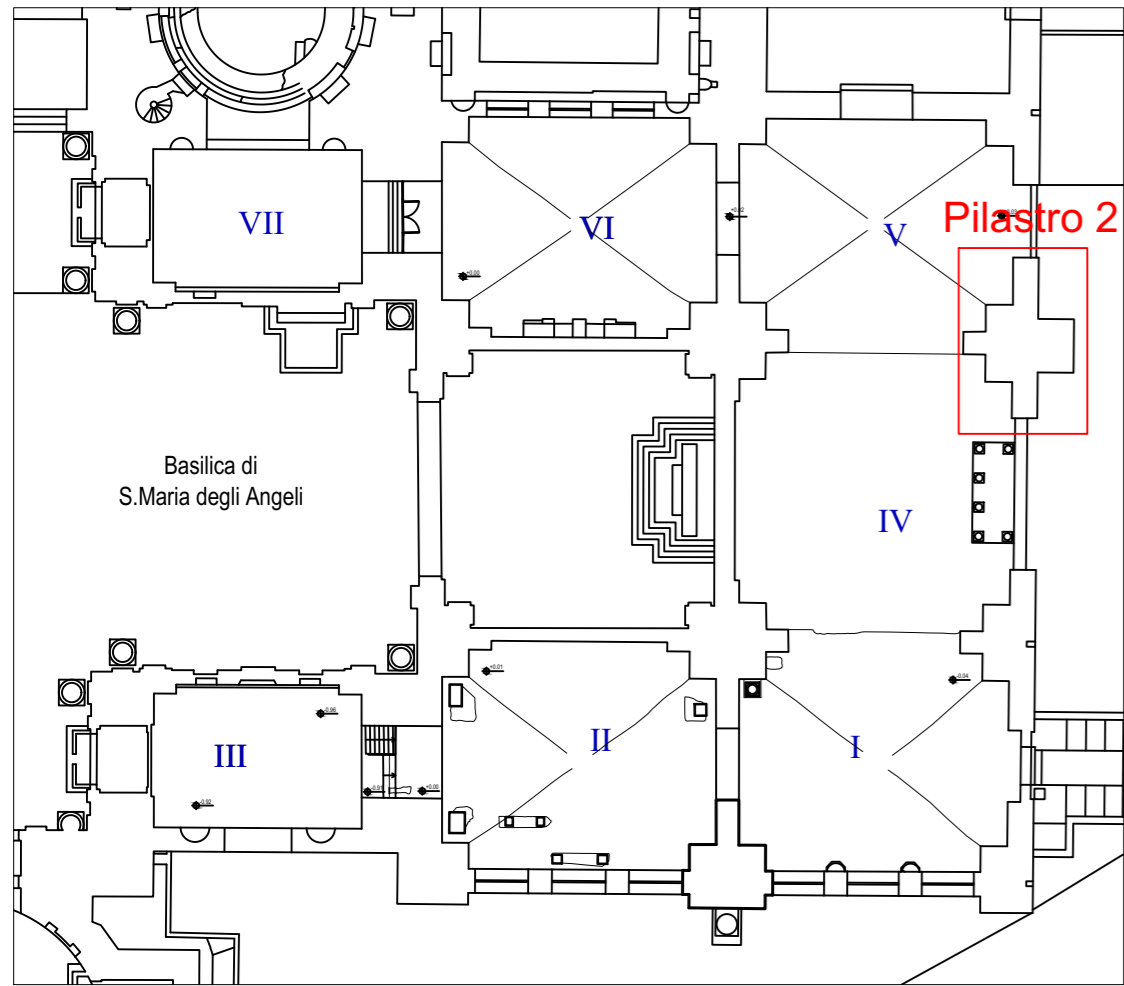
Piano a H1.86 m dal p.c.



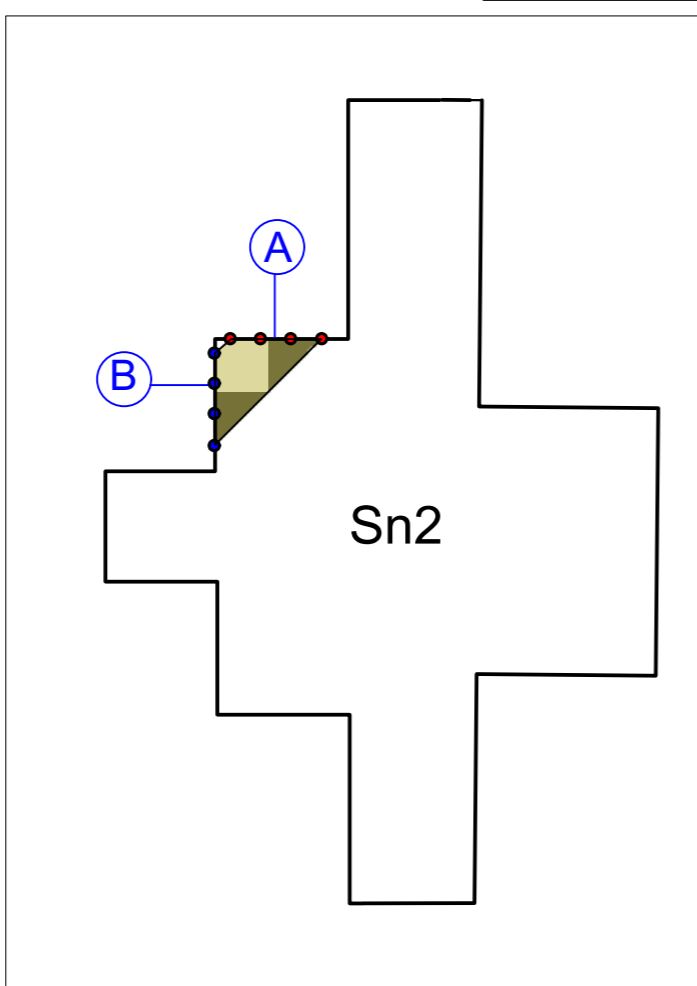
* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine Sonica su pilastro 2_Indagine semi diretta_Codice prova Sn2</p>	<p>ELABORAZIONE Nicola Ardito VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA Settembre 2022</p>	<p>RIF. INTERNI CO-049_22_archi</p>	<p>TAVOLA</p> <p>1</p>

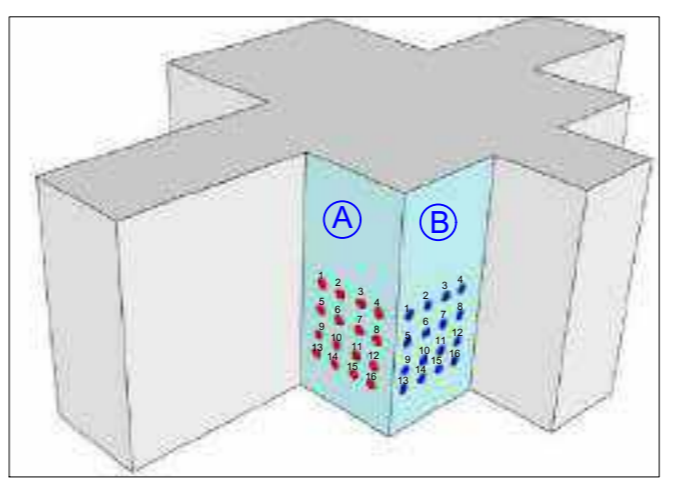
Indagine sonica su pilastro 2_Indagine semi diretta_Codice prova Sn2



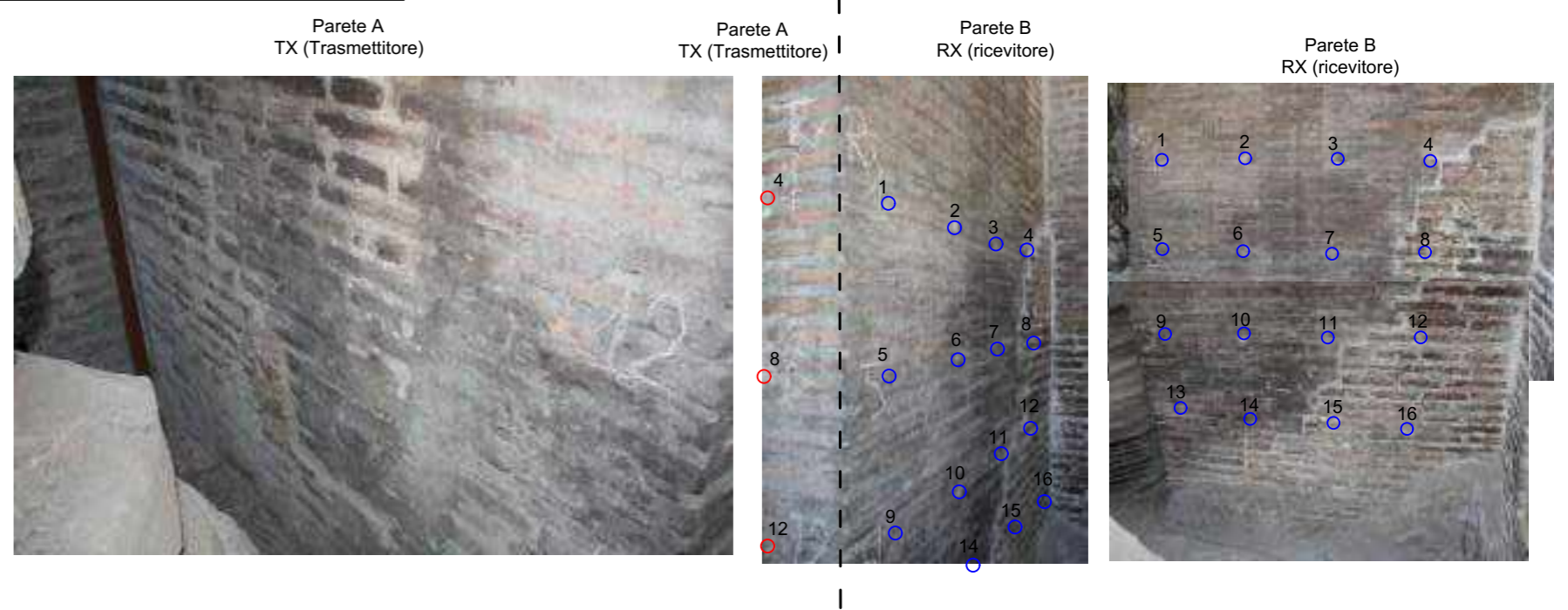
Planimetria e ubicazione del pilastro oggetto di indagine (1/500)



Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 2 (1/100)



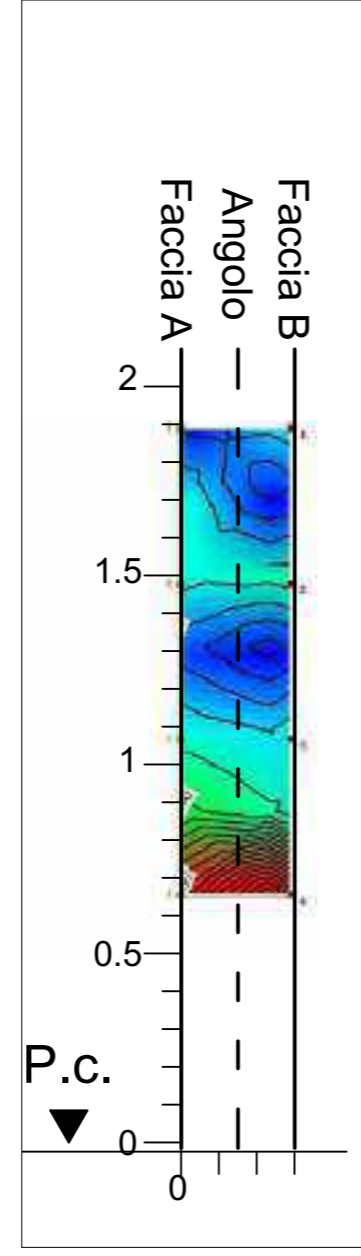
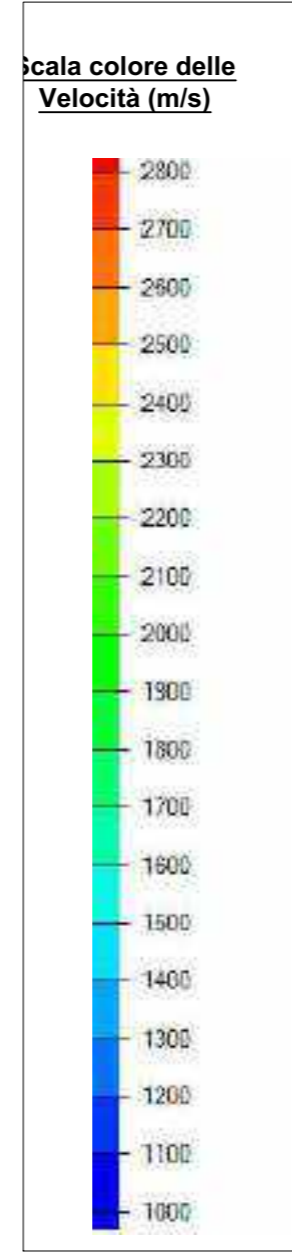
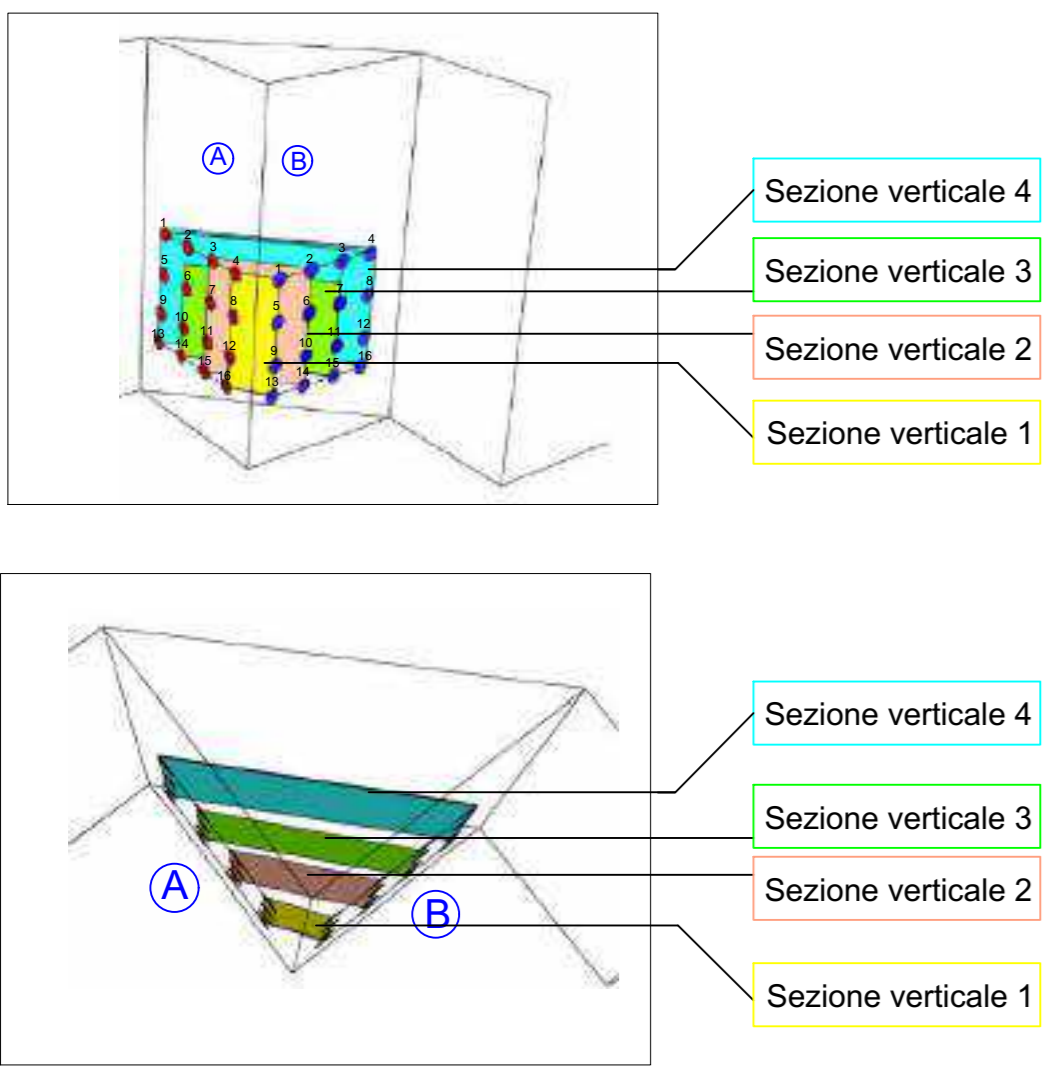
- (B) Faccia del pilastro indagata
- Trasmittitore (martello strumentato)
- Ricevitore (Sonda)



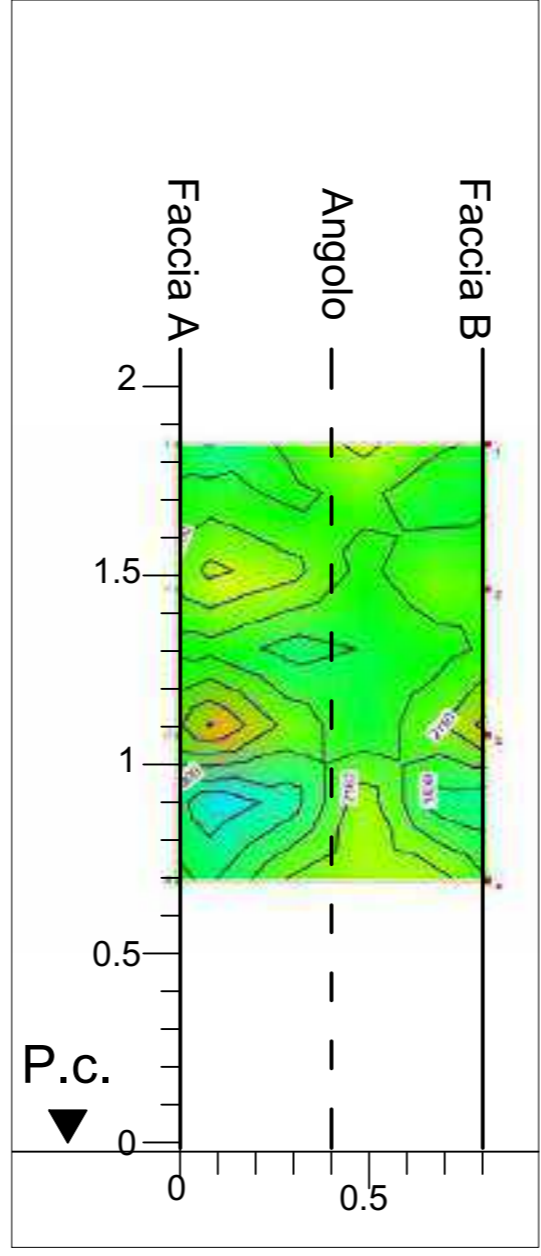
Considerazioni:

- Le velocità sulle 4 sezioni verticali oscillano tra 1000 e 2800 m/s.
- Le velocità medie comprese tra 1600 e 2000 m/s corrispondono a zone senza discontinuità.
- Sulla sezione 1 appare una netta differenza tra la parte bassa tra 0.66 e 0.9 m dal p.c. in cui le velocità sono alte mentre al di sopra di 1 m dal p.c. appaiono zone più lente.
- La sezione 2 riporta una mappa omogenea con valori di velocità tra 1800 e 2100 m/s
- La sezione 3 presenta valori di velocità medie basse con 2 zone molto localizzate più veloci in basso e verso la faccia A.
- La sezione 4 presenta valori di velocità medie basse con una zona molto localizzata più veloce in basso.

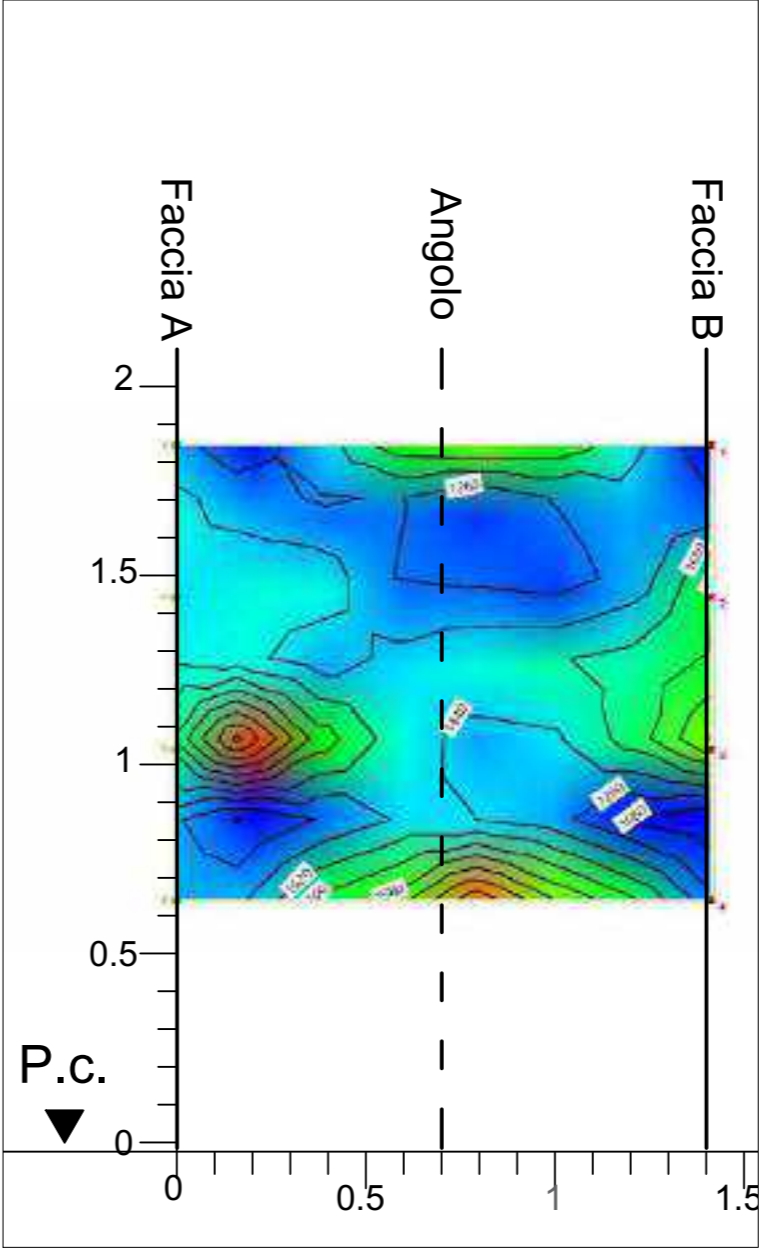
Schema 3D del pilastro 2 ubicazione dei ricevitori (pallini azzurri) e trasmettitori (pallini rossi) e piani rappresentati



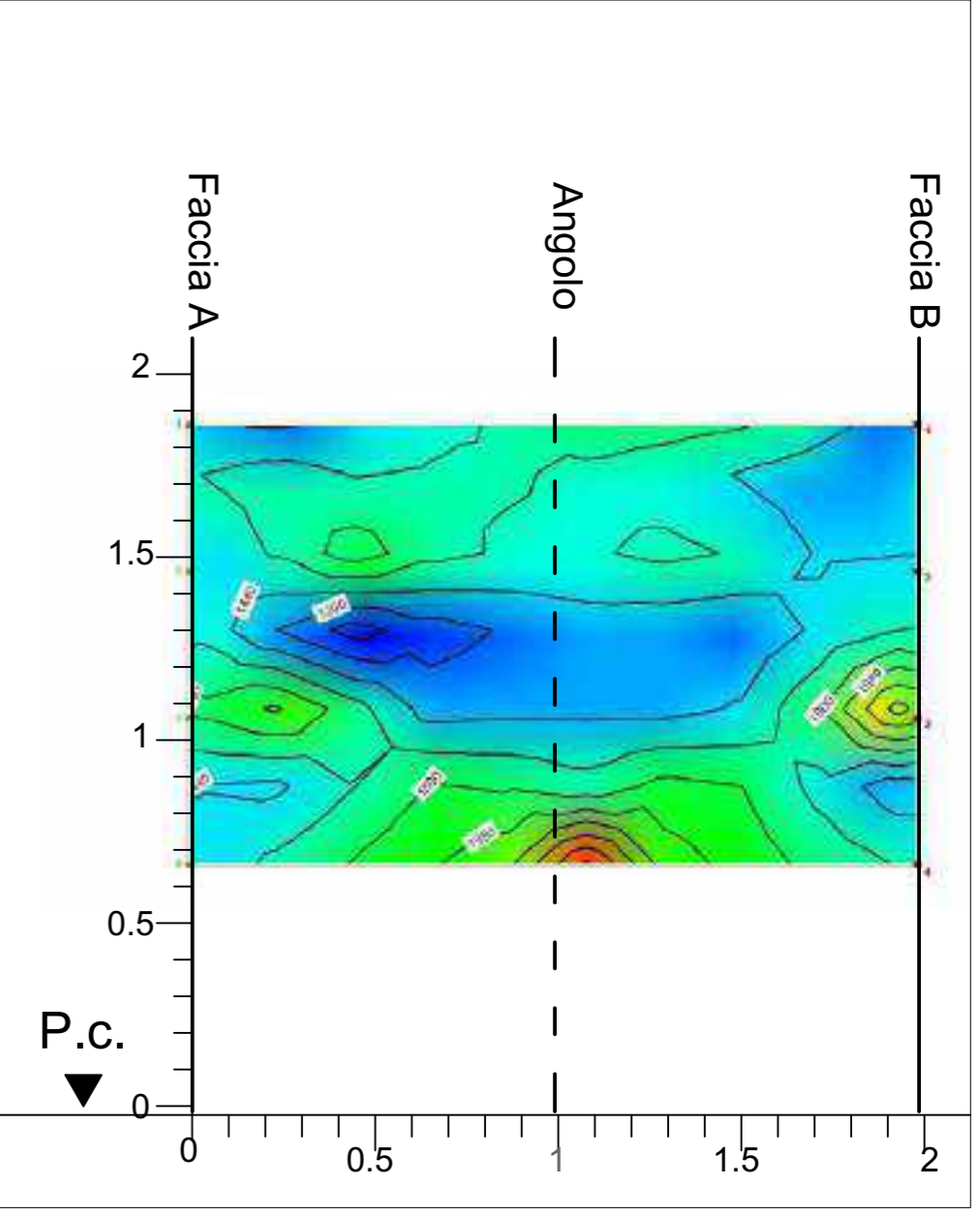
Sezione verticale 1



Sezione verticale 2



Sezione verticale 3

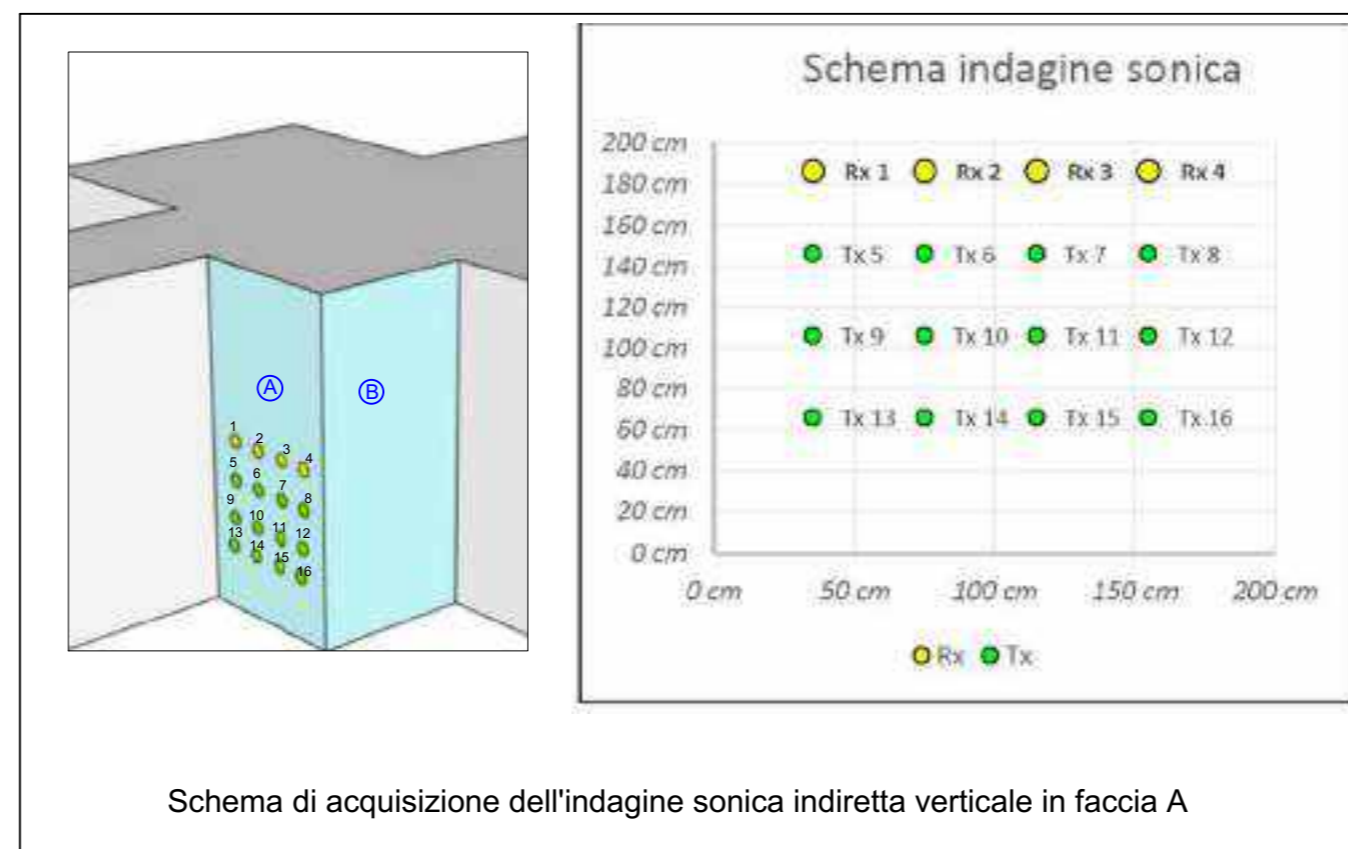
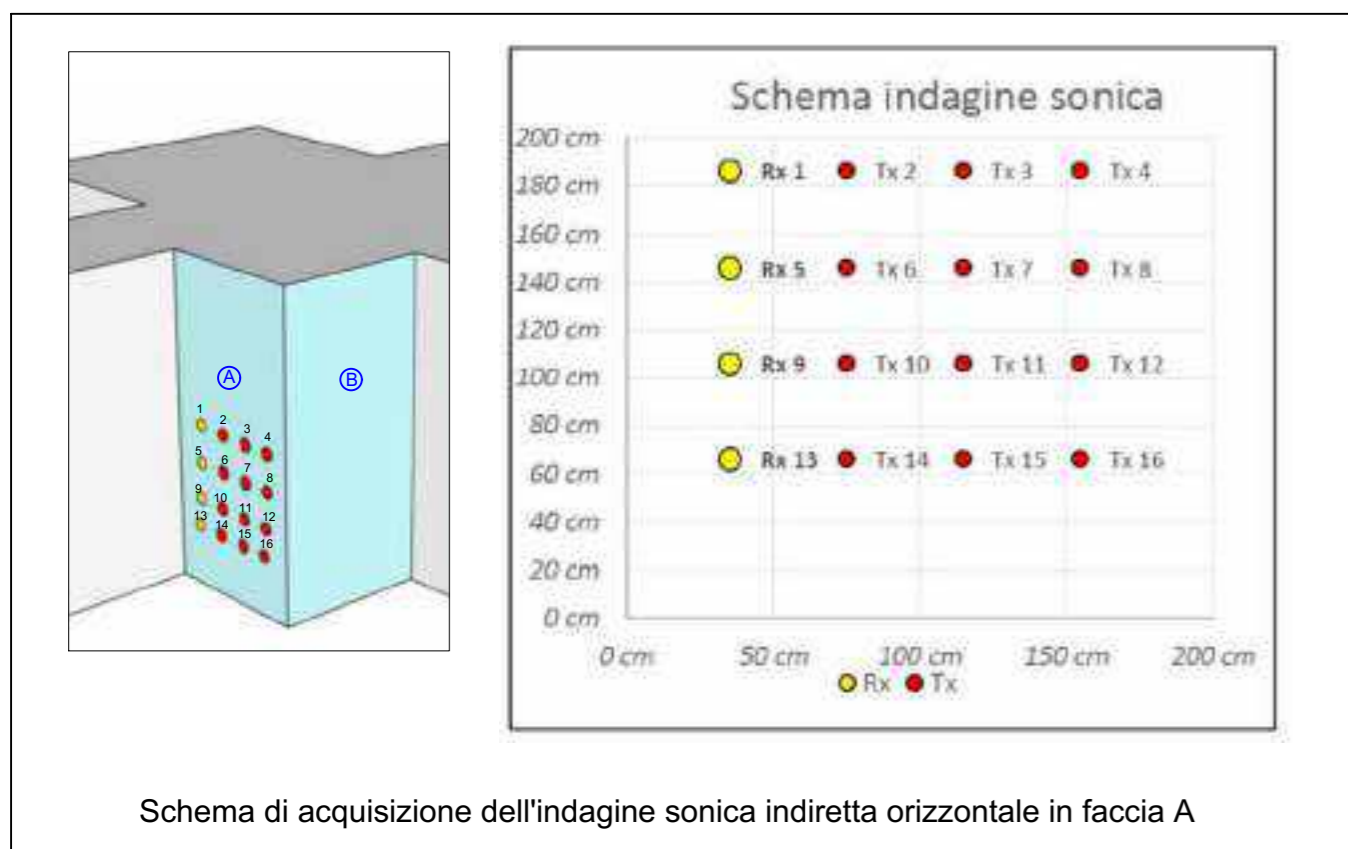


Sezione verticale 4

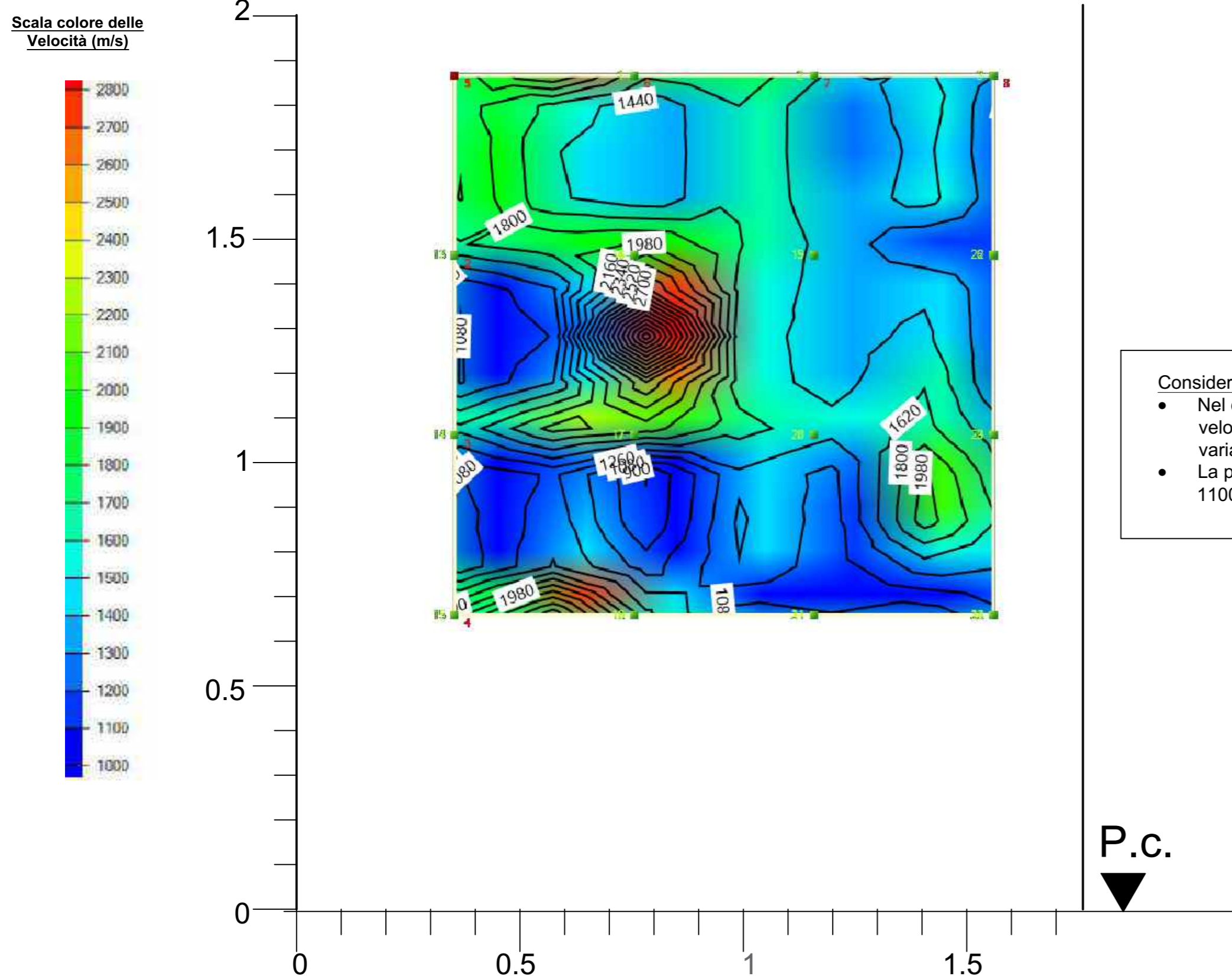
* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine sonica su pilastro 2_Indagine Semi diretta_Codice prova Sn2</p>	<p>TAVOLA</p> <p>3</p>
	<p>ELABORAZIONE Nicola Ardito VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA Settembre 2022</p>	<p>RIF. INTERNI CO-049_22_archi</p>	

Indagine sonica su pilastro 2_Indagine indiretta in faccia A_ Codice prova Sn2

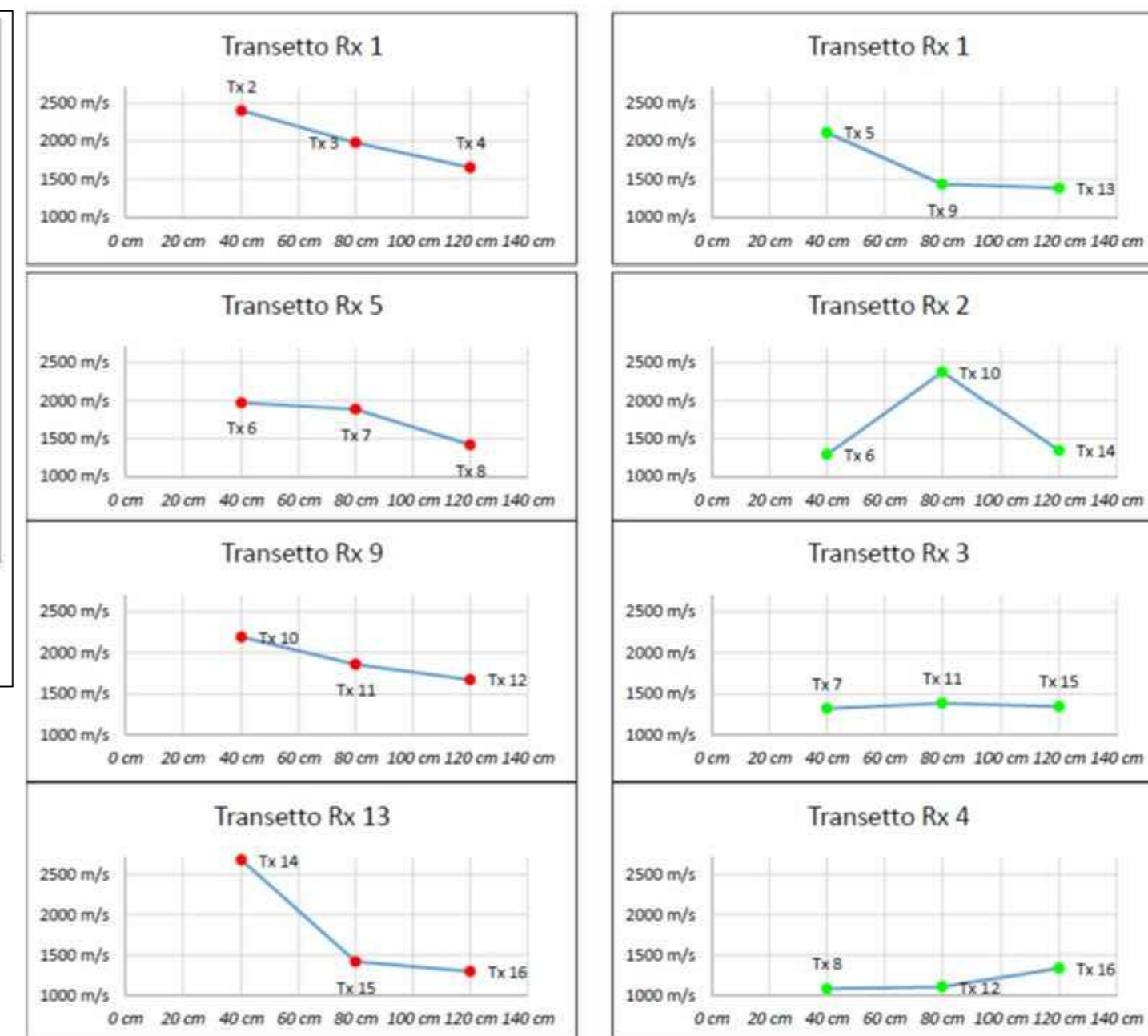


* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".



Considerazioni:

- Nel centro appare una zona molto localizzata più veloce laddove in superficie non si notano variazioni notevoli.
- La parte bassa presenta velocità minori tra 700 e 1100 m/s.



	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	Distanza (cm)	Tempo di volo (µs)	Velocità m/s	Media transetto
Rx 1	35	186	Tx 2	75	186	40	166.87 µs	2397 m/s
Rx 1	35	188	Tx 3	115	188	80	404.22 µs	1979 m/s
Rx 1	35	186	Tx 4	155	186	120	726.30 µs	1652 m/s
Rx 5	35	146	Tx 6	75	146	40	202.93 µs	1971 m/s
Rx 5	35	146	Tx 7	115	146	80	424.48 µs	1865 m/s
Rx 5	35	146	Tx 8	155	146	120	847.08 µs	1417 m/s
Rx 9	35	106	Tx 10	75	106	40	182.92 µs	2187 m/s
Rx 9	35	106	Tx 11	115	106	80	431.15 µs	1856 m/s
Rx 9	35	106	Tx 12	155	106	120	719.63 µs	1668 m/s
Rx 13	35	66	Tx 14	75	66	40	149.33 µs	2679 m/s
Rx 13	35	66	Tx 15	115	66	80	565.26 µs	1415 m/s
Rx 13	35	66	Tx 16	155	66	120	927.60 µs	1254 m/s
Rx 1	35	186	Tx 5	85	146	40	189.59 µs	2110 m/s
Rx 1	35	180	Tx 9	85	106	80	538.59 µs	1432 m/s
Rx 1	35	186	Tx 13	35	66	120	867.33 µs	1384 m/s
Rx 2	75	186	Tx 6	75	146	40	310.37 µs	1289 m/s
Rx 2	75	186	Tx 10	75	106	80	337.04 µs	2374 m/s
Rx 2	75	186	Tx 14	75	66	120	894.01 µs	1342 m/s
Rx 3	115	186	Tx 7	115	146	40	303.70 µs	1317 m/s
Rx 3	115	186	Tx 11	115	106	80	578.60 µs	1383 m/s
Rx 3	115	186	Tx 15	115	66	120	894.01 µs	1342 m/s
Rx 4	155	186	Tx 8	155	146	40	370.63 µs	1079 m/s
Rx 4	155	186	Tx 12	155	106	80	726.05 µs	1102 m/s
Rx 4	155	186	Tx 16	155	66	120	900.68 µs	1332 m/s



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO
Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO
Indagine Sonica su pilastro 2_Codice prova Sn2

ELABORAZIONE Nicola Arditò
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

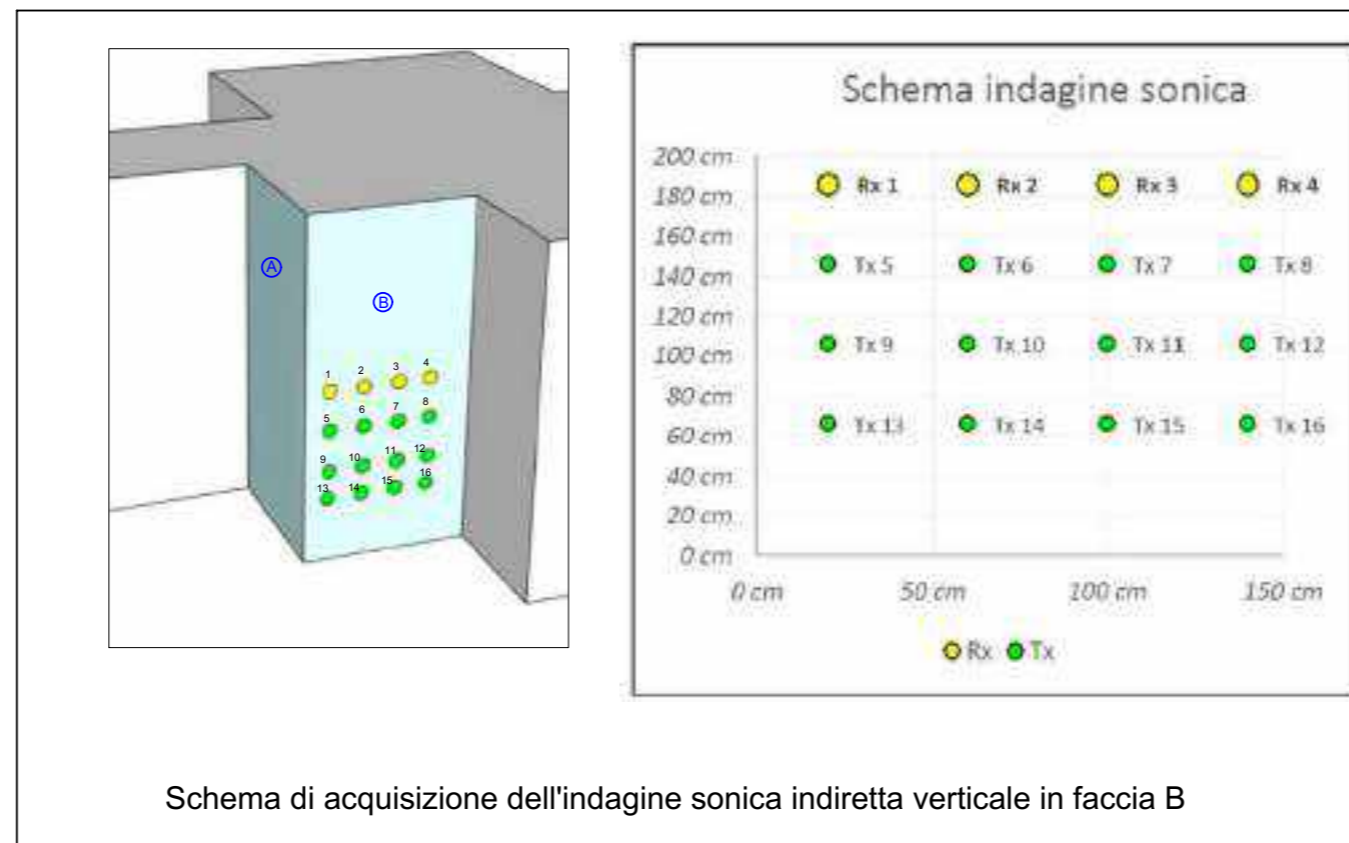
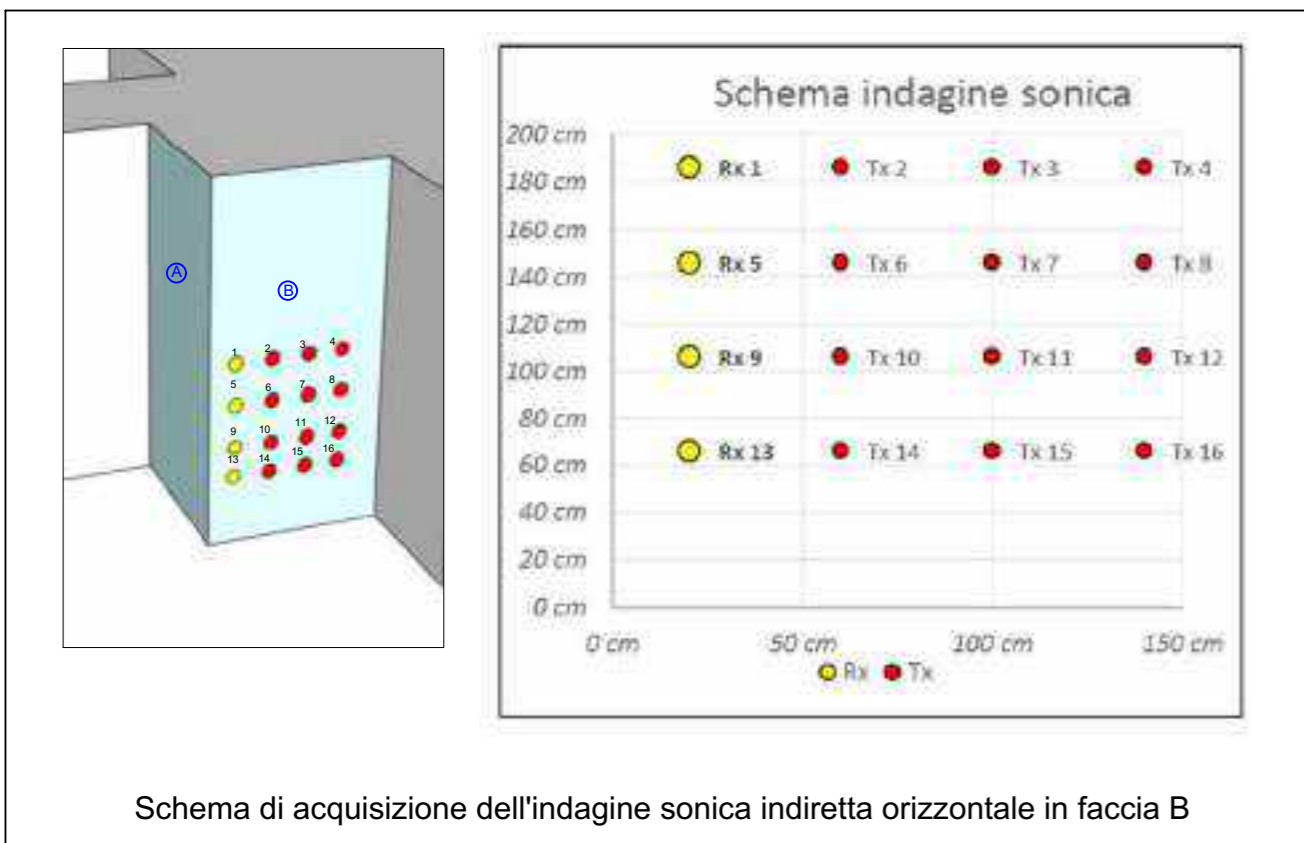
DATA CONSEGNA
Settembre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

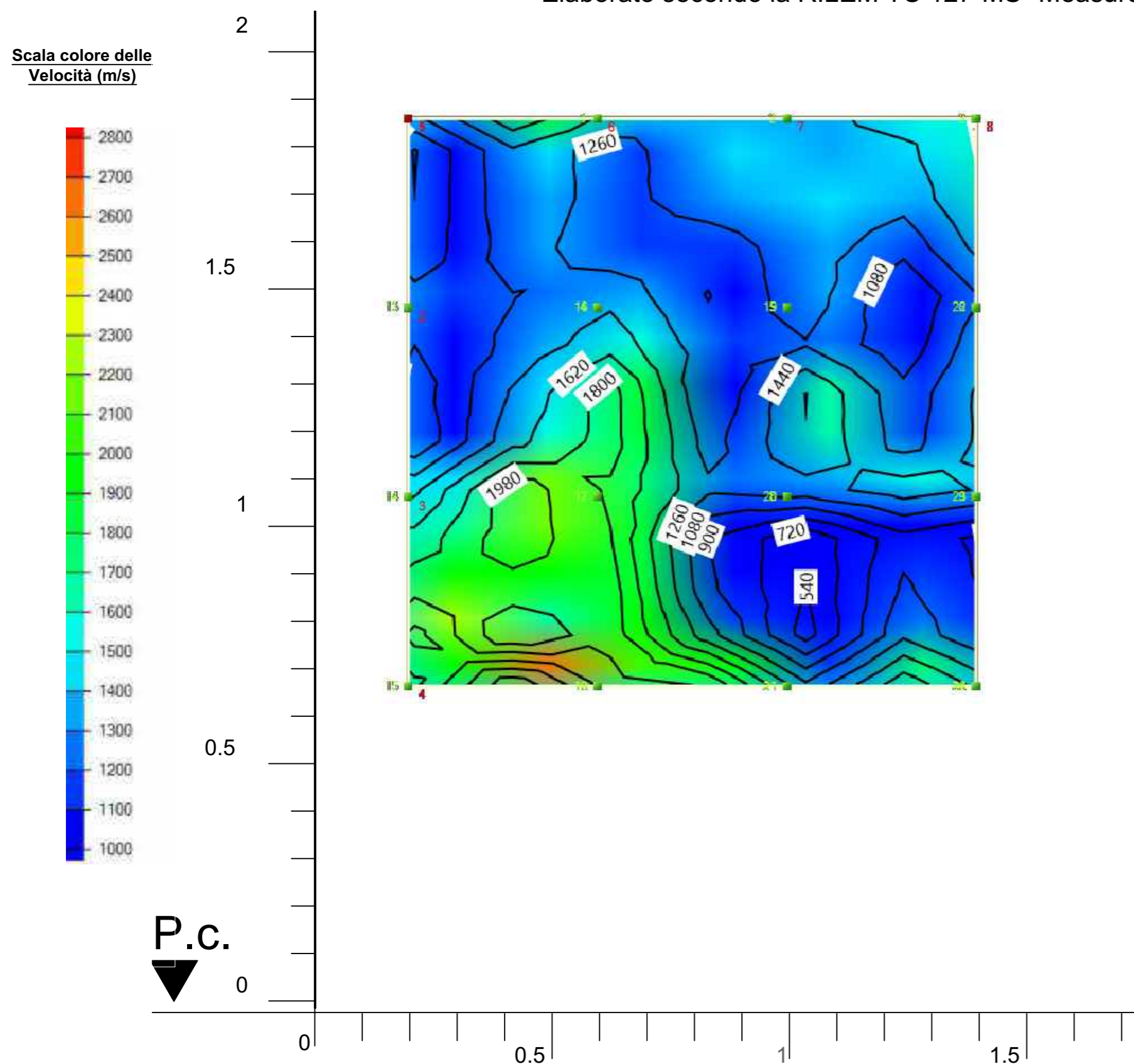
TAVOLA

3

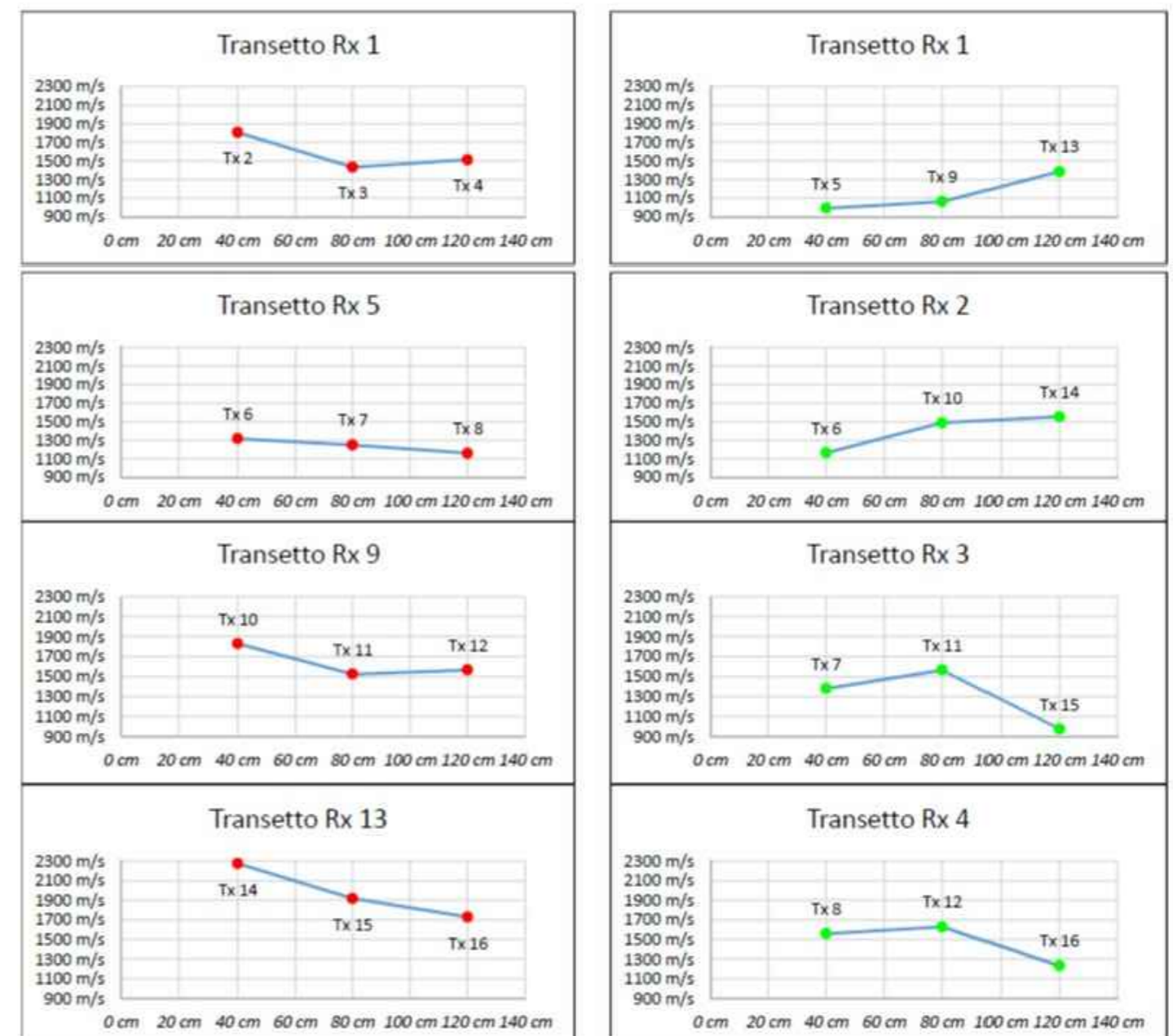
Indagine sonica su pilastro 2_Indagine indiretta in faccia B_ Codice prova Sn2



* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

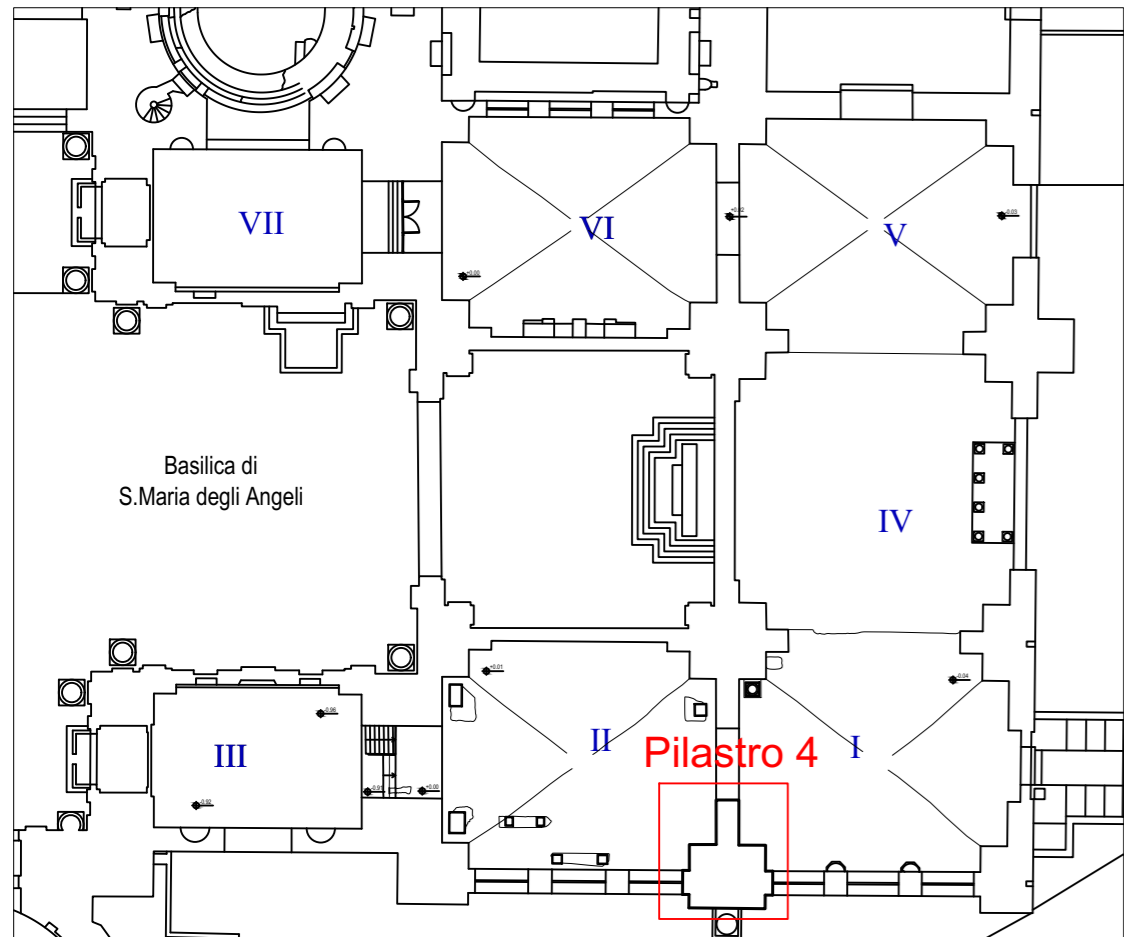


- Considerazioni:
- La parte alta da h 1 m a h 1.86 m dal p.c. presenta una velocità bassa con valori tra 500 e 1200 m/s.
 - La parte inferiore appare con valori medi tipici da zone senza discontinuità.

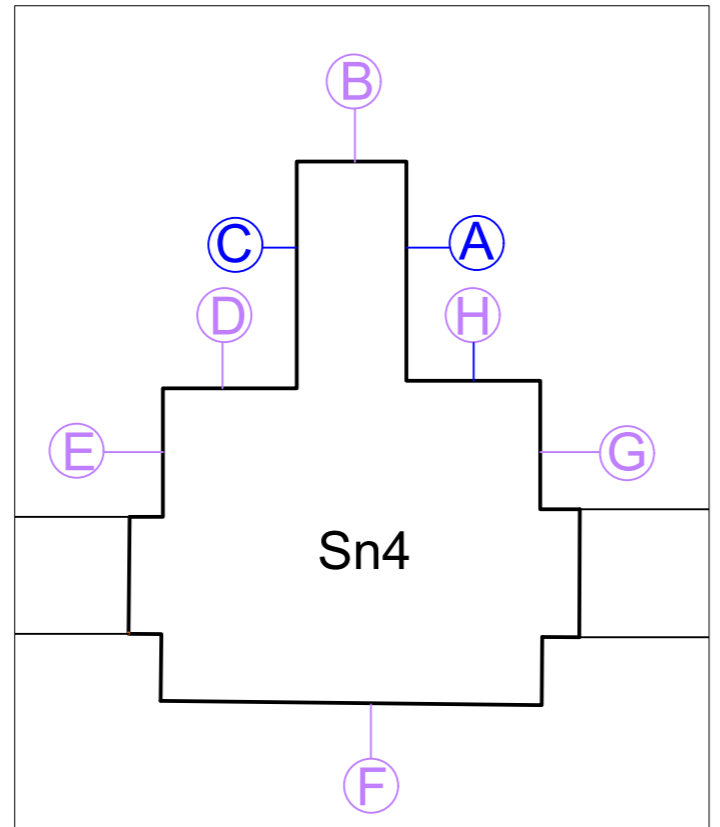


	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	Distanza (cm)	Tempo di volo (μs)	Velocità m/s	Media transetto
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 2	60 cm 186 cm	40 cm	221.45 μs	1806 m/s	1583 m/s
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 3	100 cm 186 cm	80 cm	558.59 μs	1432 m/s	
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 4	140 cm 186 cm	120 cm	793.48 μs	1512 m/s	
Rx 5	20 cm	146 cm	Tx 6	60 cm 146 cm	40 cm	303.70 μs	1317 m/s	1241 m/s
Rx 5	20 cm	146 cm	Tx 7	100 cm 146 cm	80 cm	641.34 μs	1247 m/s	
Rx 5	20 cm	146 cm	Tx 8	140 cm 146 cm	120 cm	1035.04 μs	1159 m/s	
Rx 9	20 cm	106 cm	Tx 10	60 cm 106 cm	40 cm	218.74 μs	1829 m/s	1639 m/s
Rx 9	20 cm	106 cm	Tx 11	100 cm 106 cm	80 cm	525.00 μs	1524 m/s	
Rx 9	20 cm	106 cm	Tx 12	140 cm 106 cm	120 cm	766.56 μs	1565 m/s	
Rx 13	20 cm	66 cm	Tx 14	60 cm 66 cm	40 cm	176.01 μs	2273 m/s	1972 m/s
Rx 13	20 cm	66 cm	Tx 15	100 cm 66 cm	80 cm	417.56 μs	1916 m/s	
Rx 13	20 cm	66 cm	Tx 16	140 cm 66 cm	120 cm	694.44 μs	1728 m/s	
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 5	20 cm 146 cm	40 cm	404.22 μs	990 m/s	1145 m/s
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 9	20 cm 106 cm	80 cm	753.22 μs	1062 m/s	
Rx 1	20 cm	186 cm	Tx 13	20 cm 66 cm	120 cm	867.33 μs	1384 m/s	
Rx 2	60 cm	186 cm	Tx 6	60 cm 146 cm	40 cm	343.96 μs	1163 m/s	1400 m/s
Rx 2	60 cm	186 cm	Tx 10	60 cm 106 cm	80 cm	538.34 μs	1486 m/s	
Rx 2	60 cm	186 cm	Tx 14	60 cm 66 cm	120 cm	773.23 μs	1552 m/s	
Rx 3	100 cm	186 cm	Tx 7	100 cm 146 cm	40 cm	290.12 μs	1379 m/s	1306 m/s
Rx 3	100 cm	186 cm	Tx 11	100 cm 106 cm	80 cm	511.67 μs	1564 m/s	
Rx 3	100 cm	186 cm	Tx 15	100 cm 66 cm	120 cm	1229.67 μs	976 m/s	
Rx 4	140 cm	186 cm	Tx 8	140 cm 146 cm	40 cm	256.52 μs	1559 m/s	1473 m/s
Rx 4	140 cm	186 cm	Tx 12	140 cm 106 cm	80 cm	491.41 μs	1628 m/s	
Rx 4	140 cm	186 cm	Tx 16	140 cm 66 cm	120 cm	974.53 μs	1231 m/s	

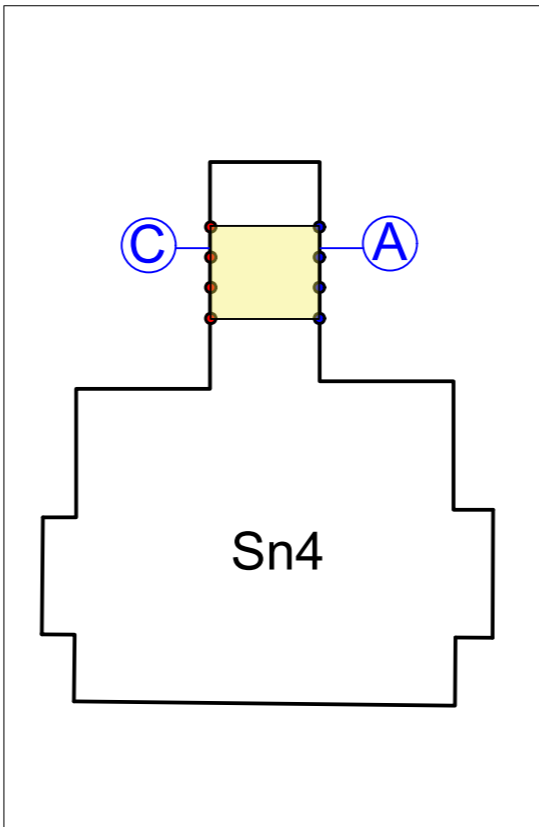
Indagine sonica su pilastro 4_ indagine diretta_Codice prova Sn4



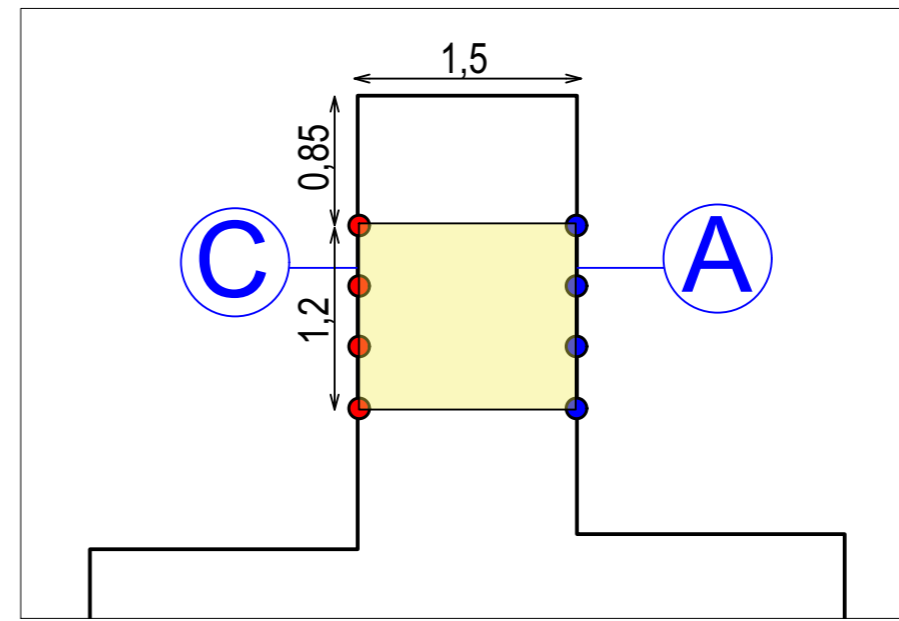
Planimetria e ubicazione del pilastro oggetto di indagine (1/500)



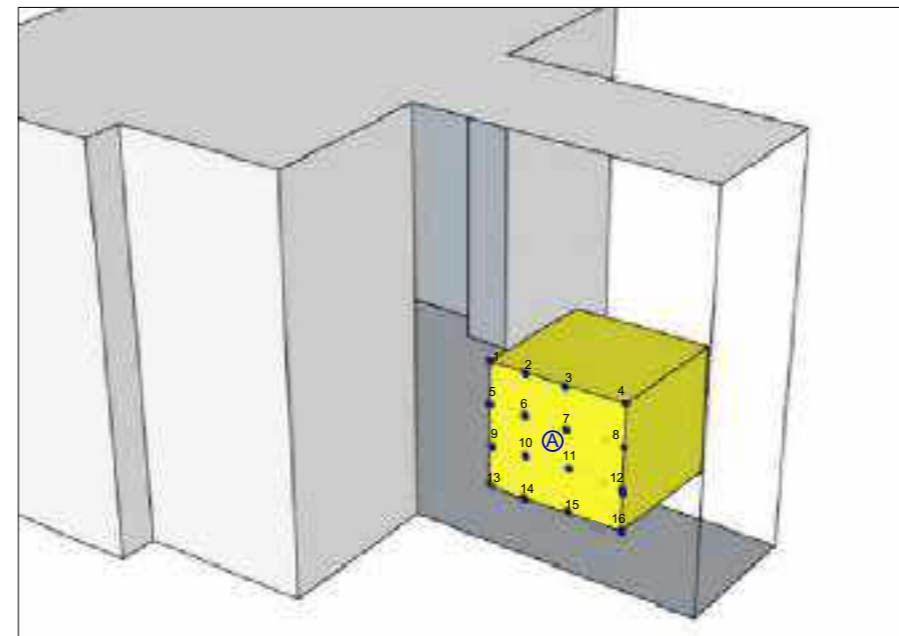
Ubicazione in sezione delle varie facce di indagine del pilastro 4 (1/100)



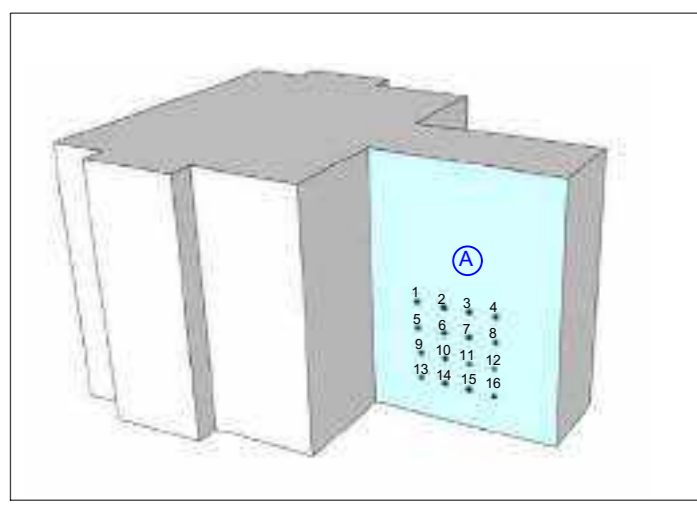
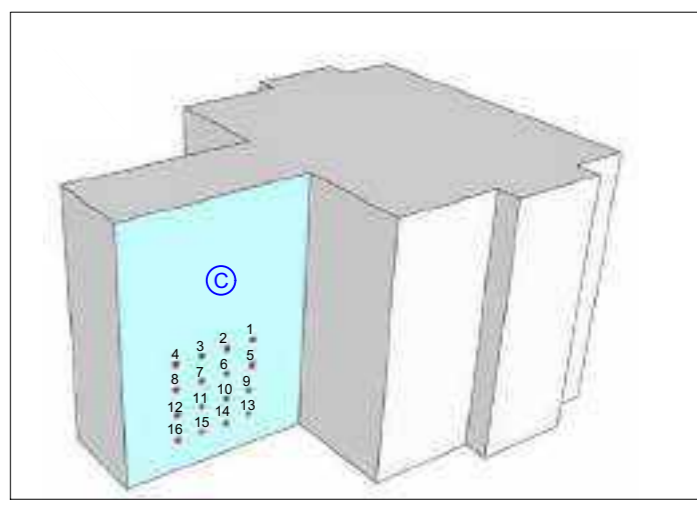
Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 4 (1/100)



Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 4 (1/50)



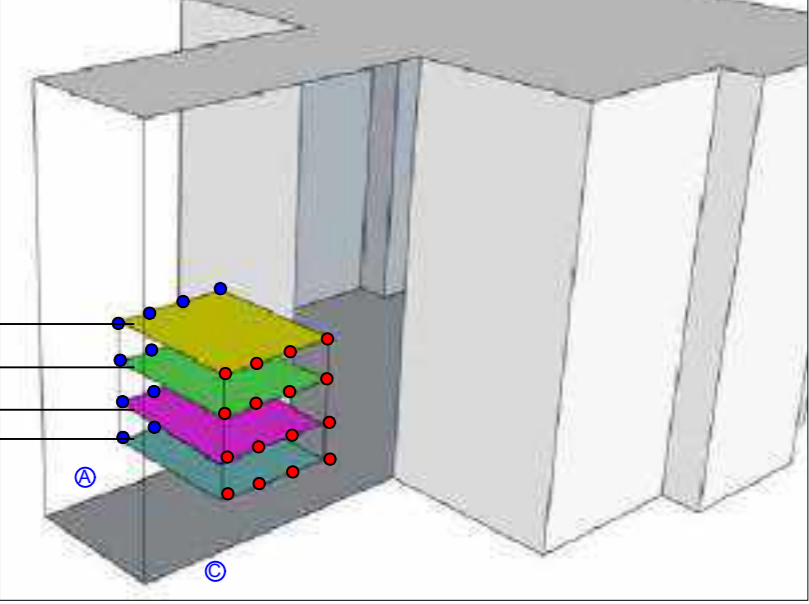
Schema 3D del pilastro 4 e indicazione del volume indagato (in giallo)



Schema 3D del pilastro 2 e facce di indagine con ubicazione dei ricevitori (pallini azzurri) e trasmettitori (pallini rossi)

Schema 3D del pilastro 4 ubicazione dei piani rappresentati

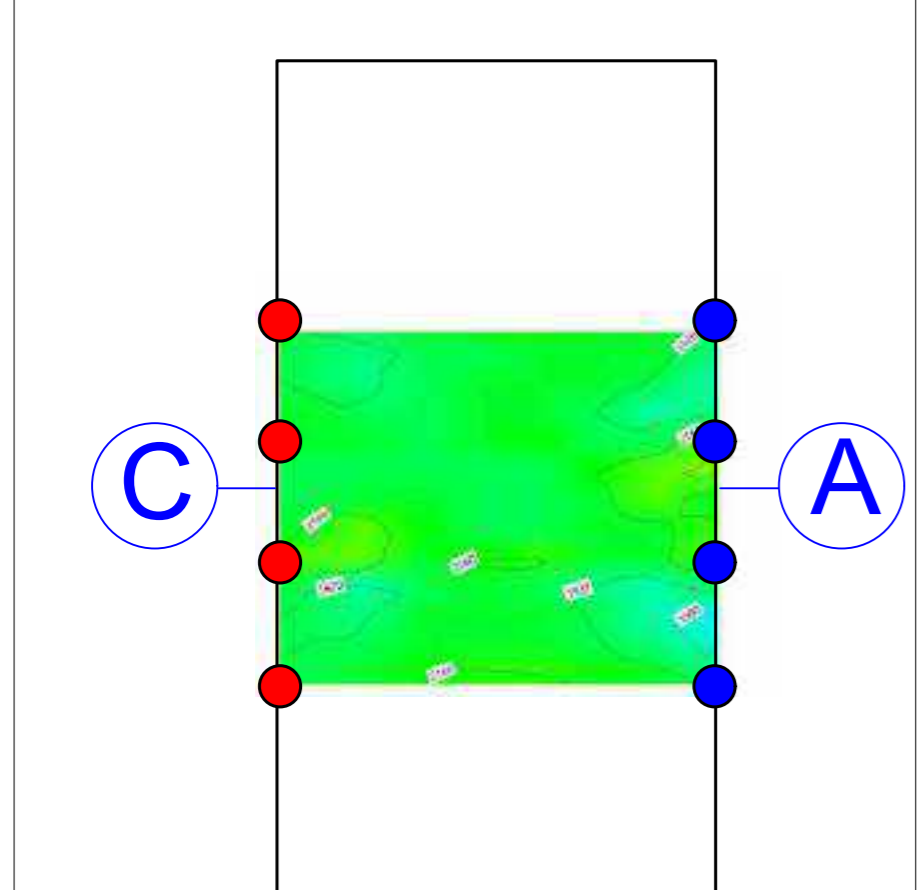
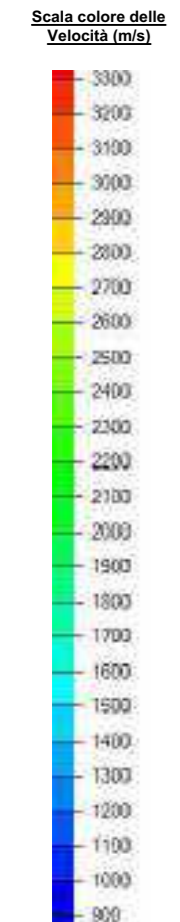
- piano a H 1.86 m
- piano a H 1.46 m
- piano a H 1.06 m
- piano a H 0.66 m



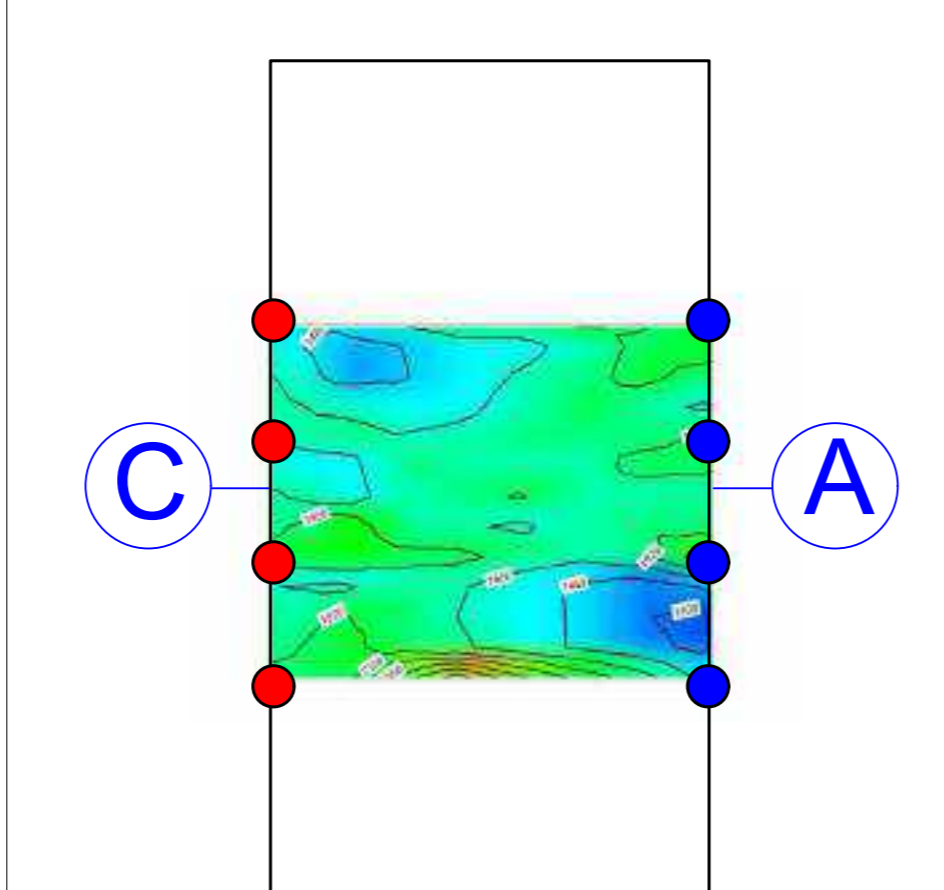
Considerazioni:

- Le velocità dei piani oscillano tra 900 e 3300 m/s.
- Le velocità medie comprese tra 1700 e 2500 m/s corrispondono a zone senza discontinuità.
- Il piano a +0.5 m dal p.c. non presenta variazioni di velocità.
- I piani a +0.9 m e a +1.3 m dal p.c. appaiono omogenei con delle velocità medie di 1700-2000 m/s. Presenza di due zone più lente localizzate.
- Il piano a +1.7 m dal p.c. non presenta variazioni di velocità però la velocità media è più bassa degli altri piani (circa 1000 m/s)

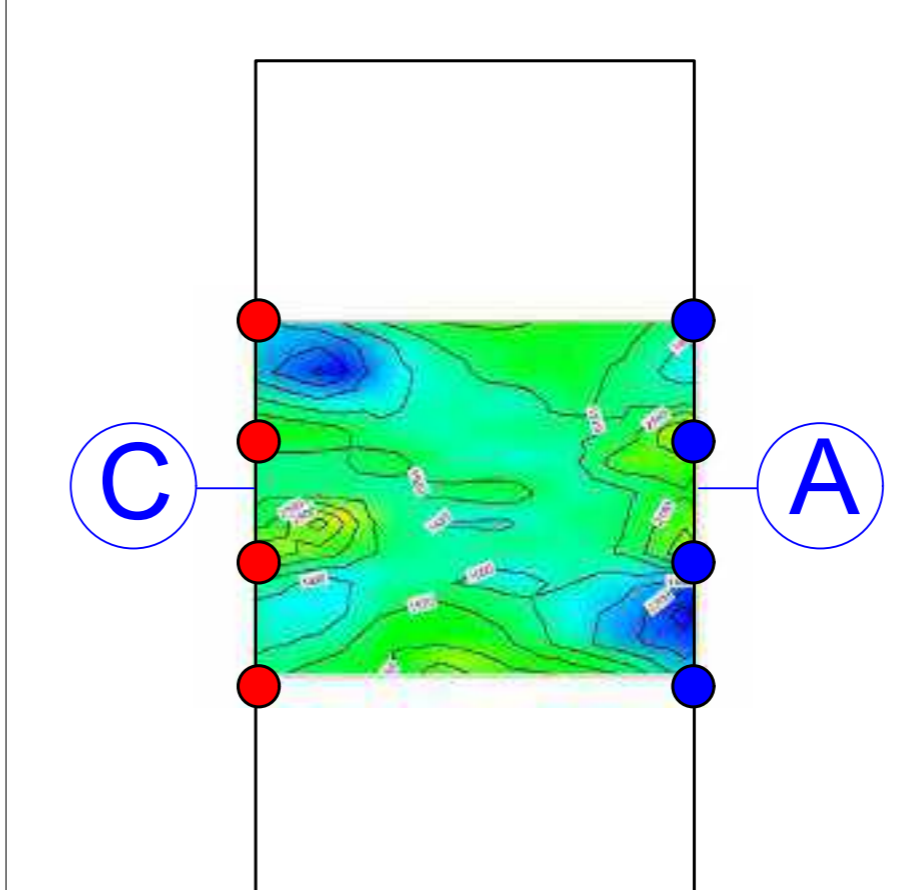
- ⓓ Faccia del pilastro non indagata
- ⓑ Faccia del pilastro indagata
- Trasmettitore (martello strumentato)
- Ricevitore (Sonda)
- superficie indagata



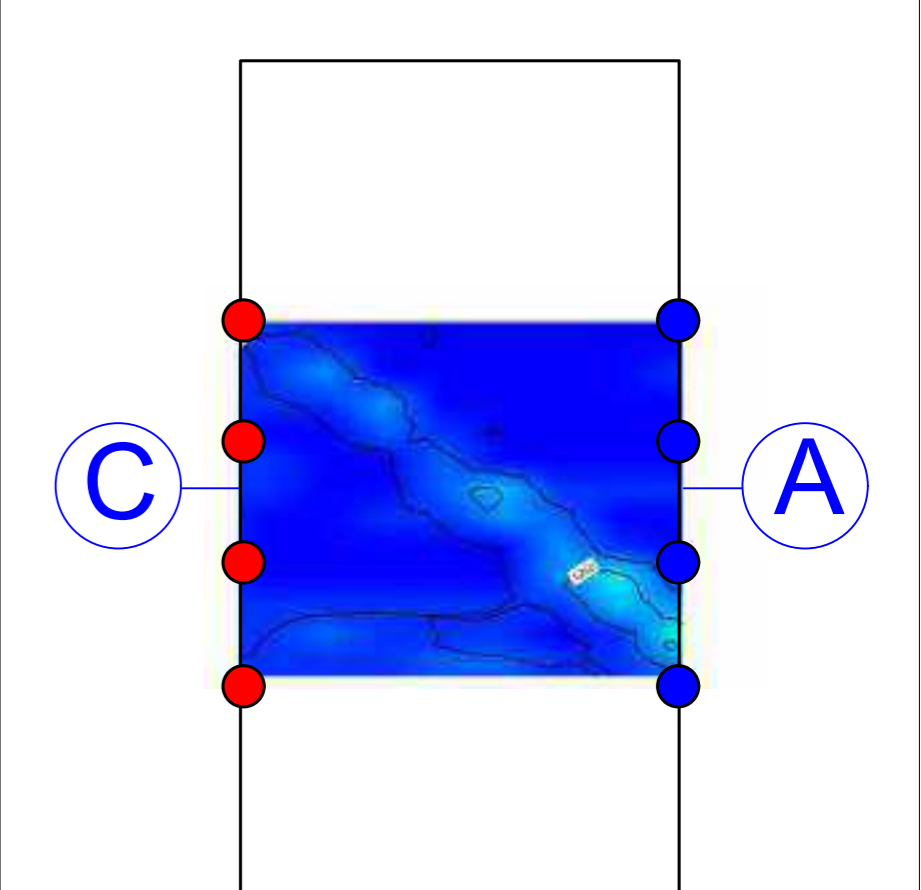
Piano a H0.5 m dal p.c.



Piano a H0.9 m dal p.c.



Piano a H1.3 m dal p.c.

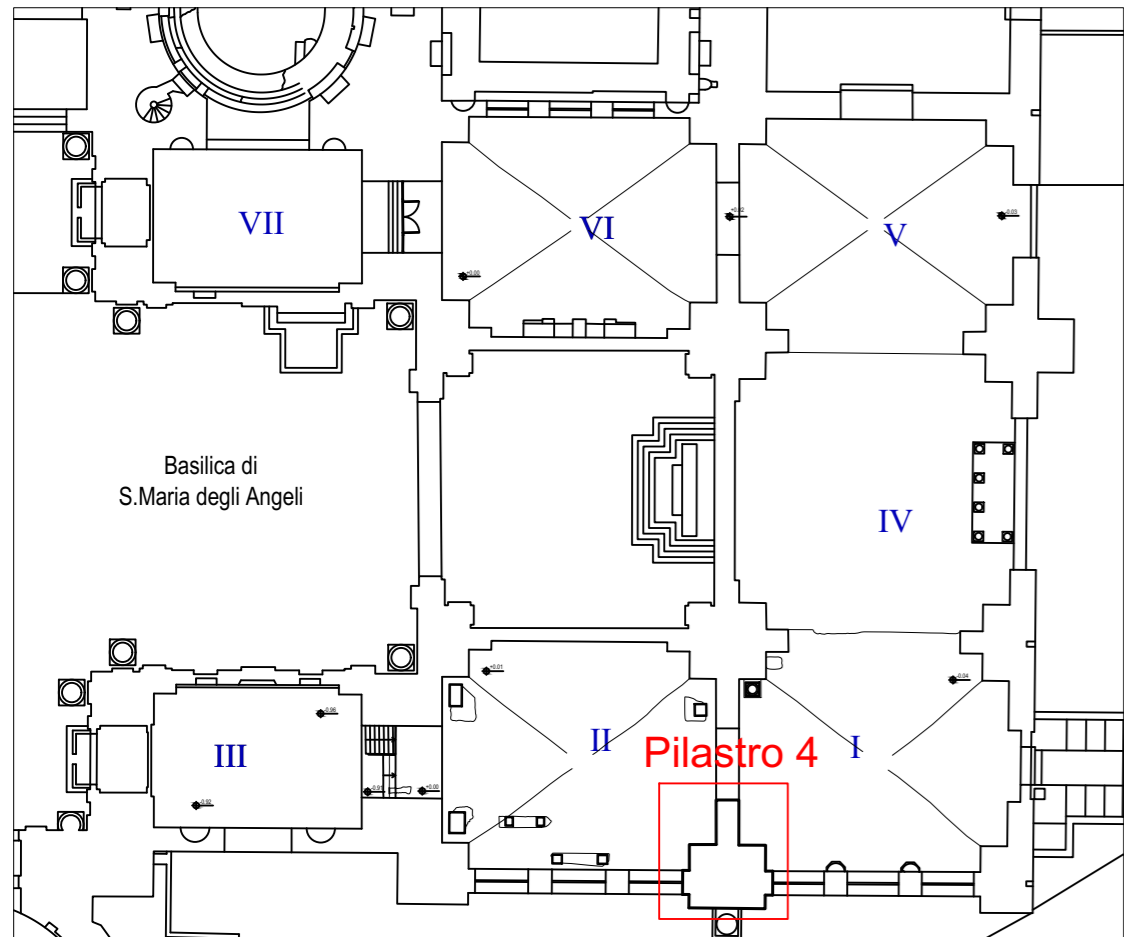


Piano a H1.7 m dal p.c.

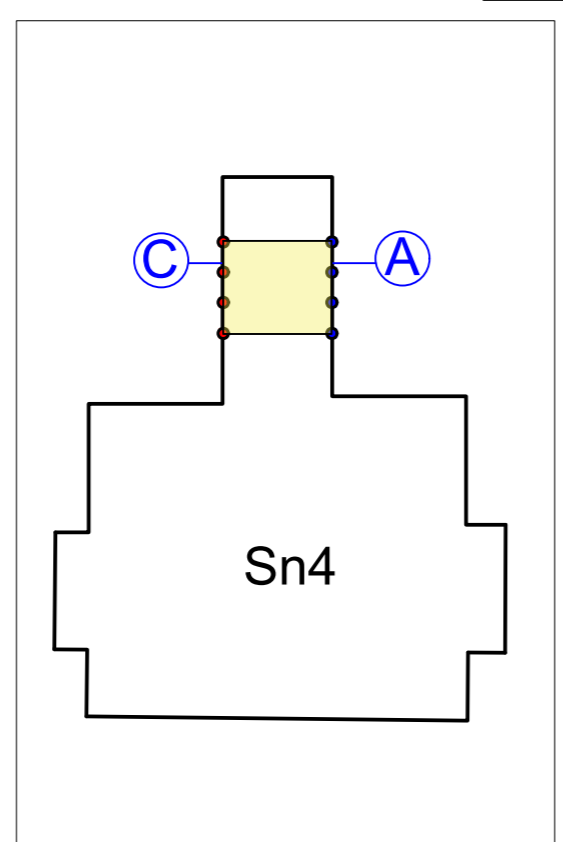
* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>OGGETTO Indagine Sonica su pilastro 4_Indagine diretta_Codice prova Sn4</p>		<p>TAVOLA 5</p>
			<p>ELABORAZIONE Nicola Ardito VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA Settembre 2022</p>	

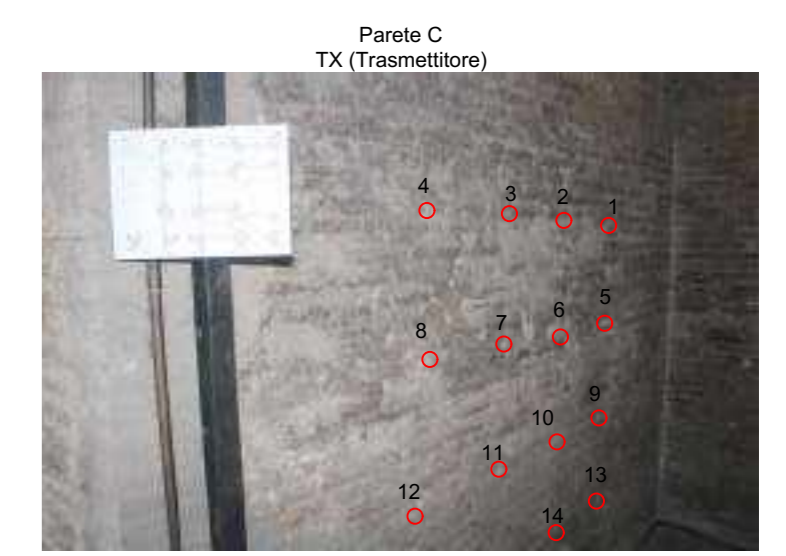
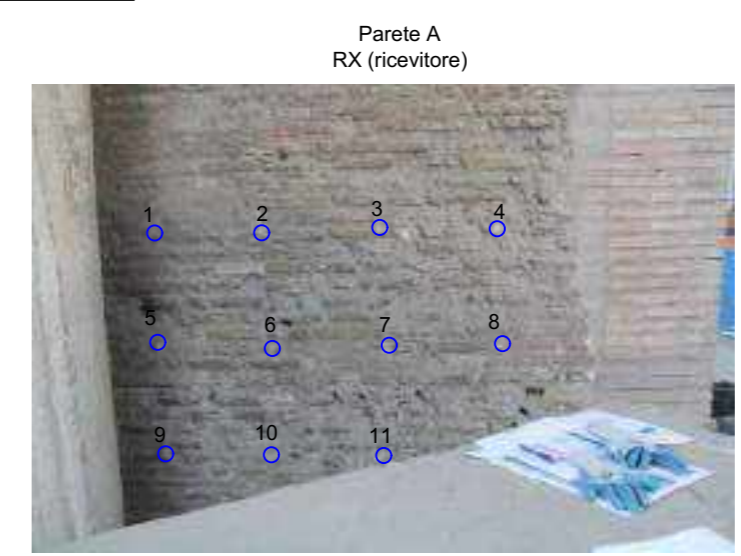
Indagine sonica su pilastro 4_ indagine diretta_Codice prova Sn4



Planimetria e ubicazione del pilastro oggetto di indagine (1/500)



Ubicazione in sezione della zona di indagine sul pilastro 4 (1/100)

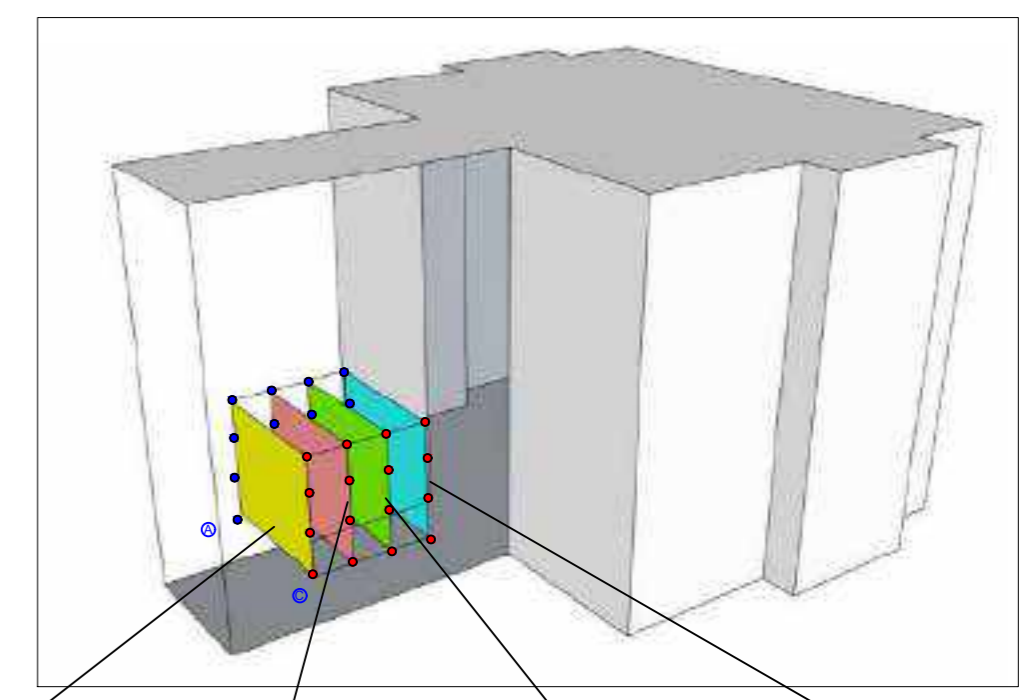


Schema 3D del pilastro 4 ubicazione dei piani rappresentati

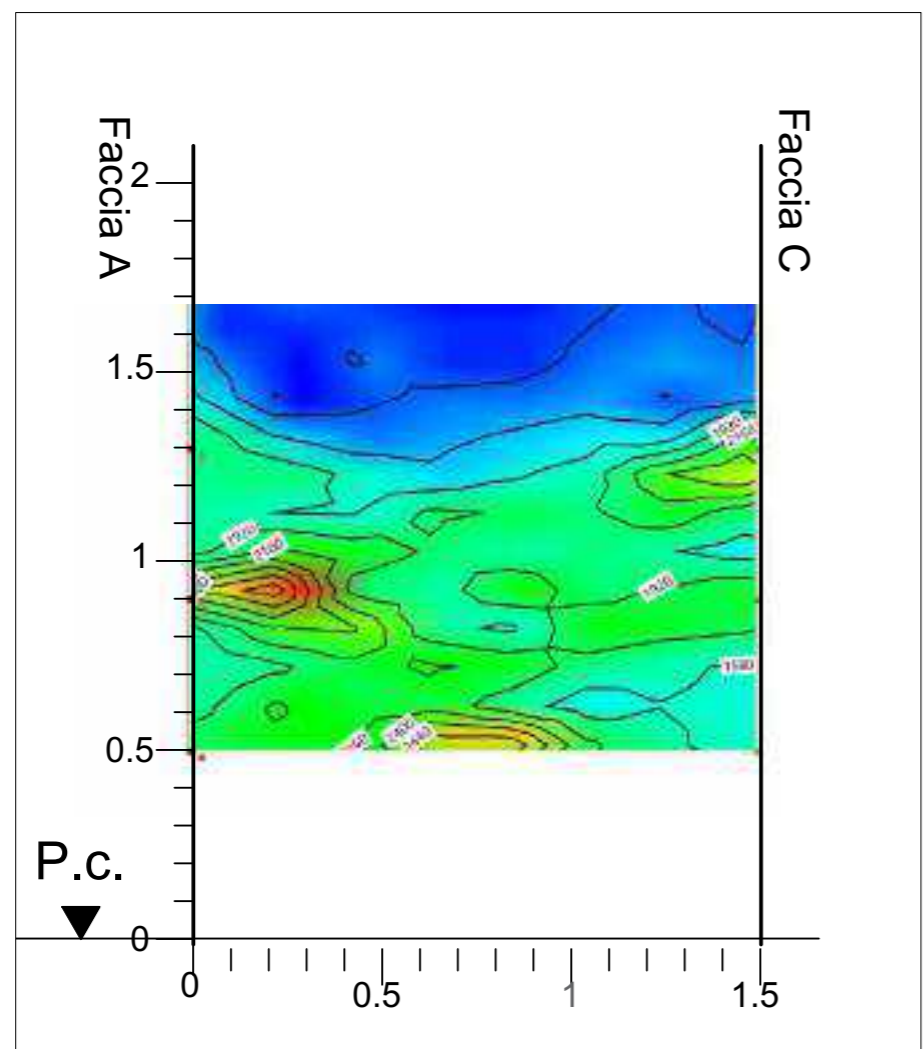
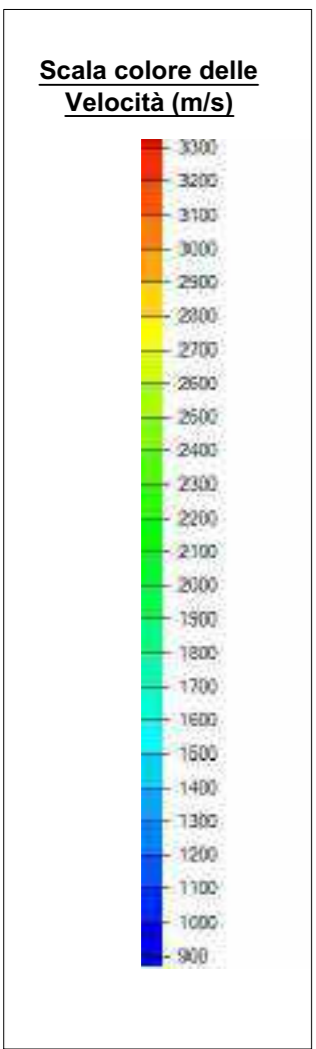
- Ⓓ Faccia del pilastro non indagata
- Ⓑ Faccia del pilastro indagata
- Trasmittitore (martello strumentato)
- Ricevitore (Sonda)
- superficie indagata

- Considerazioni:**
- Le velocità sulle 4 sezioni verticali oscillano tra 900 e 3300 m/s.
 - Le velocità medie comprese tra 1700 e 2500 m/s corrispondono a zone senza discontinuità.
 - Le sezioni appaiono omogenee (con velocità media 1700-200 m/s) senza variazioni importanti tra h 0.5 m e h 1.3 m. Invece tra 1.3 e 1.7 m dal p.c. si nota un abbassamento della velocità con un valore medio di 1000 m/s.

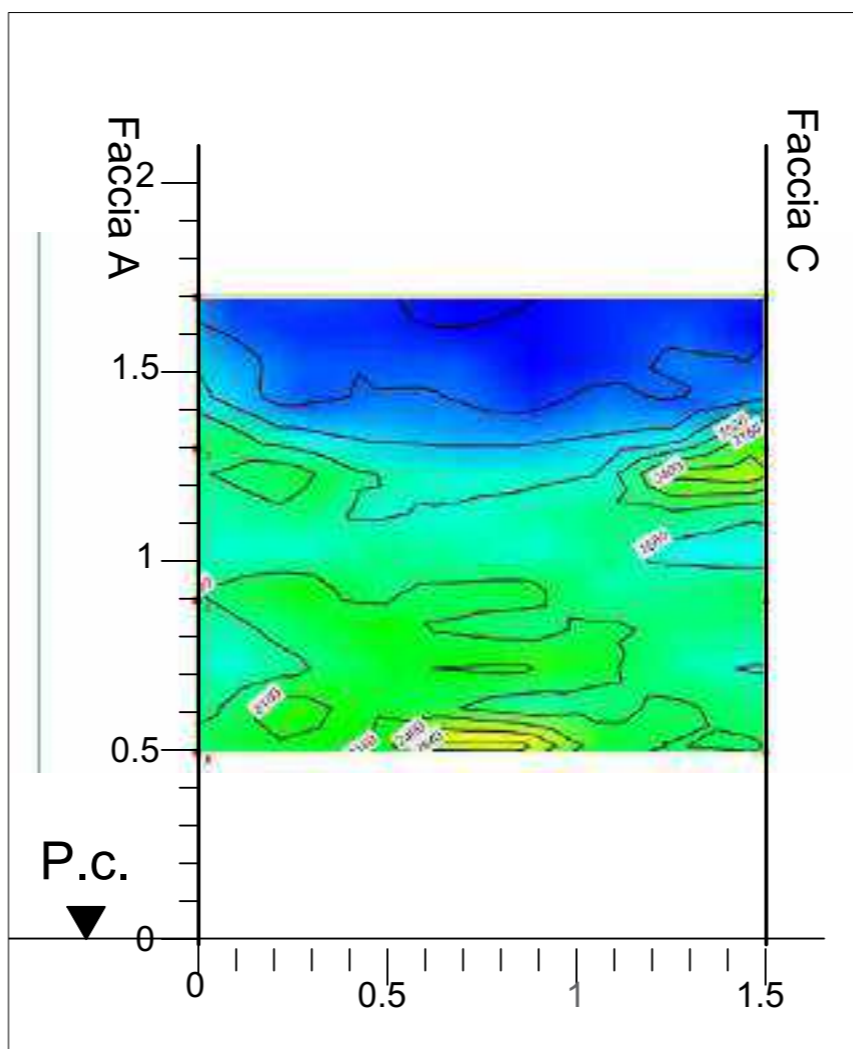
Schema 3D del pilastro 4 e piani rappresentati



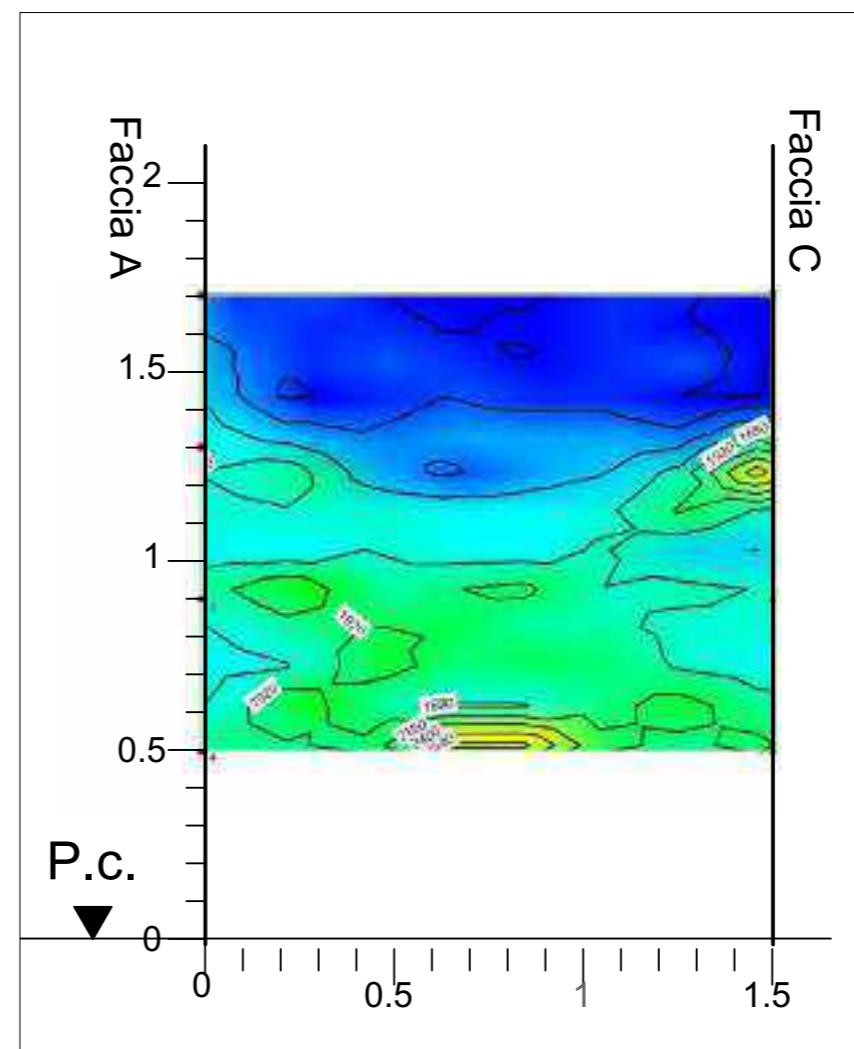
Sezione verticale 1 Sezione verticale 2 Sezione verticale 3 Sezione verticale 4



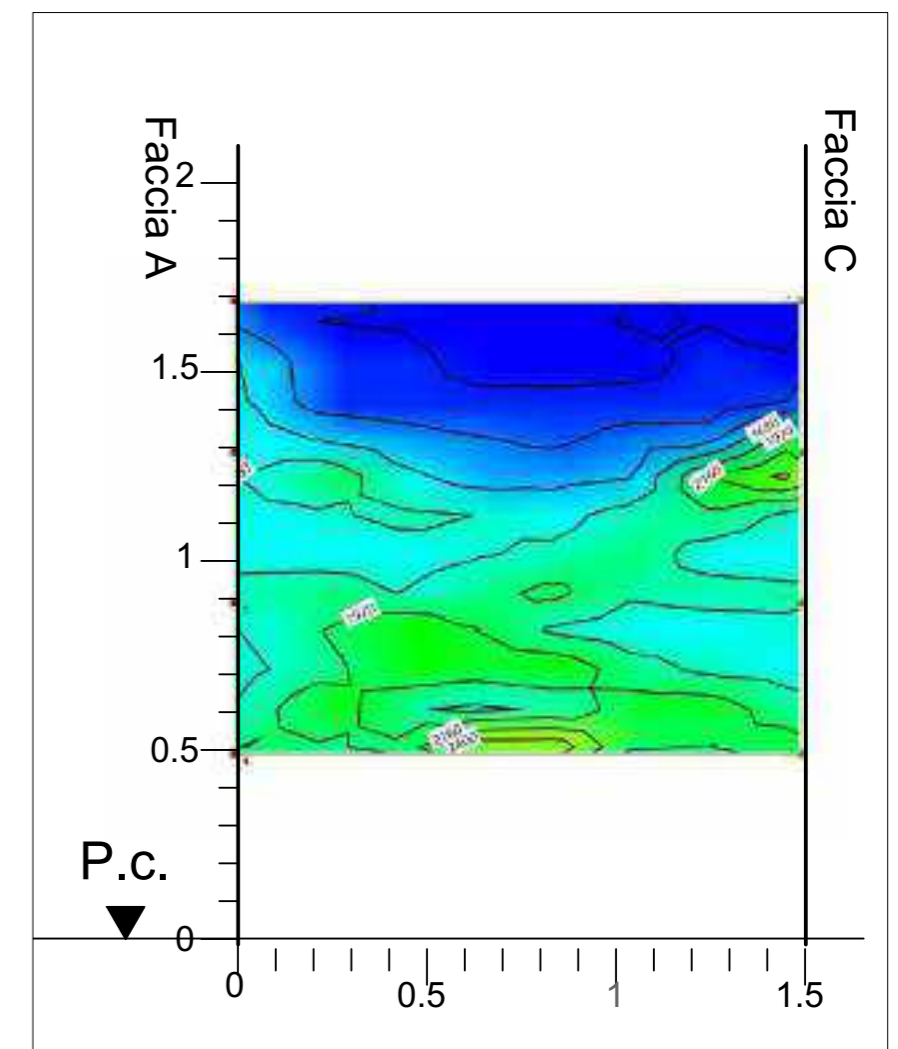
Sezione verticale 1



Sezione verticale 2



Sezione verticale 3

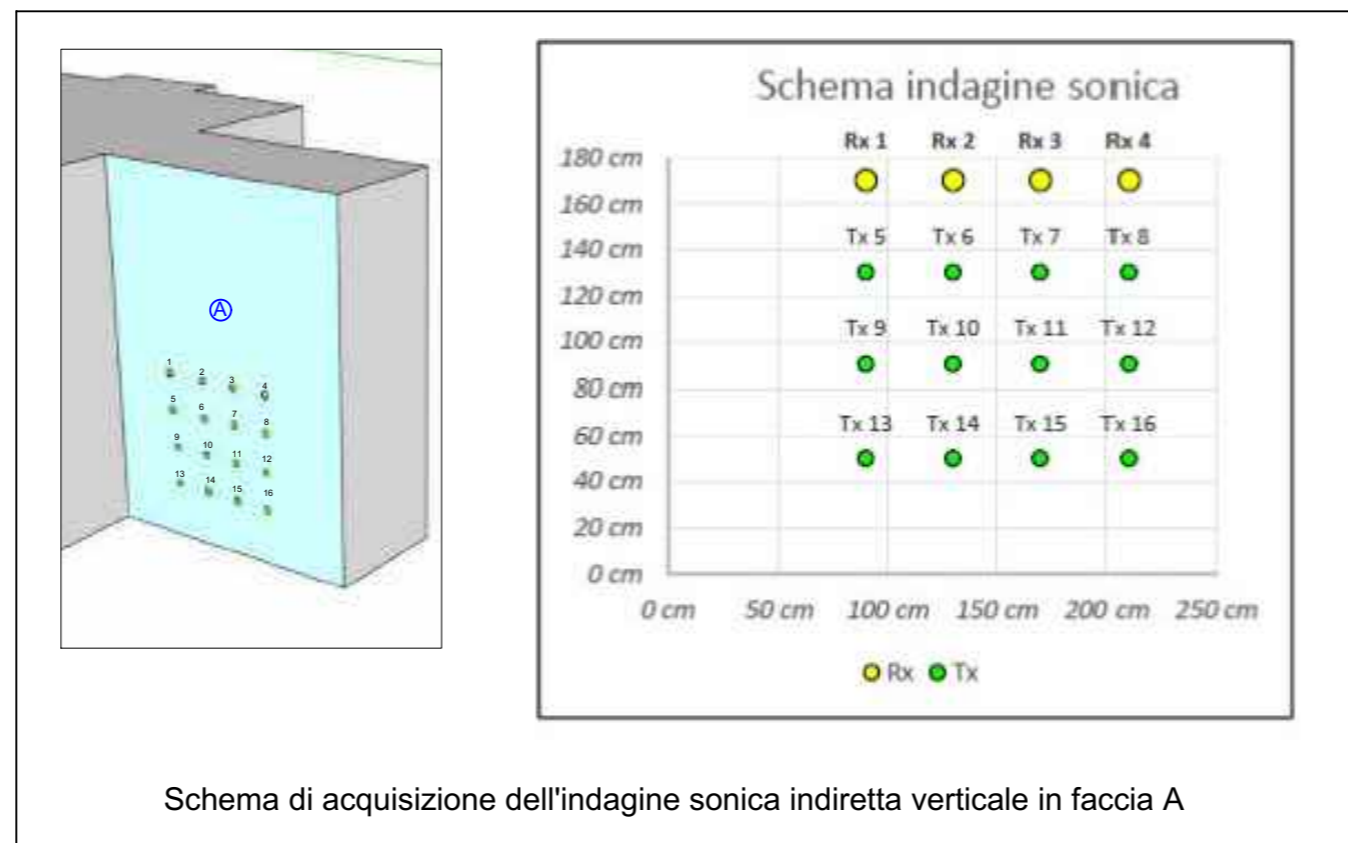
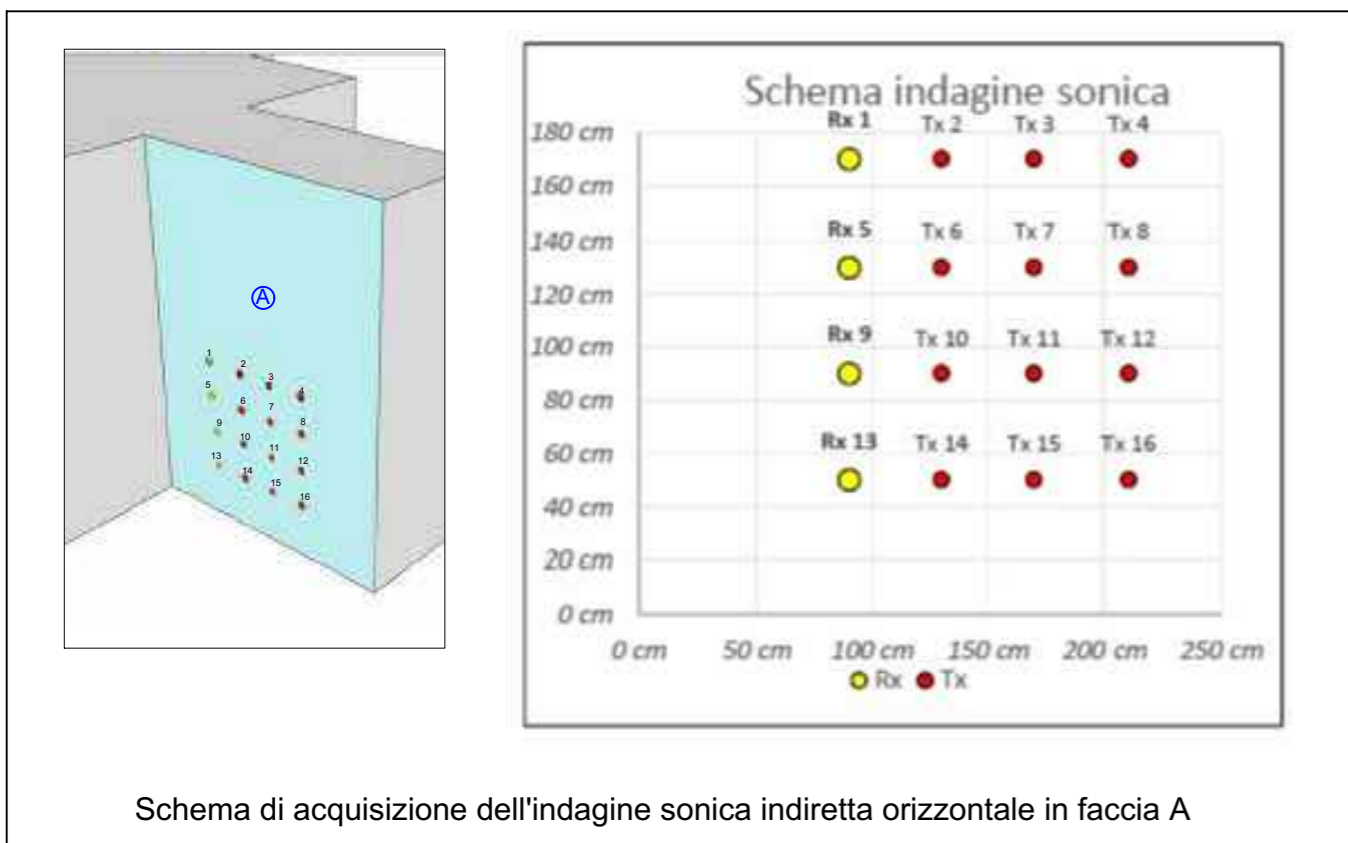


Sezione verticale 4

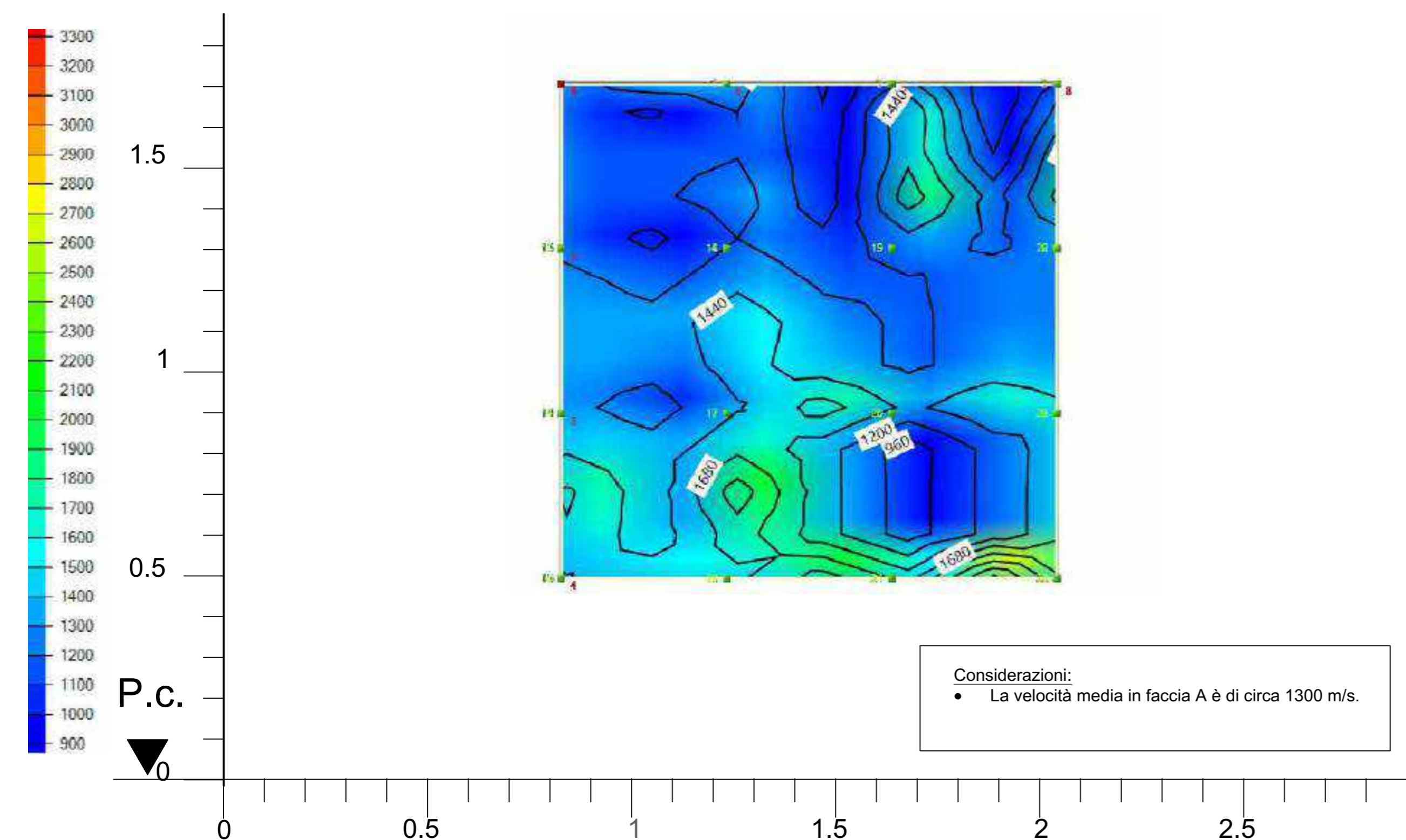
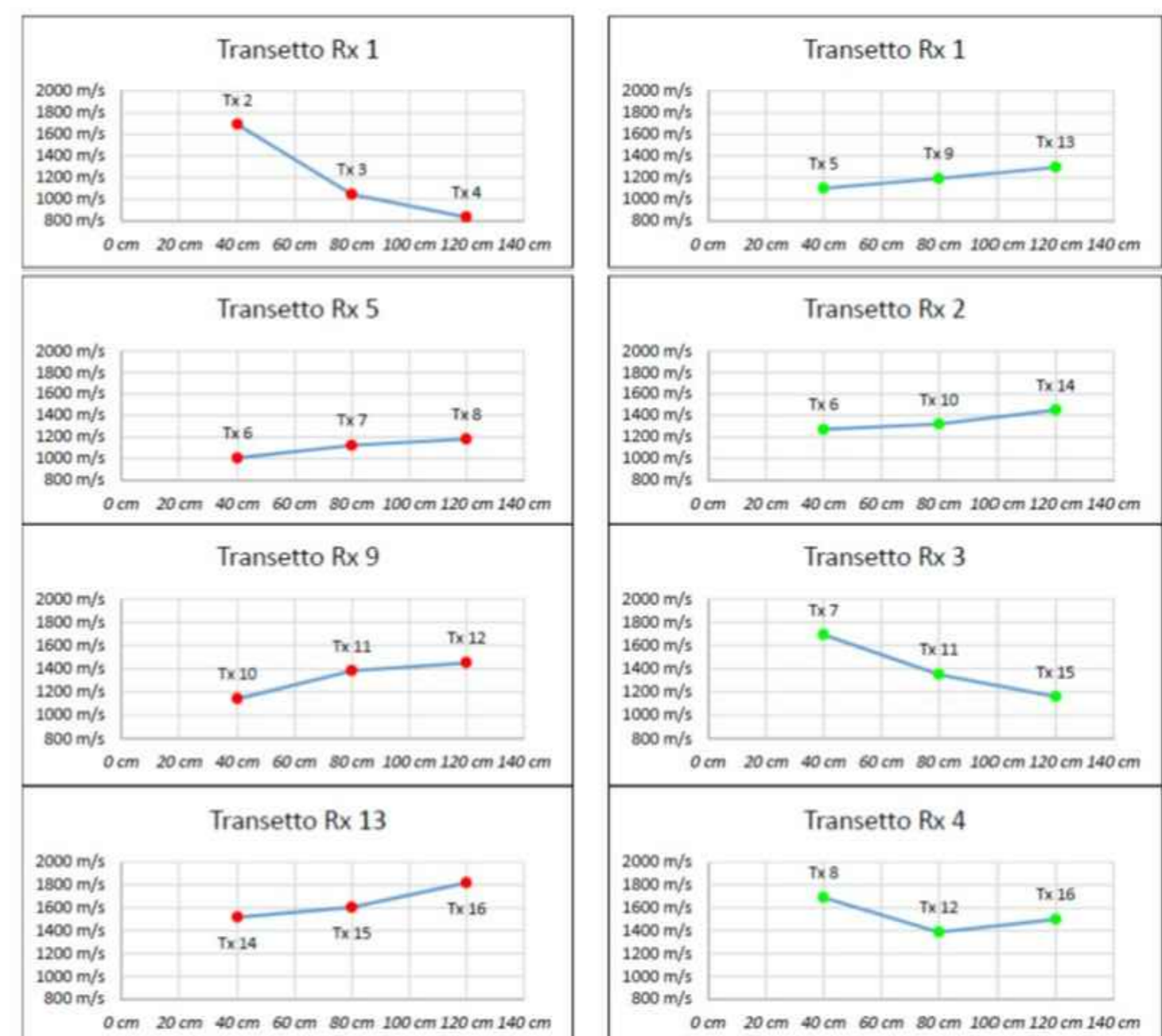
* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine Sonica su pilastro 4_Indagine diretta_Codice prova Sn4</p>		<p>TAVOLA</p> <p>6</p>
			<p>ELABORAZIONE Nicola Ardito VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA</p> <p>Settembre 2022</p>	

Indagine sonica su pilastro 4_Indagine indiretta in faccia A_ Codice prova Sn4

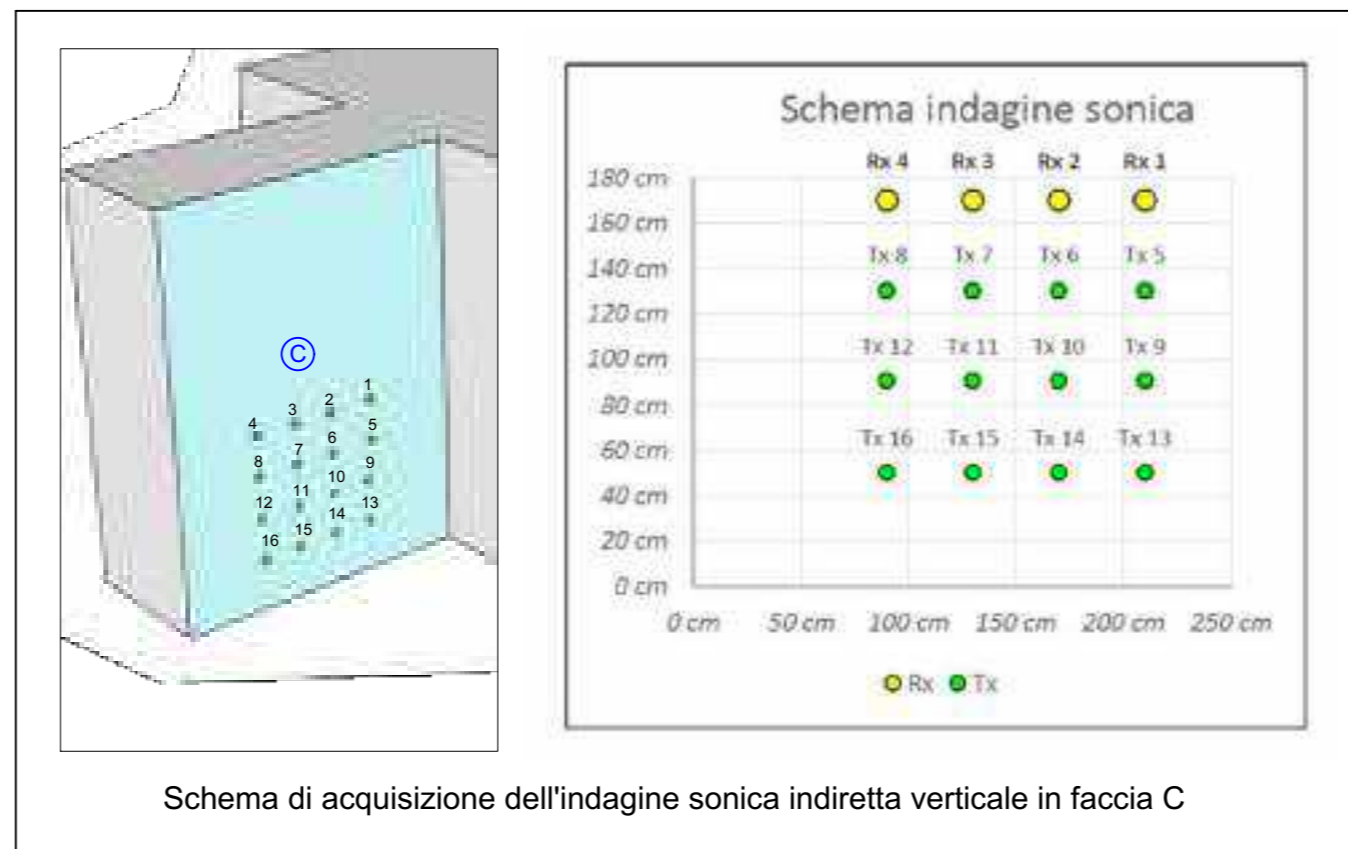
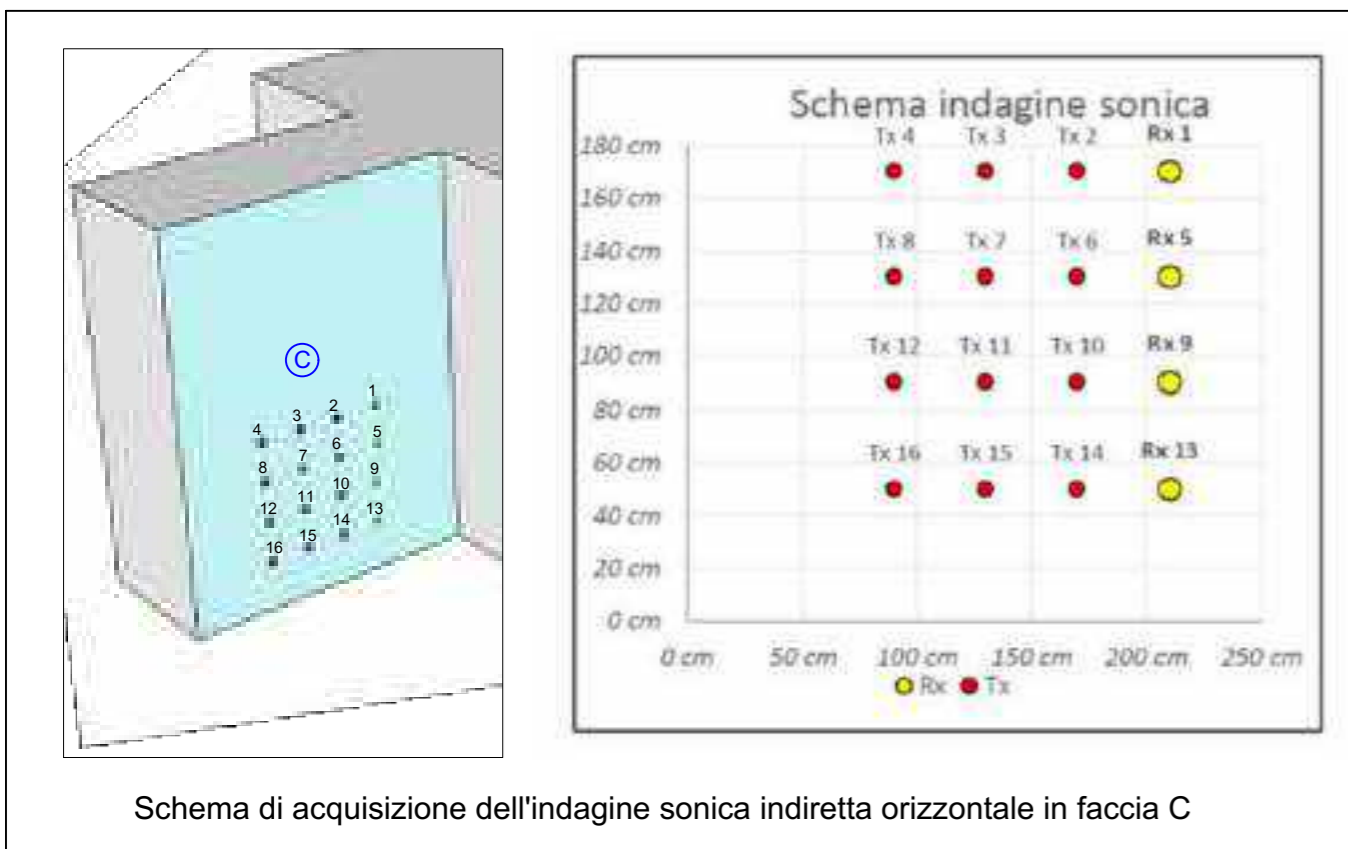


* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".

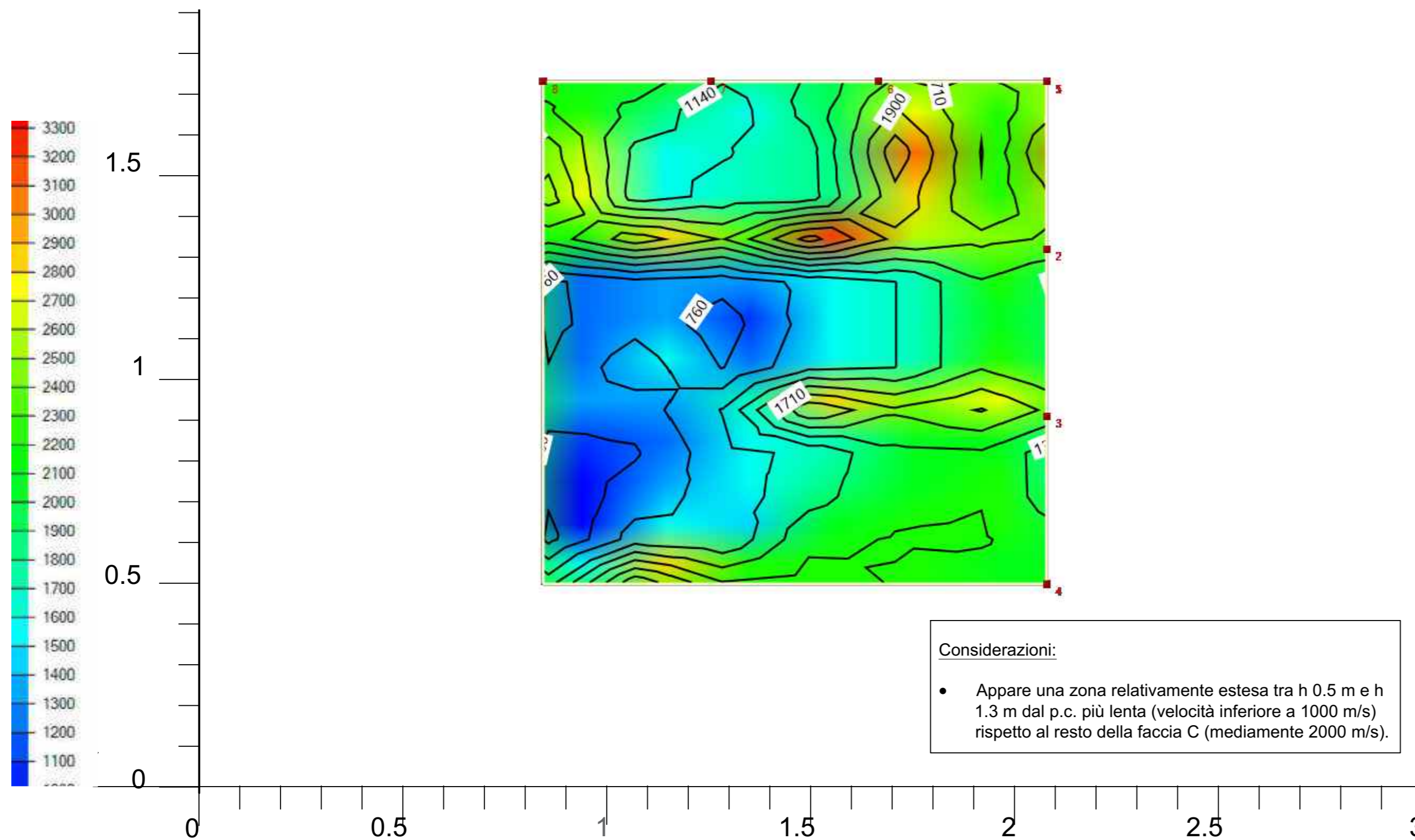
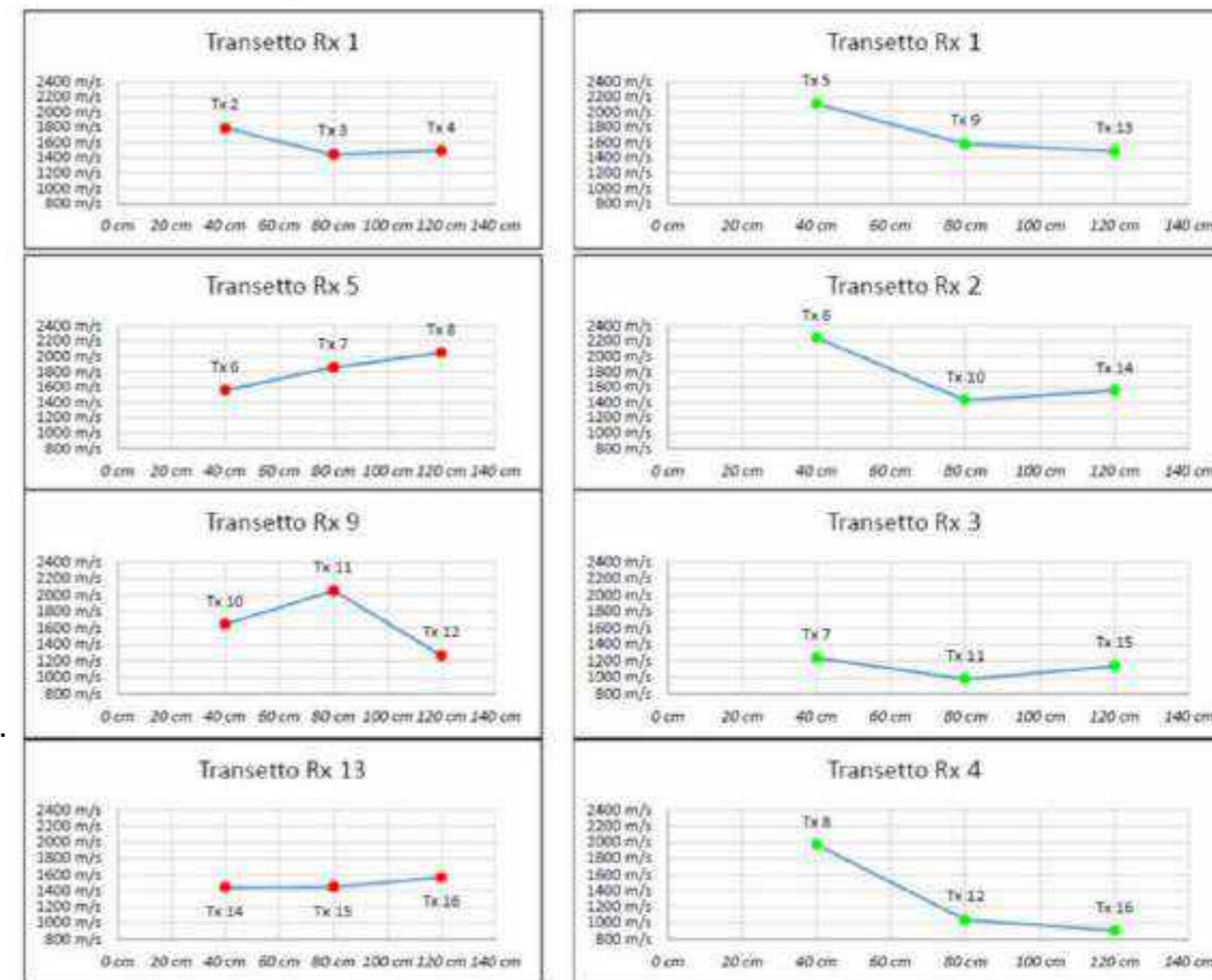


	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	Distanza (cm)	Tempo di volo (µs)	Velocità m/s	Media transetto
Rx 1	90	170	Tx 2	130	170	40	236.52	1691
Rx 1	90	170	Tx 3	170	170	80	766.56	1044
Rx 1	90	170	Tx 4	210	170	120	1444.30	831
Rx 5	90	130	Tx 6	130	130	40	397.56	1006
Rx 5	90	130	Tx 7	170	130	80	712.96	1122
Rx 5	90	130	Tx 8	210	130	120	1016.02	1181
Rx 9	90	90	Tx 10	130	90	40	350.63	1141
Rx 9	90	90	Tx 11	170	90	80	578.60	1383
Rx 9	90	90	Tx 12	210	90	120	827.07	1451
Rx 13	90	50	Tx 14	130	50	40	263.44	1518
Rx 13	90	50	Tx 15	170	50	80	498.08	1606
Rx 13	90	50	Tx 16	210	50	120	659.12	1821
Rx 1	90	170	Tx 5	90	130	40	363.97	1099
Rx 1	90	170	Tx 9	90	90	80	672.70	1189
Rx 1	90	170	Tx 13	90	50	120	927.60	1294
Rx 2	130	170	Tx 6	130	130	40	314.81	1271
Rx 2	130	170	Tx 10	130	90	80	605.52	1321
Rx 2	130	170	Tx 14	130	50	120	827.07	1451
Rx 3	170	170	Tx 7	170	130	40	236.52	1691
Rx 3	170	170	Tx 11	170	90	80	592.18	1351
Rx 3	170	170	Tx 15	170	50	120	1035.04	1159
Rx 4	210	170	Tx 8	210	130	40	236.52	1691
Rx 4	210	170	Tx 12	210	90	80	576.38	1388
Rx 4	210	170	Tx 16	210	50	120	800.15	1500

Indagine sonica su pilastro 4_Indagine indiretta in faccia C_ Codice prova Sn4

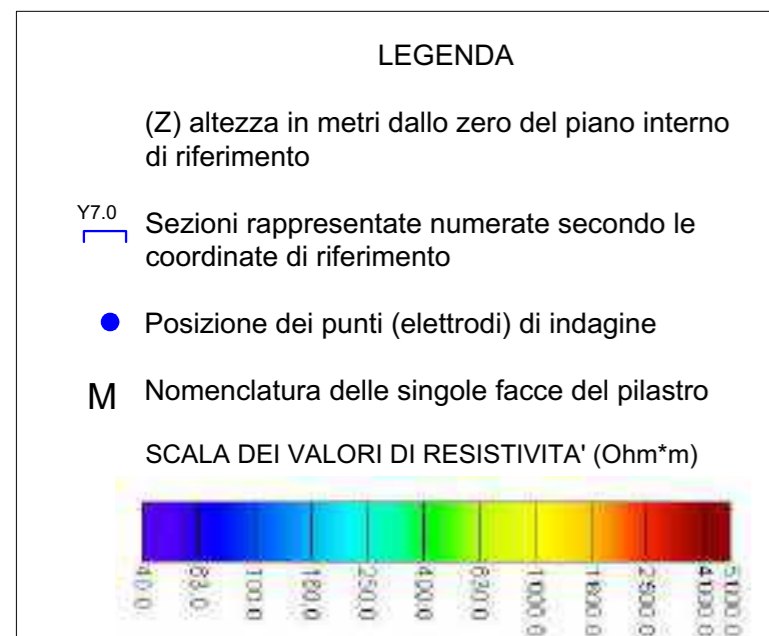
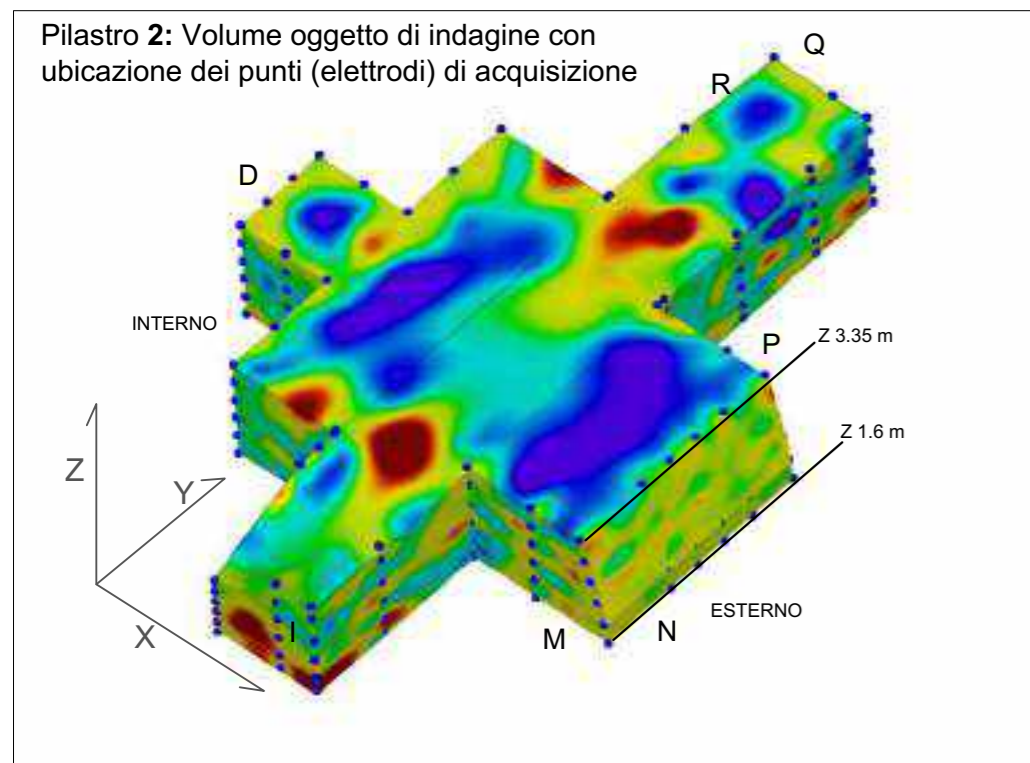
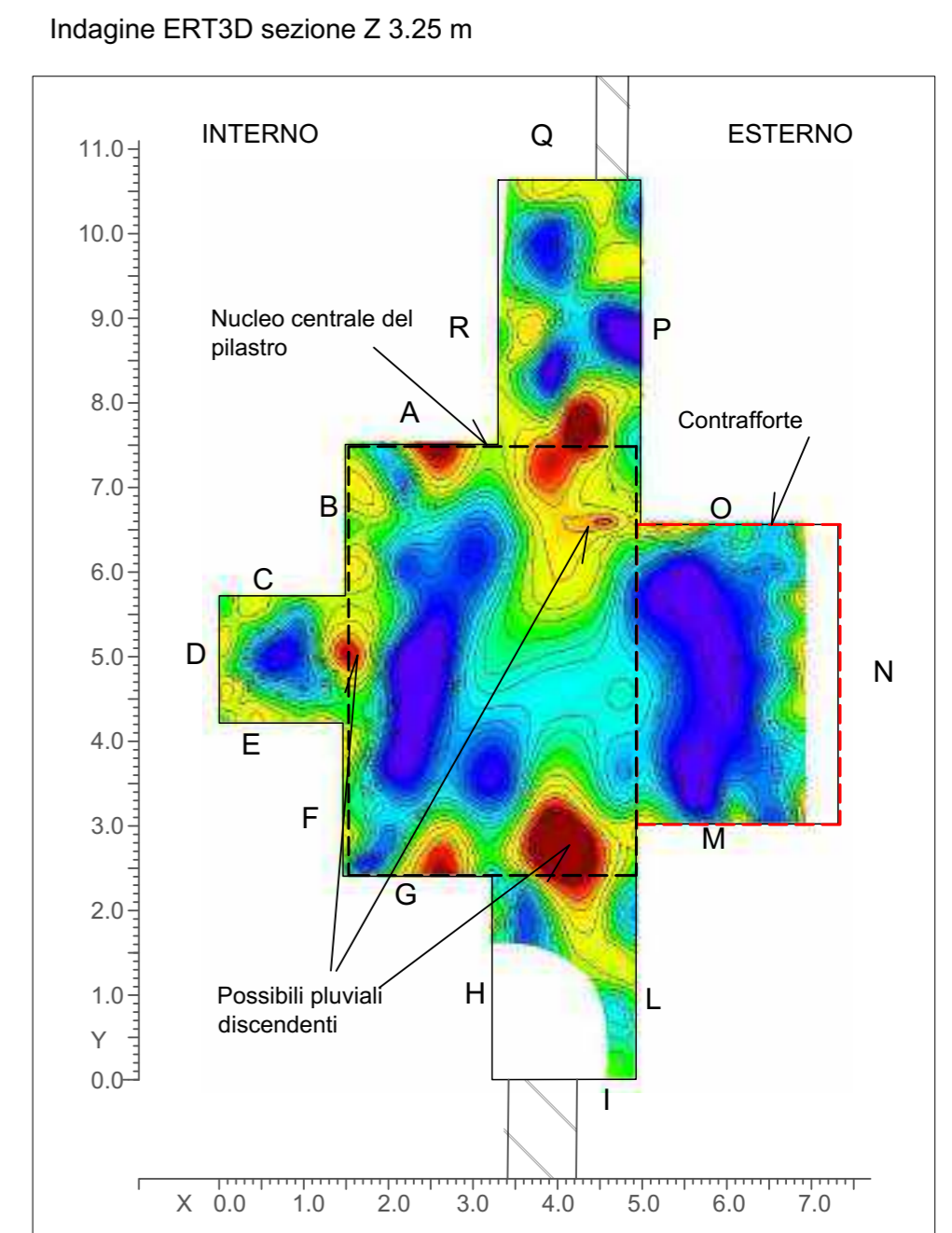
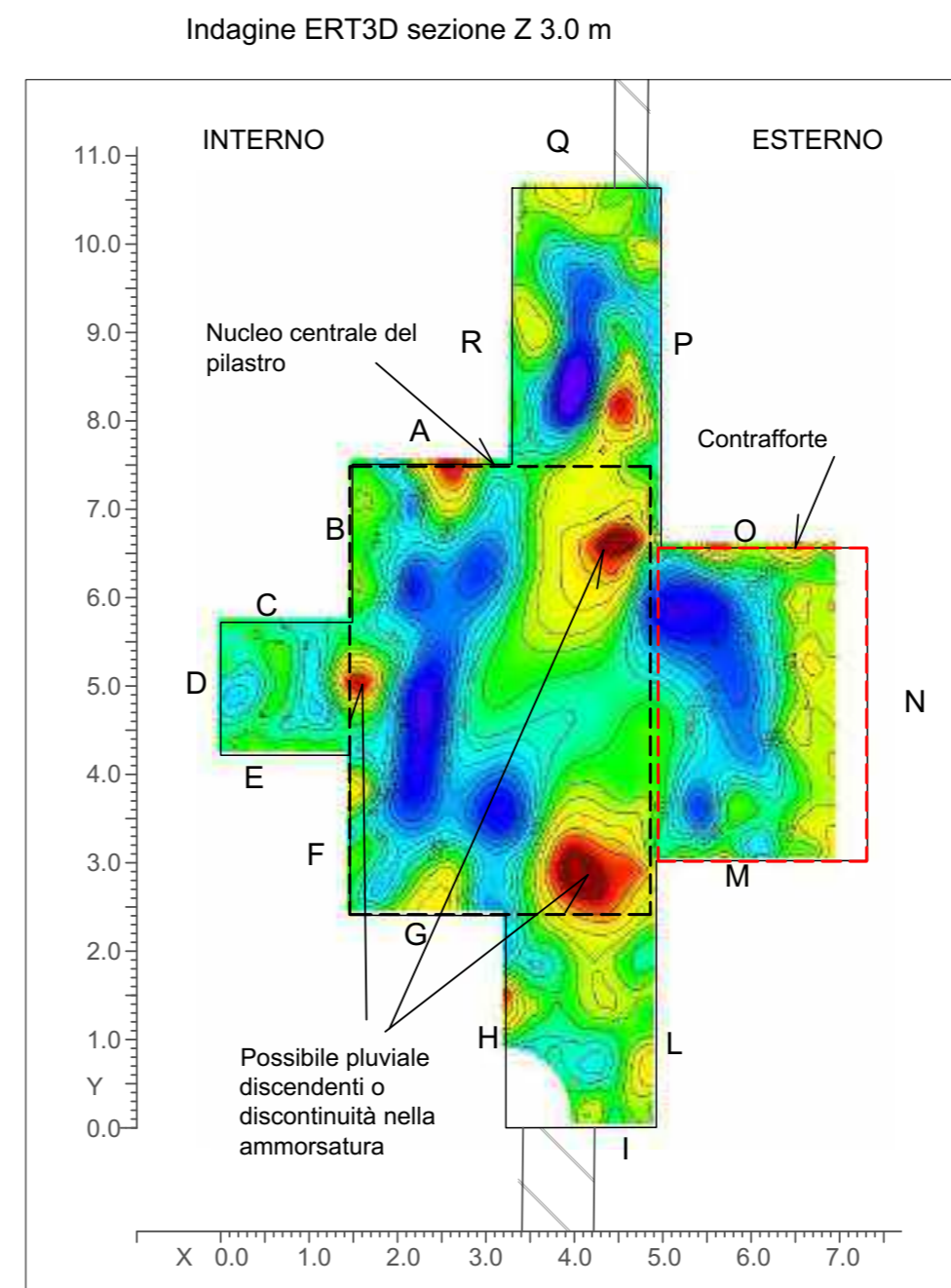
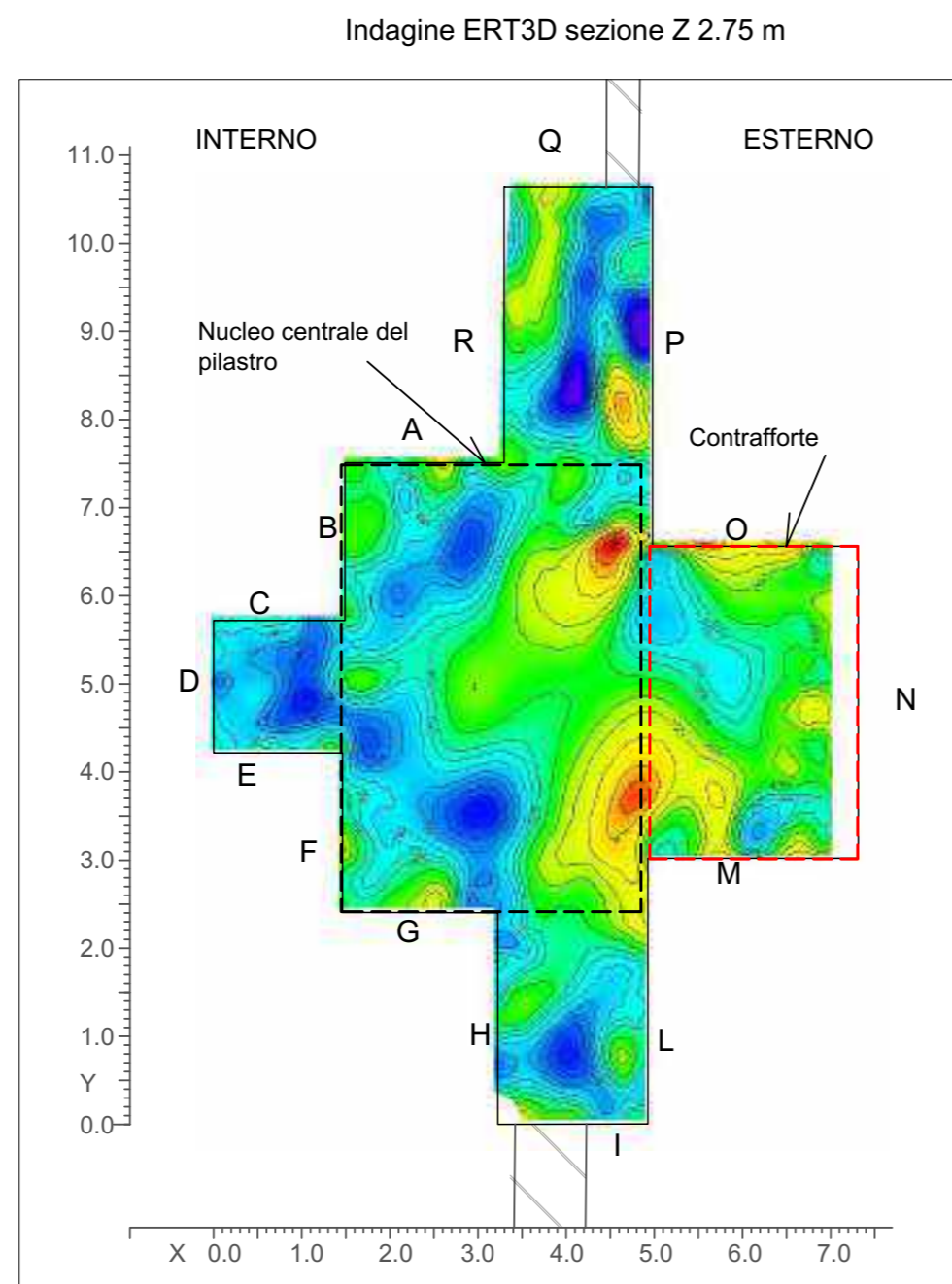
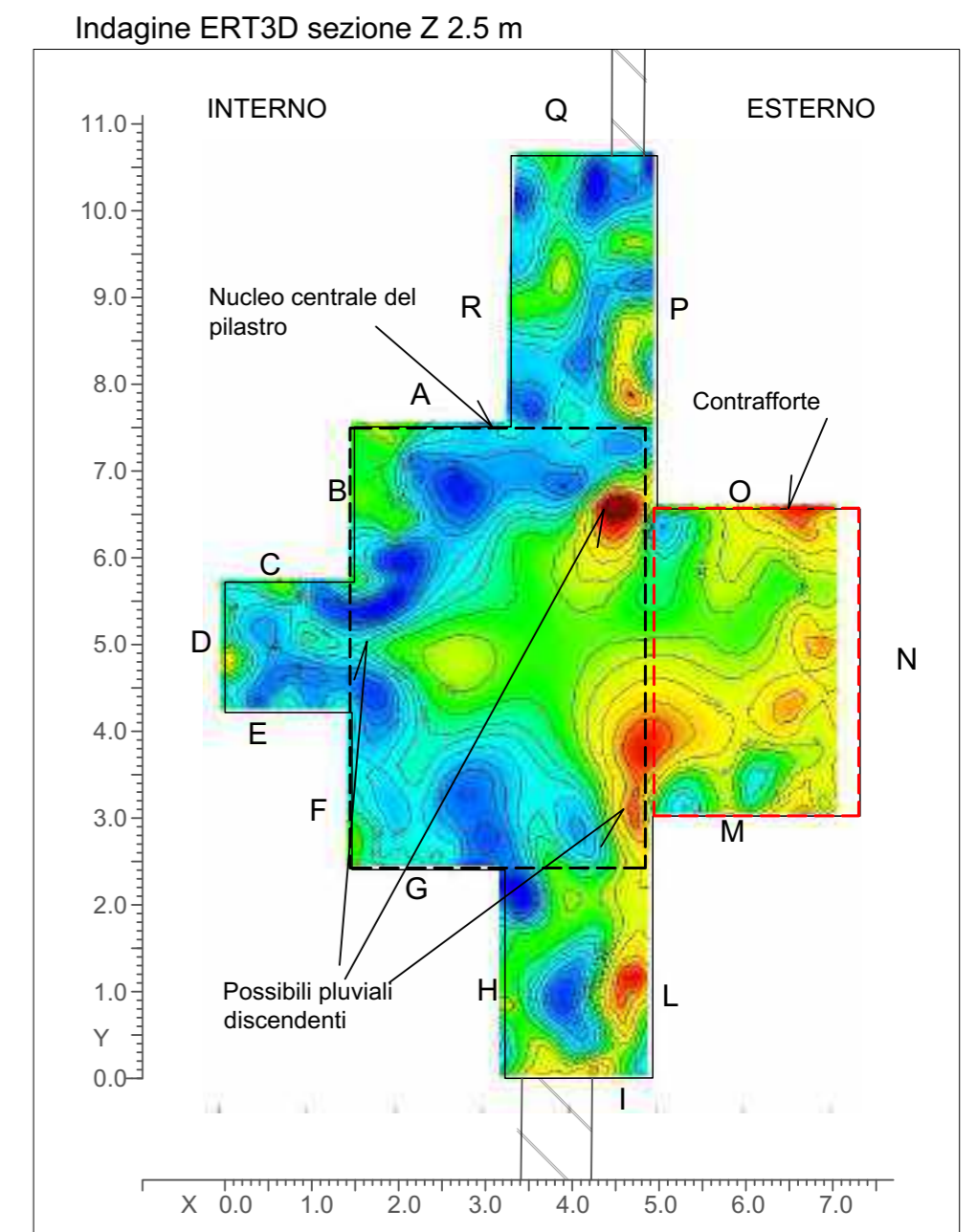
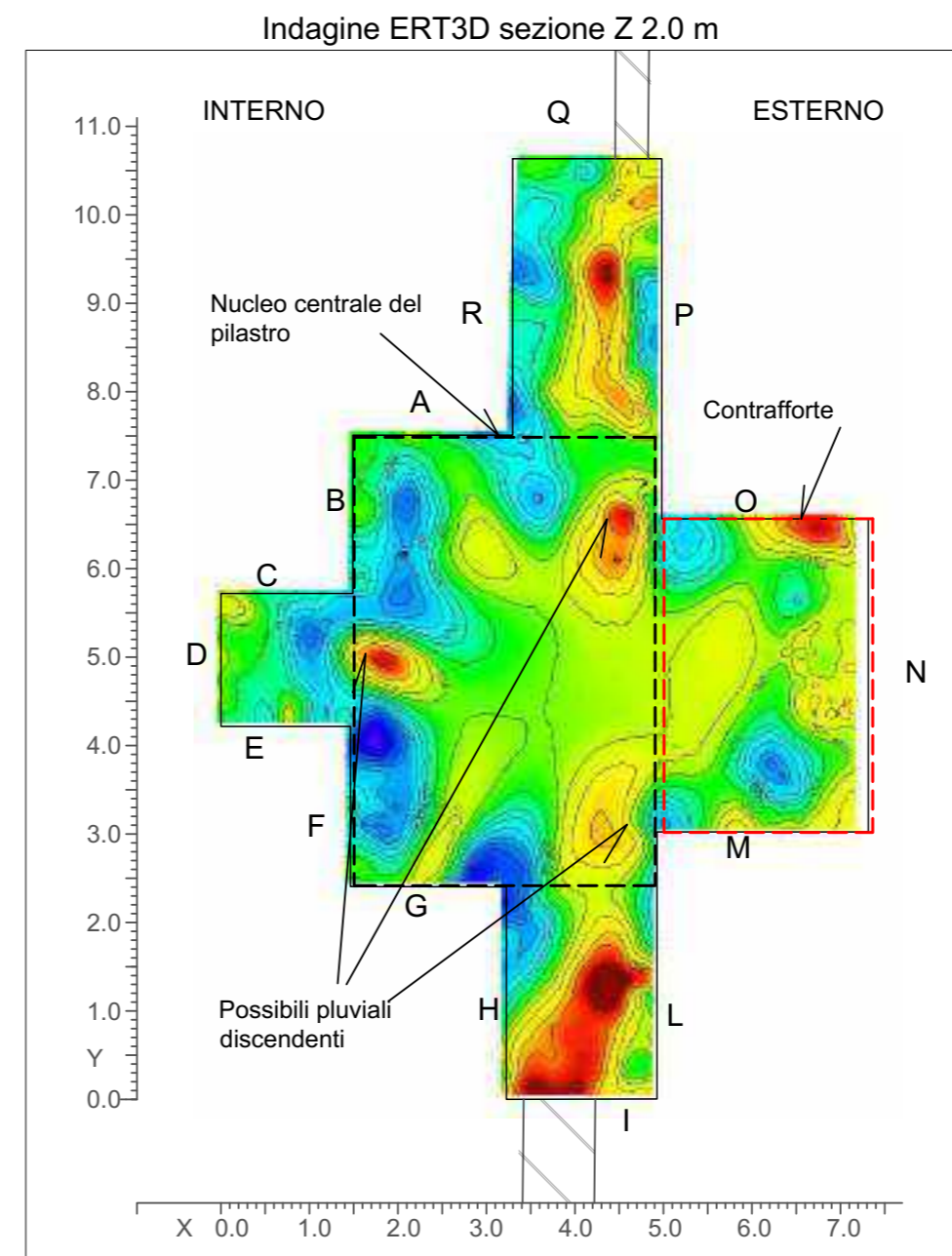
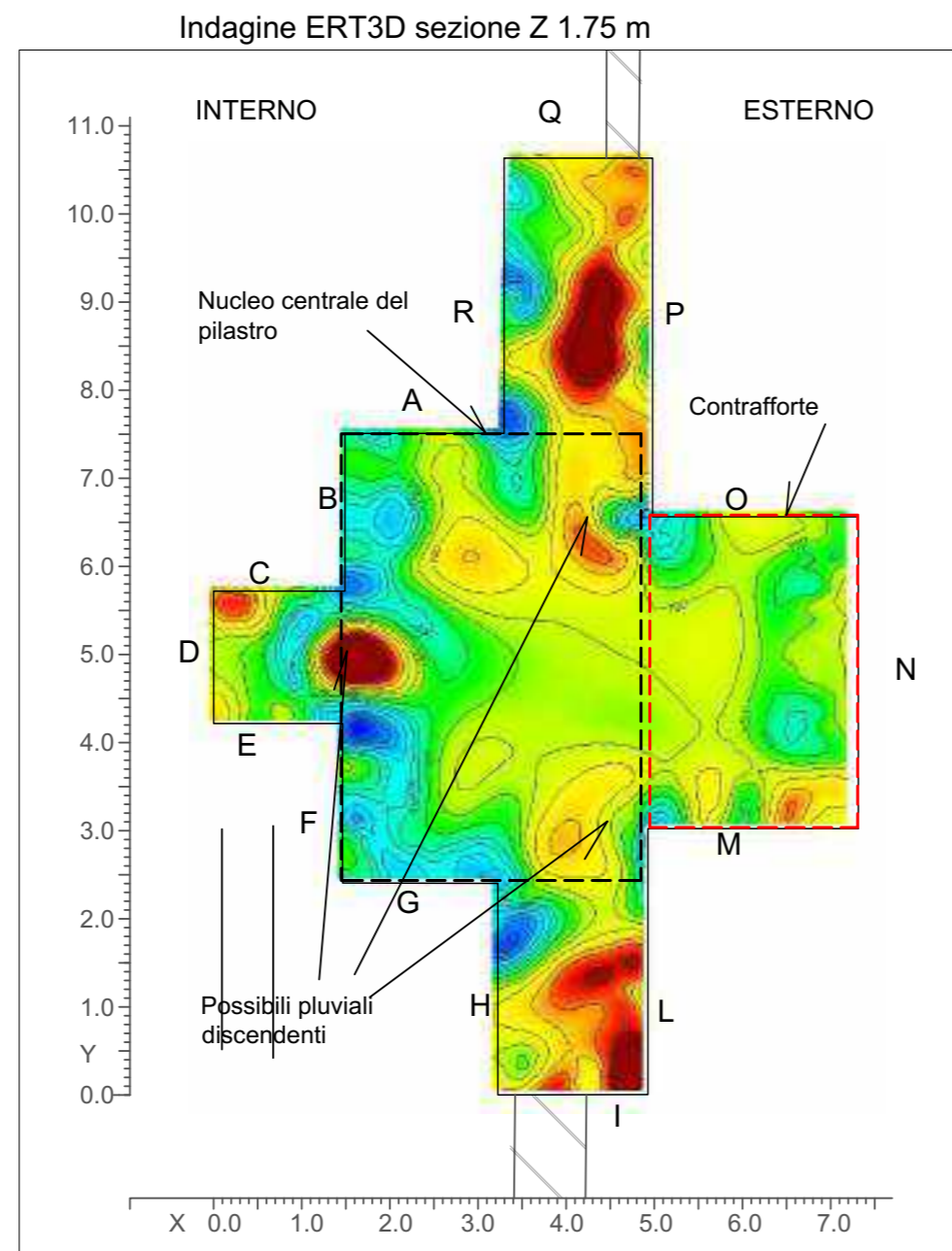
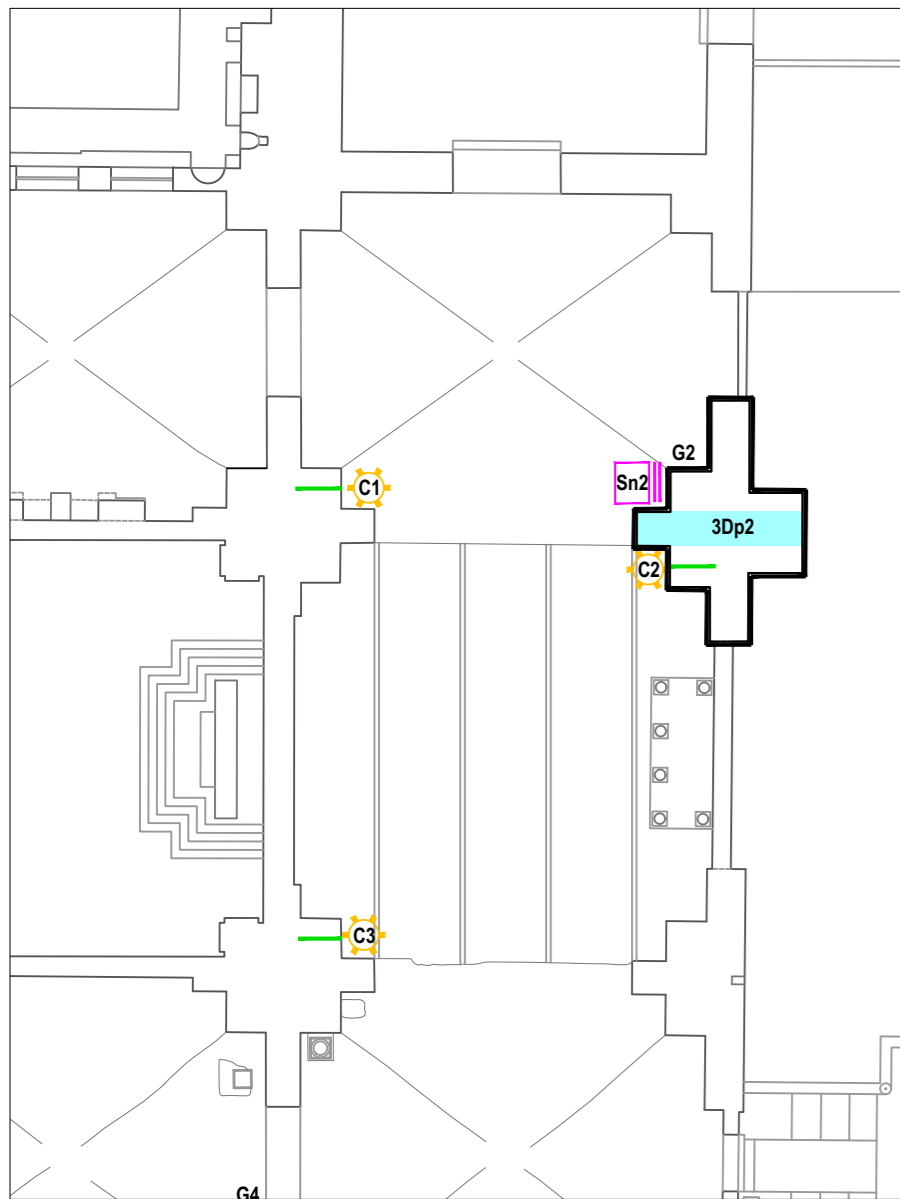


* Elaborato secondo la RILEM TC 127-MS "Measurement of mechanical pulse velocity for masonry".



	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	Distanza (cm)	Tempo di volo (µs)	Velocità m/s	Media transetto
Rx 1	210	170	Tx 2	170	40	223.18	1792	1580 m/s
Rx 1	210	170	Tx 3	130	80	551.93	1449	
Rx 1	210	170	Tx 4	90	120	800.15	1500	
Rx 5	210	130	Tx 6	170	40	256.52	1559	1821 m/s
Rx 5	210	130	Tx 7	130	80	431.15	1856	
Rx 5	210	130	Tx 8	90	120	585.52	2049	
Rx 9	210	90	Tx 10	170	40	243.19	1645	1653 m/s
Rx 9	210	90	Tx 11	130	80	390.89	2047	
Rx 9	210	90	Tx 12	90	120	947.85	1266	
Rx 13	210	50	Tx 14	170	40	276.78	1445	1486 m/s
Rx 13	210	50	Tx 15	130	80	551.93	1449	
Rx 13	210	50	Tx 16	90	120	766.56	1565	
Rx 1	210	170	Tx 5	210	40	189.59	2110	1729 m/s
Rx 1	210	170	Tx 9	210	80	505.00	1584	
Rx 1	210	170	Tx 13	210	120	804.35	1492	
Rx 2	170	170	Tx 6	170	40	178.48	2241	1742 m/s
Rx 2	170	170	Tx 10	170	80	556.59	1432	
Rx 2	170	170	Tx 14	170	120	773.23	1552	
Rx 3	130	170	Tx 7	130	40	323.71	1236	1119 m/s
Rx 3	130	170	Tx 11	130	80	813.49	983	
Rx 3	130	170	Tx 15	130	120	1055.04	1137	
Rx 4	90	170	Tx 8	90	40	202.93	1971	1309 m/s
Rx 4	90	170	Tx 12	90	80	766.56	1044	
Rx 4	90	170	Tx 16	90	120	1316.85	911	

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA SU PILASTRO:
CODICE PROVA **ERT3D P2**



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO

Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi

CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

RIF. INTERNI

CO-049_22_archi

ELABORAZIONE MG.Idili
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

OGGETTO

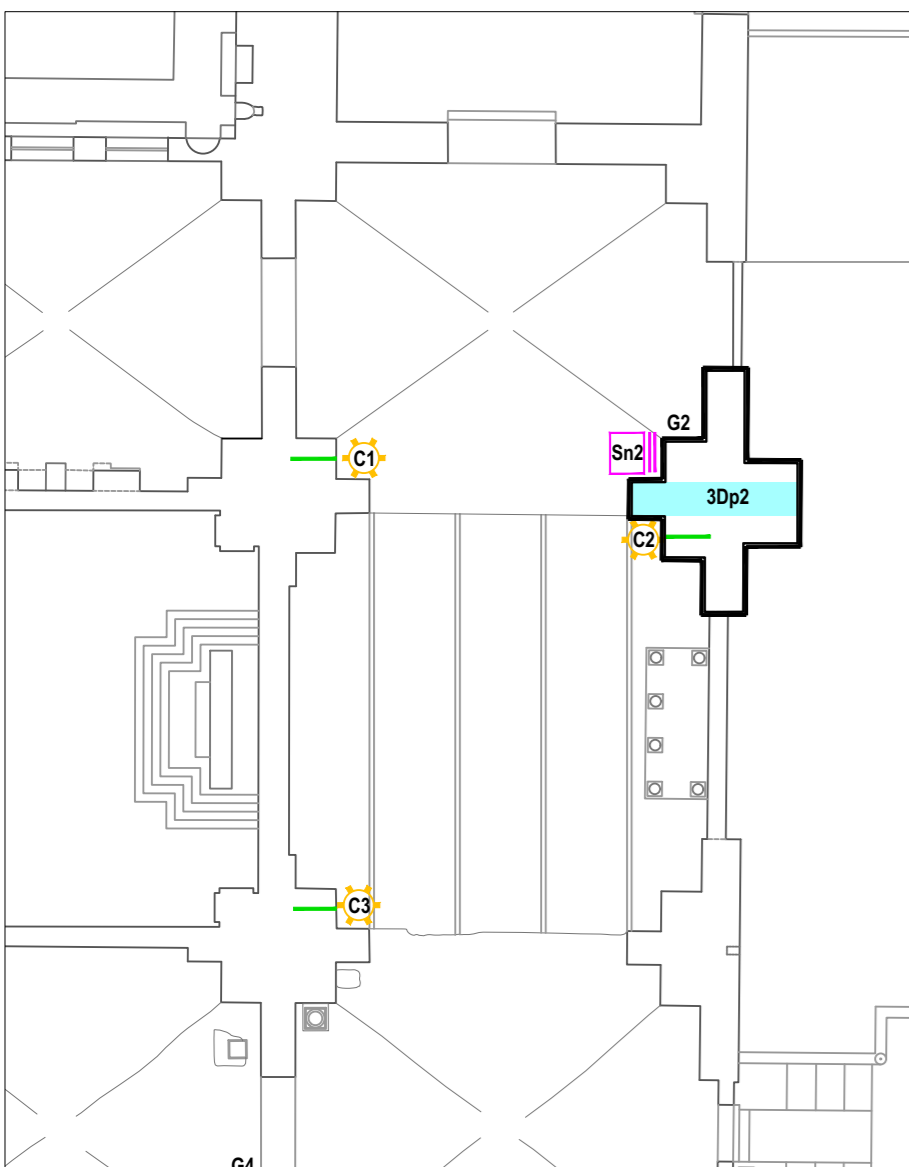
Indagine ERT3D lungo il Pilastro 2

DATA CONSEGNA

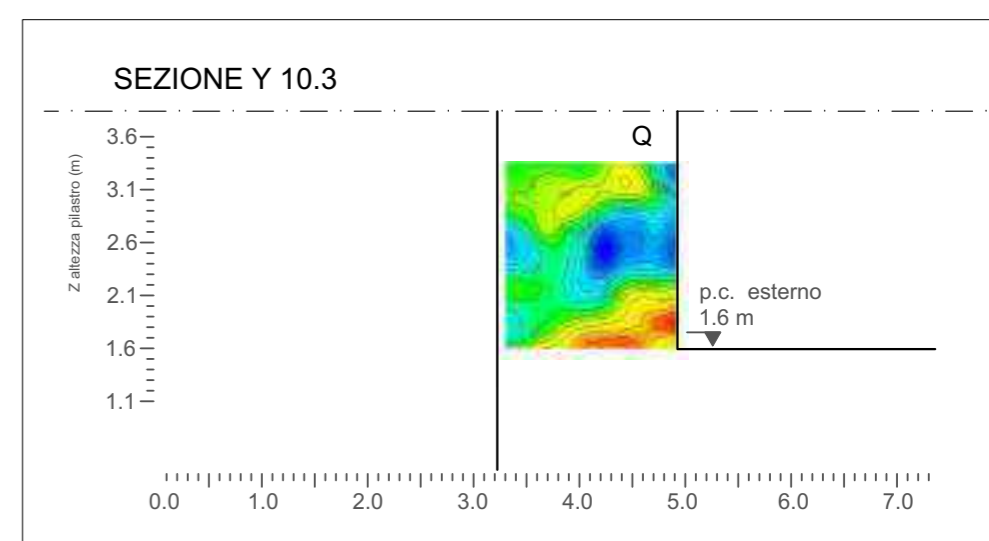
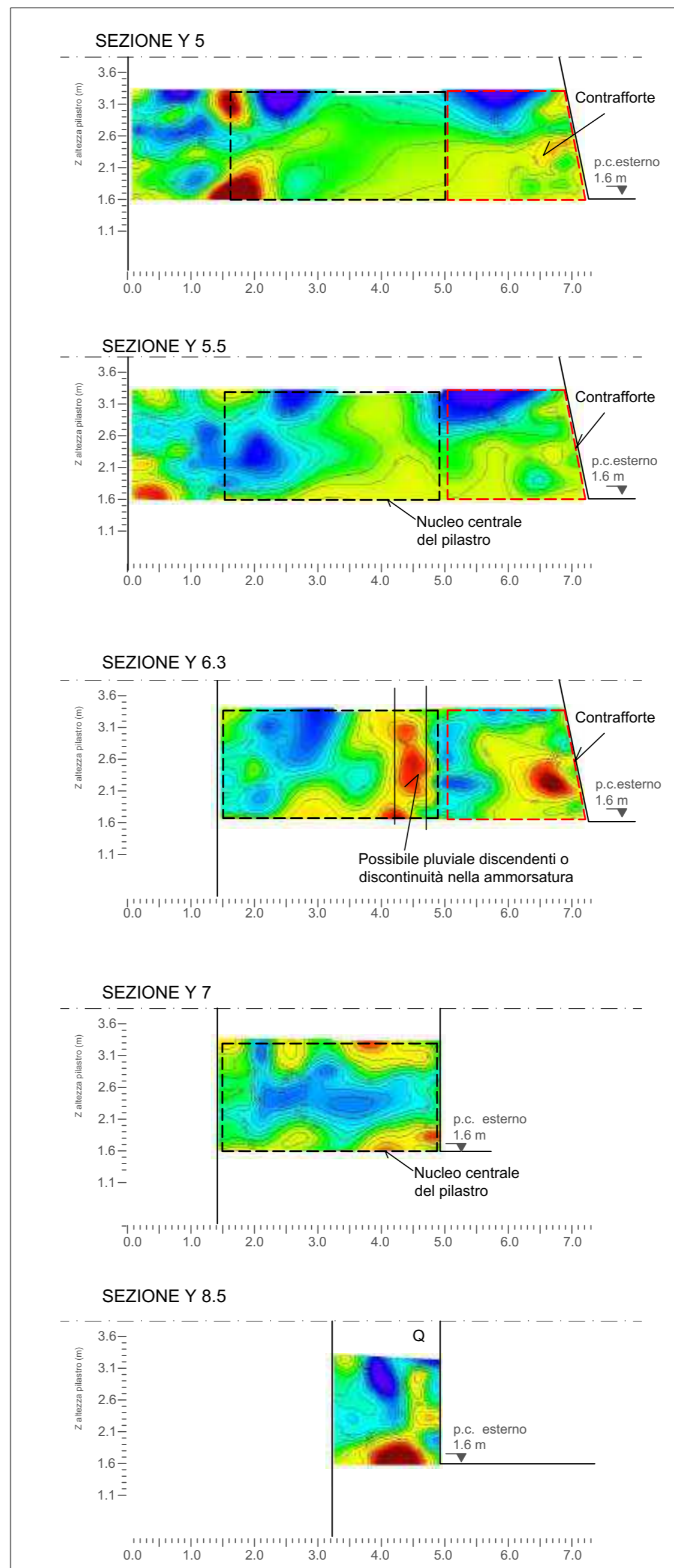
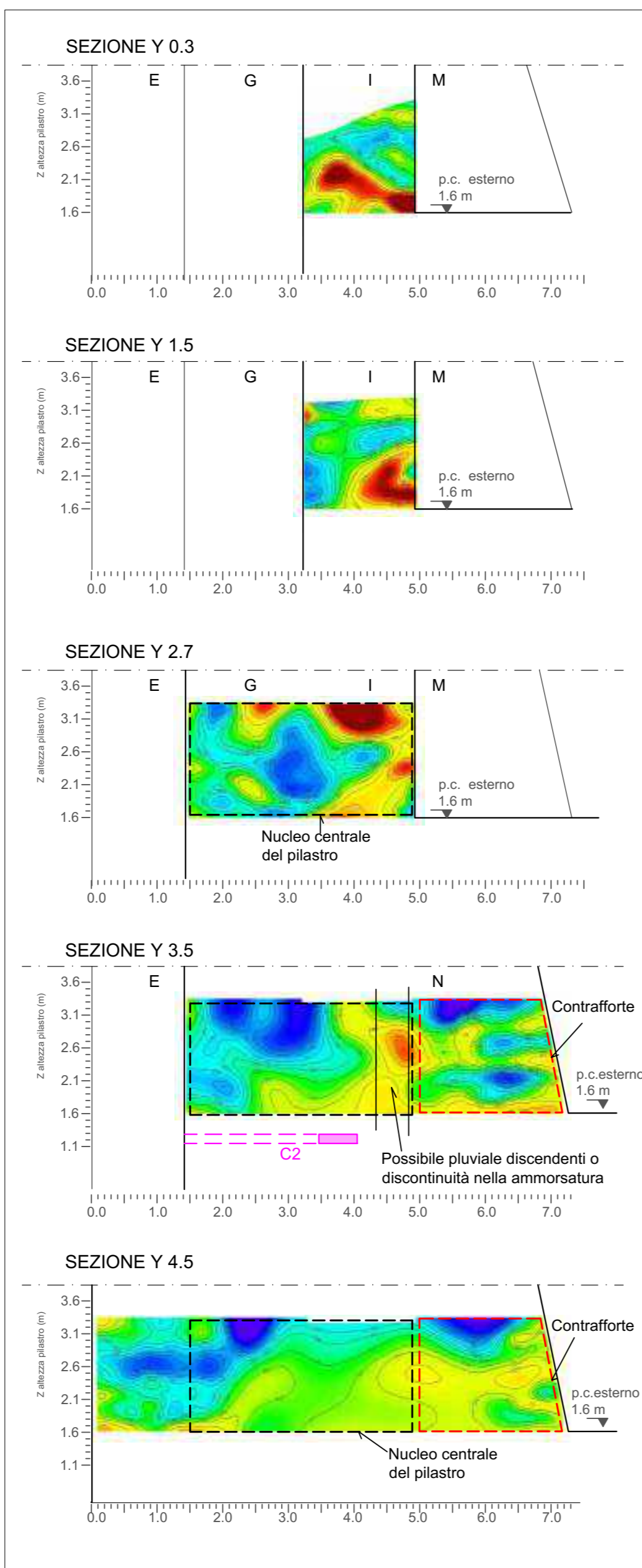
10 Ottobre 2022

TAVOLA

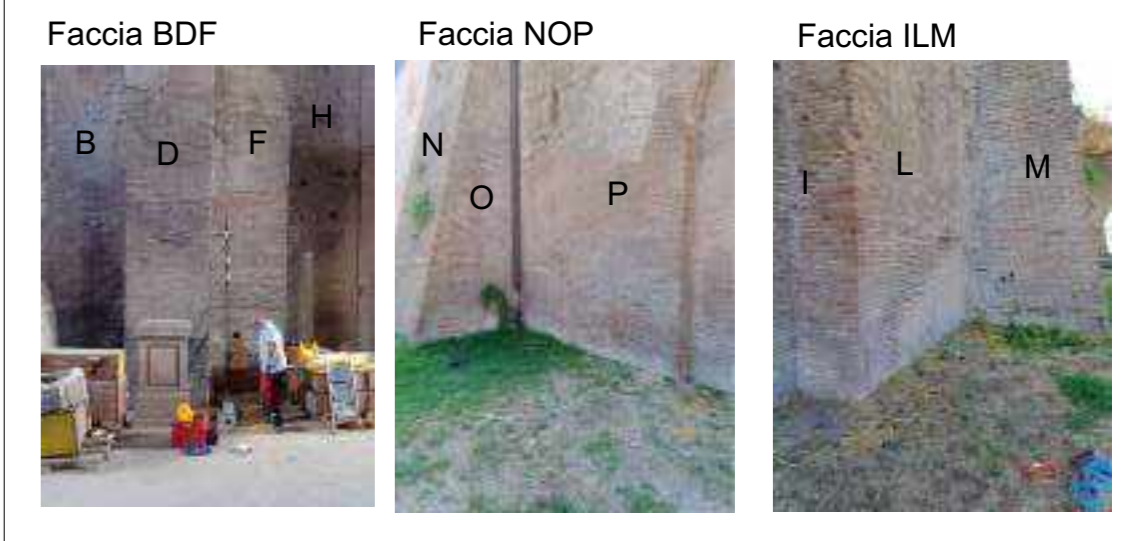
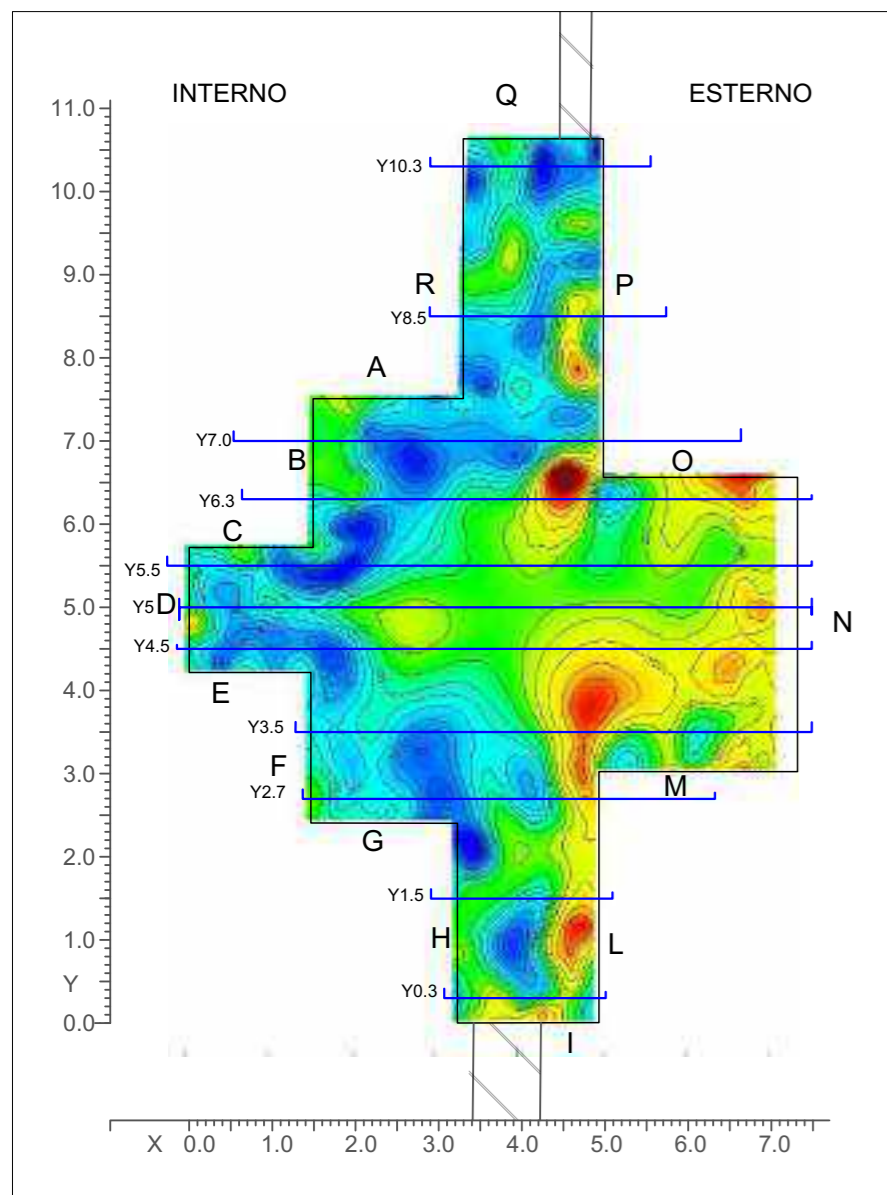
1



Sezioni verticali asse Y



Indagine ERT3D sezione Z 2.5 m
con traccia delle sezioni verticali asse Y



LEGENDA

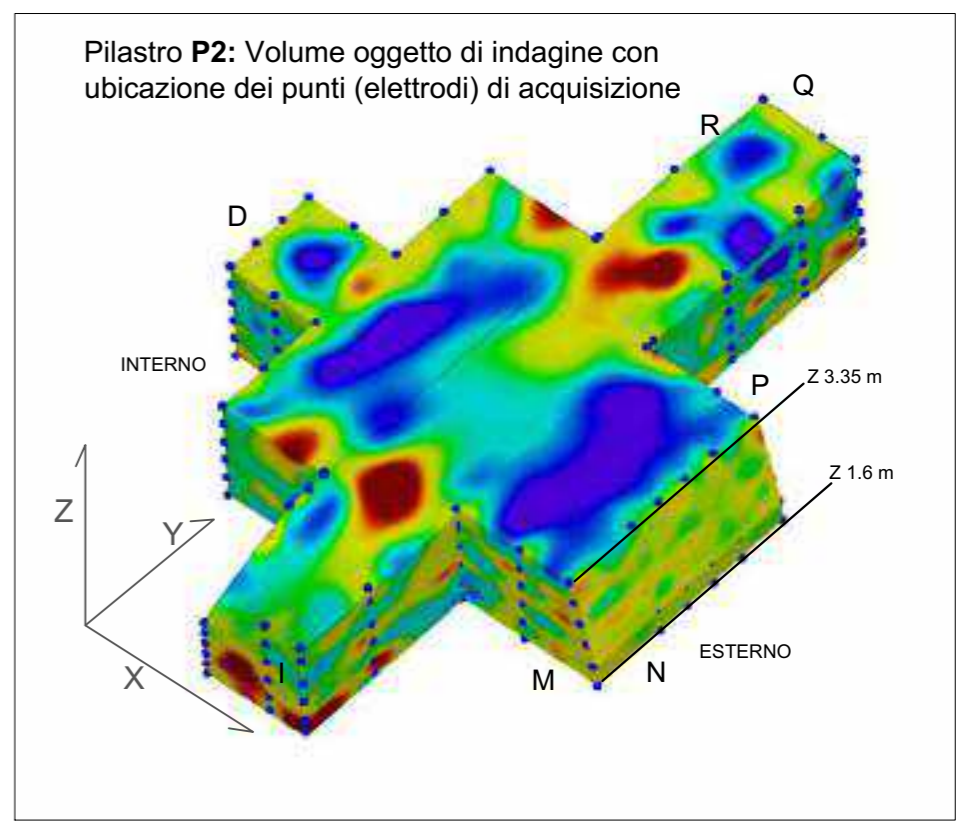
(Z) altezza in metri dallo zero del piano interno di riferimento

Y7.0 Sezioni rappresentate numerate secondo le coordinate di riferimento

● Posizione dei punti (elettrodi) di indagine

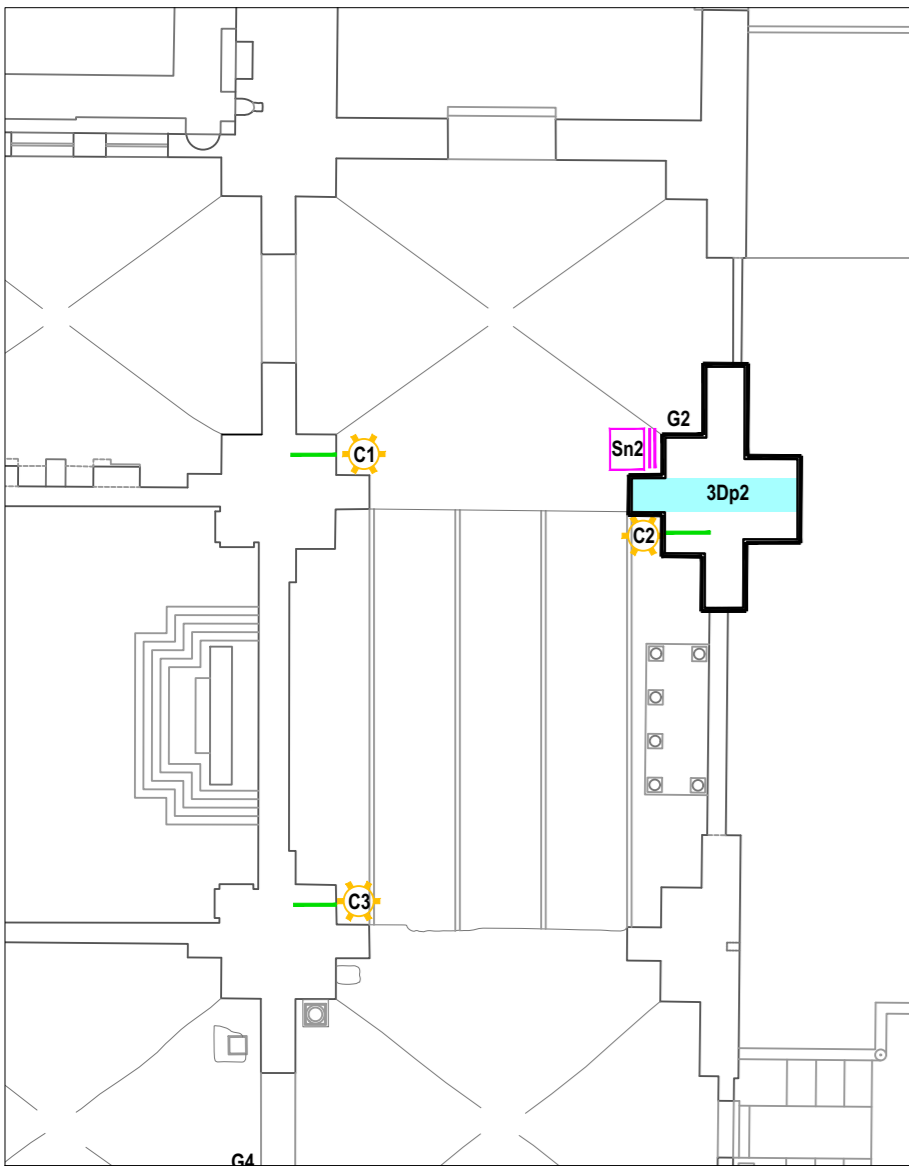
M Nomenclatura delle singole facce del pilastro

SCALA DEI VALORI DI RESISTIVITA' (Ohm*m)

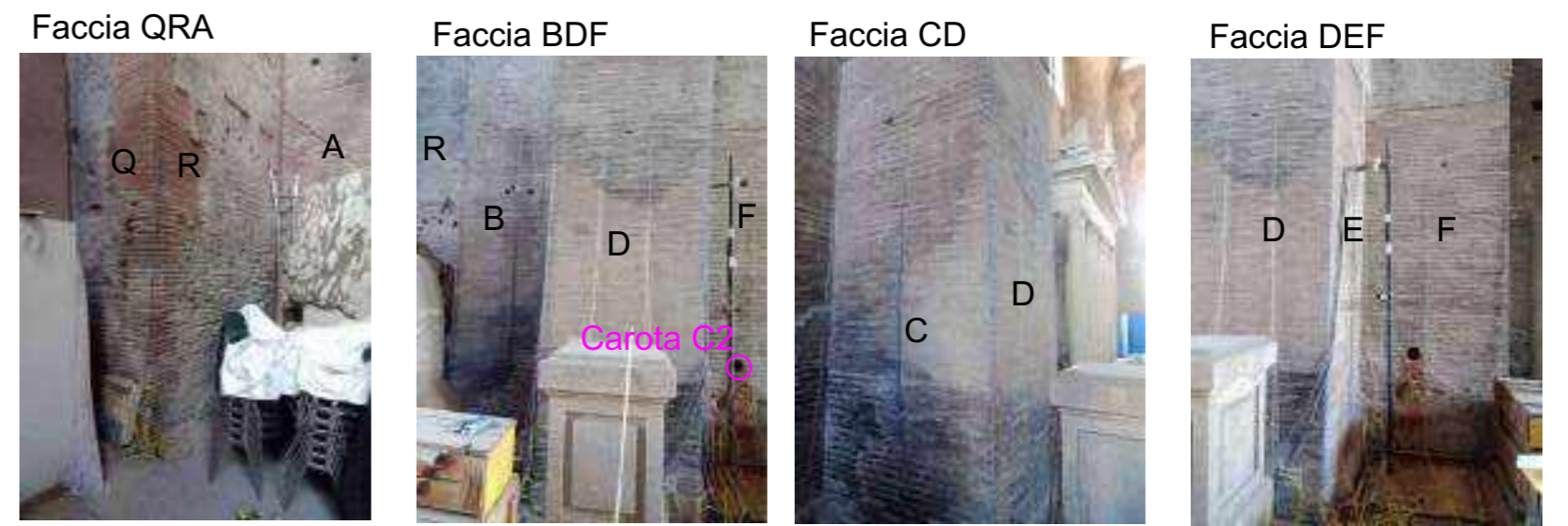
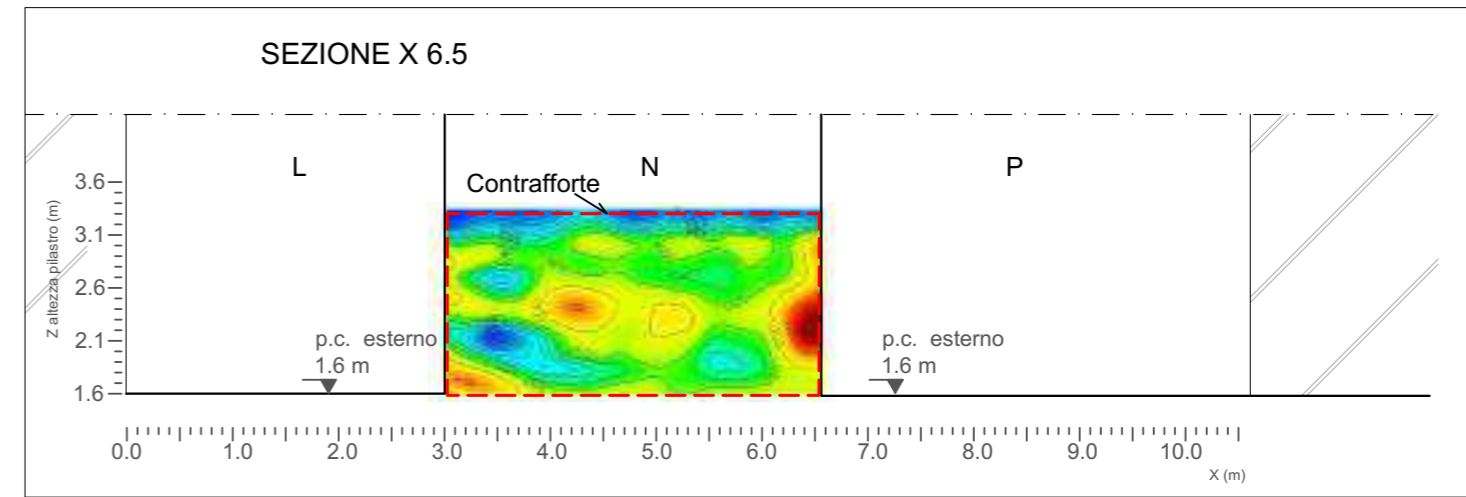
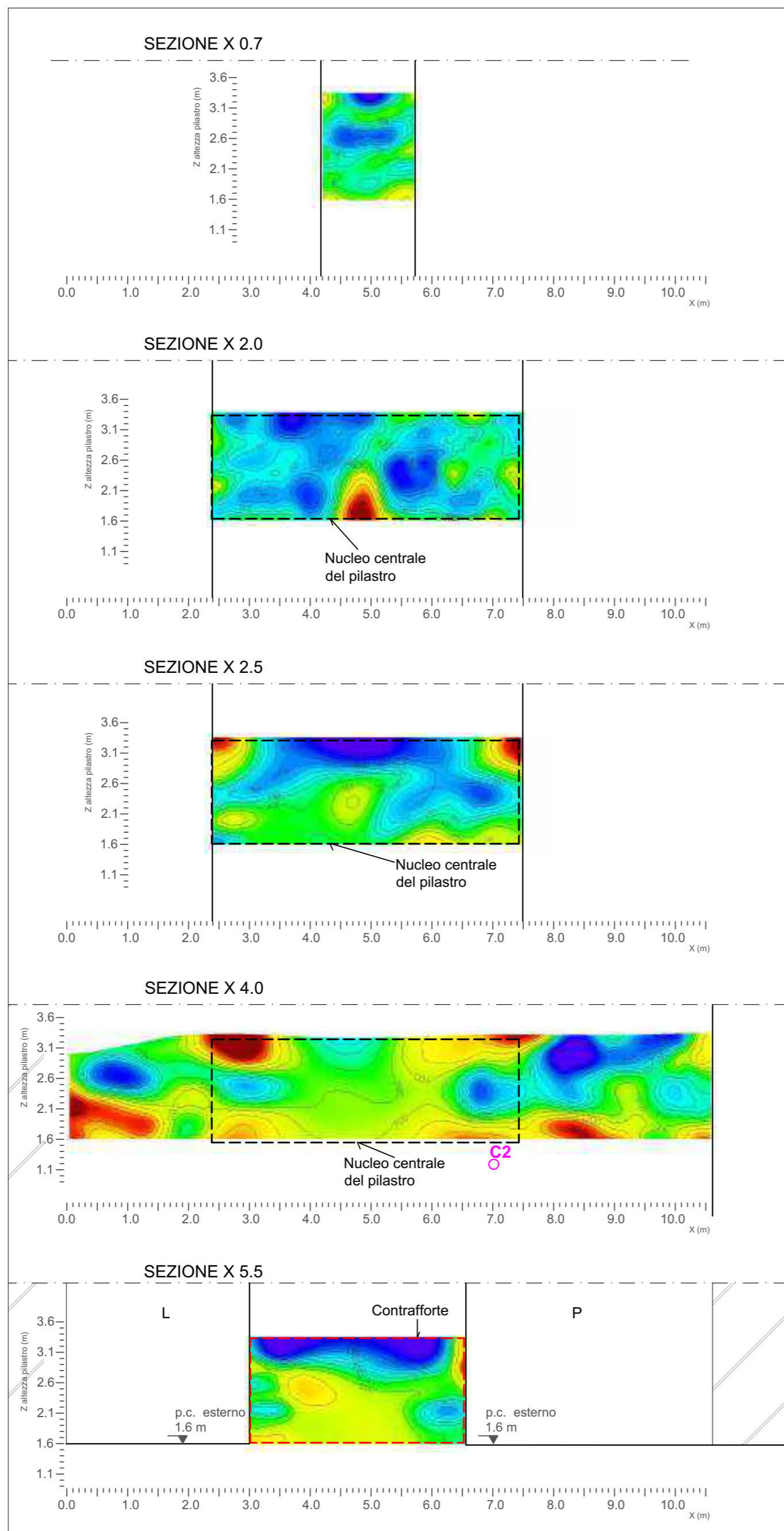


<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>RIF. INTERNI</p> <p>CO-049_22_archi</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine ERT3D lungo il Pilastro 2</p>	<p>TAVOLA</p> <p>2</p>
	<p>ELABORAZIONE MG.Idili VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA</p> <p>10 Ottobre 2022</p>			

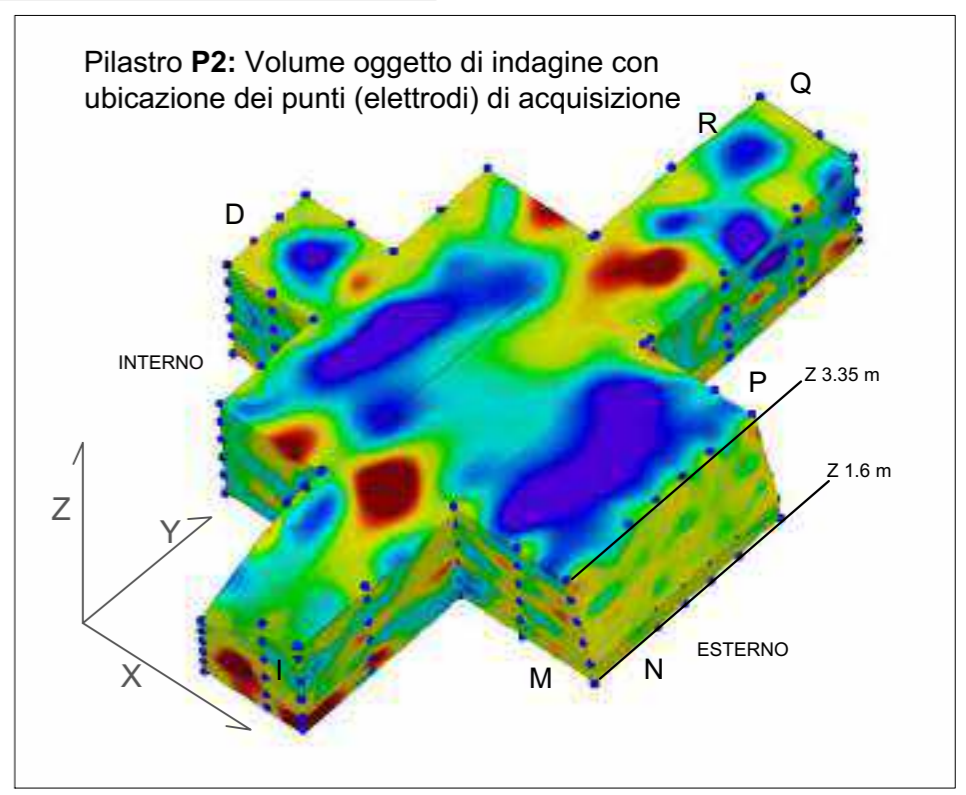
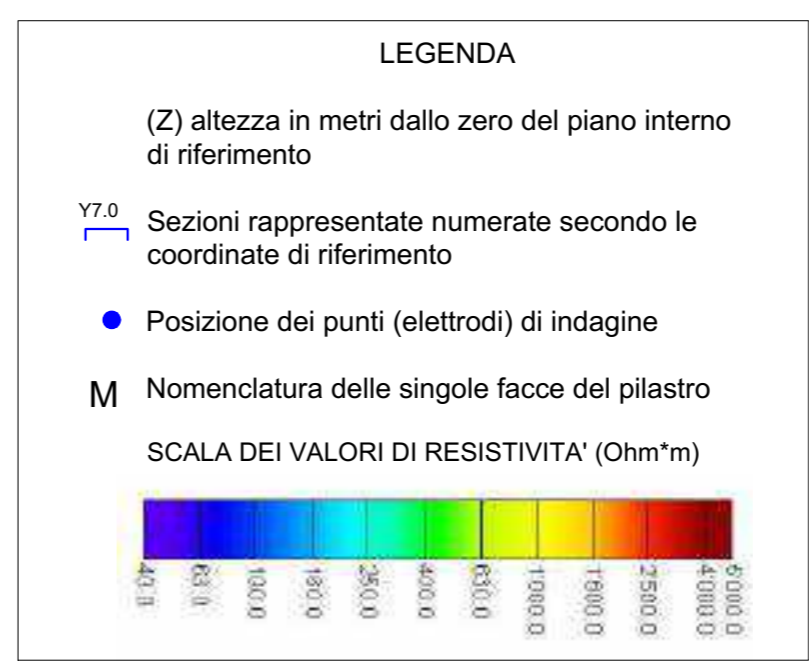
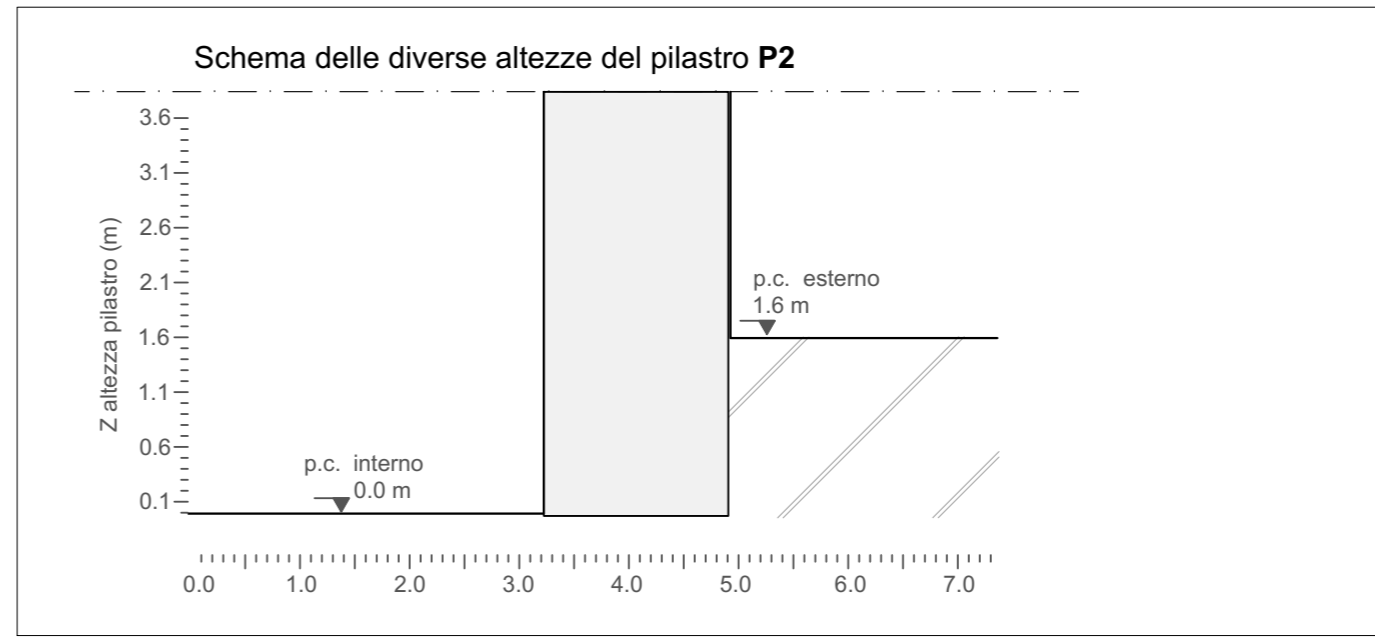
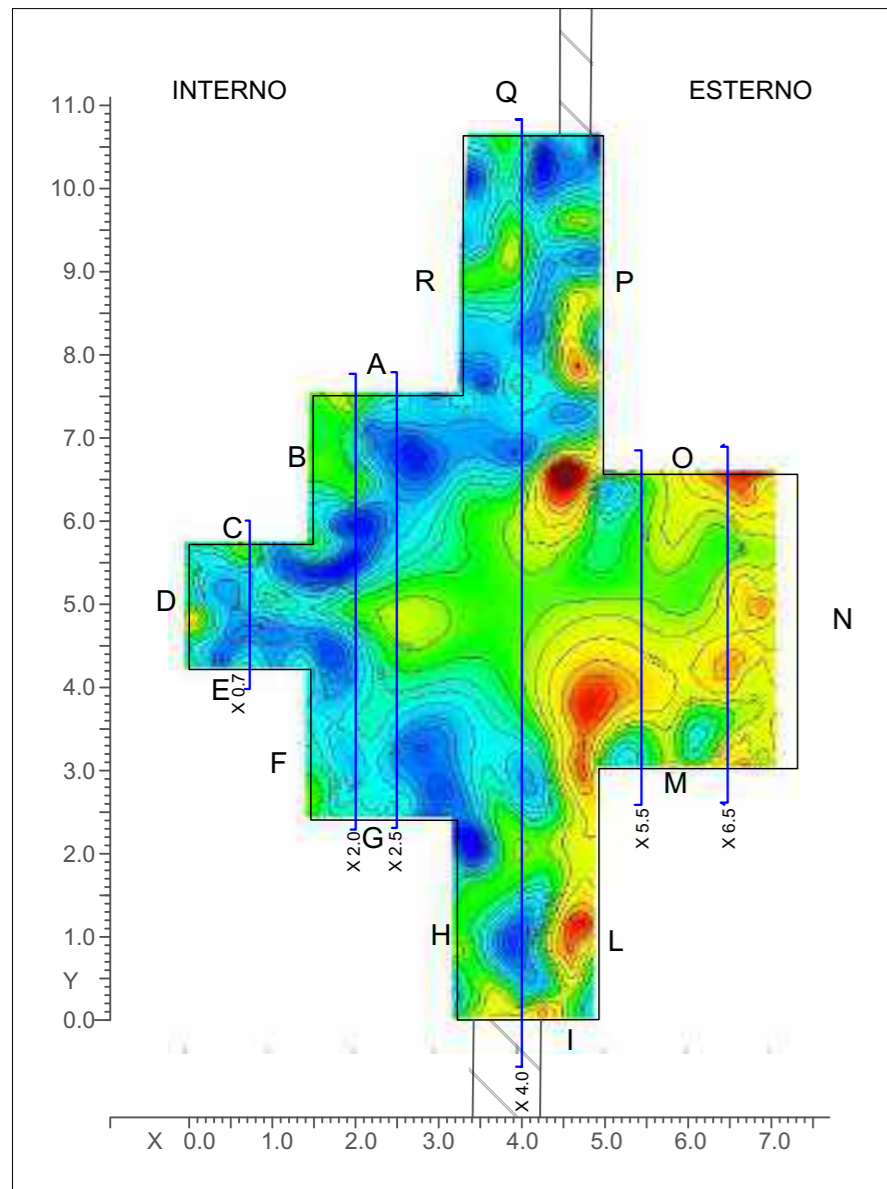
INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA SU PILASTRO:
CODICE PROVA **ERT3D P2**



Sezioni verticali asse X

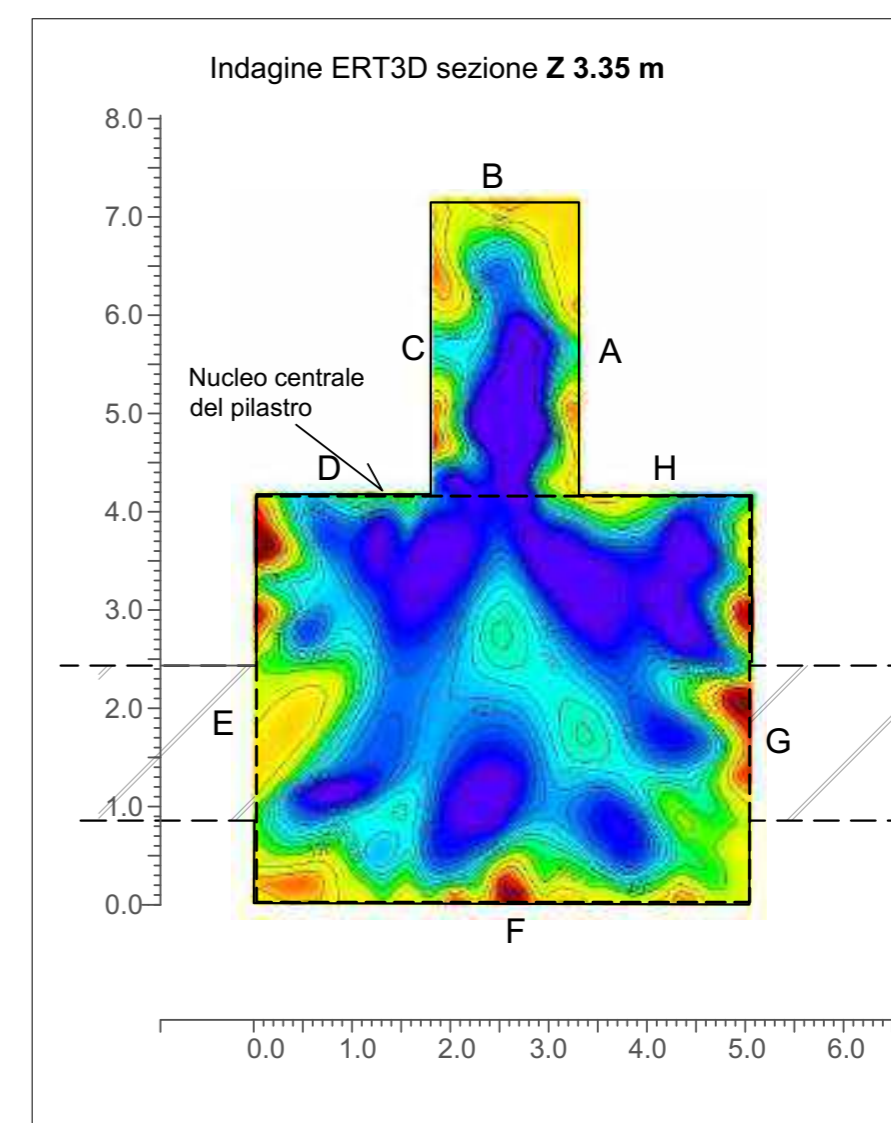
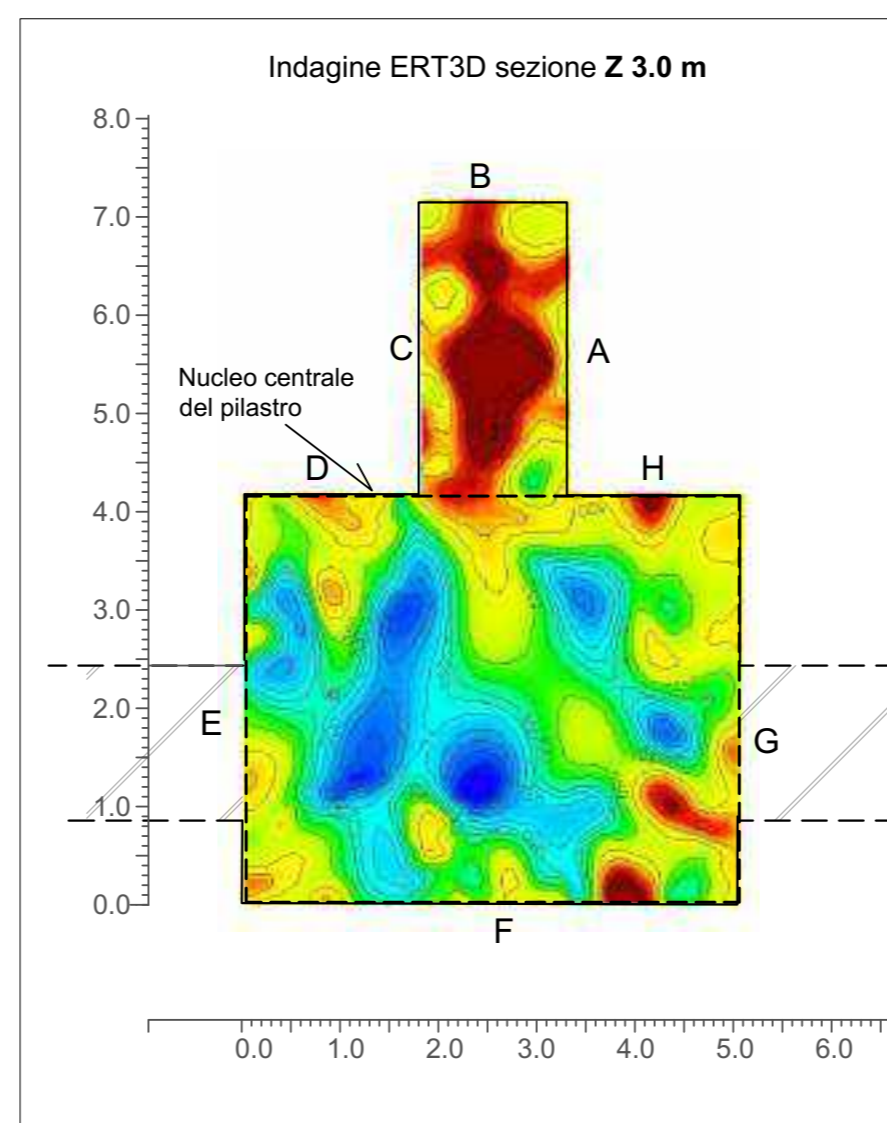
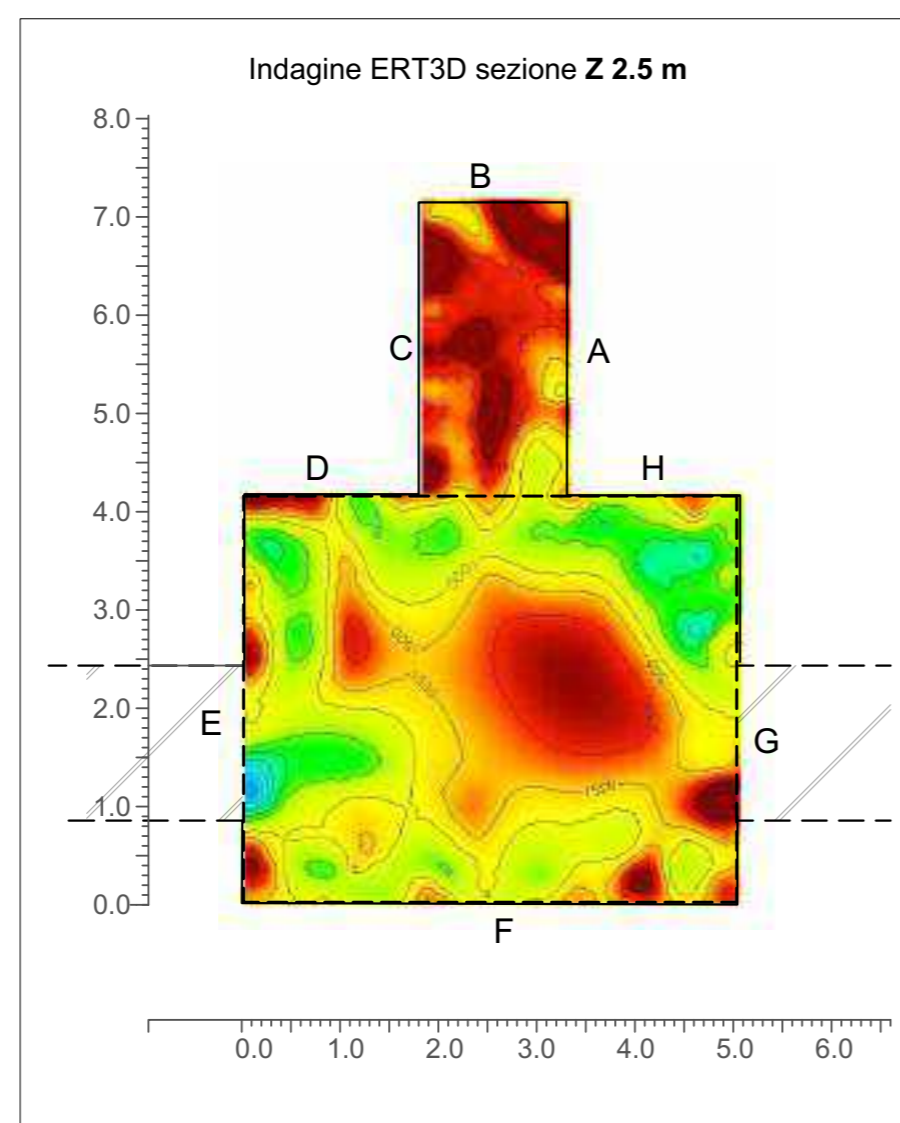
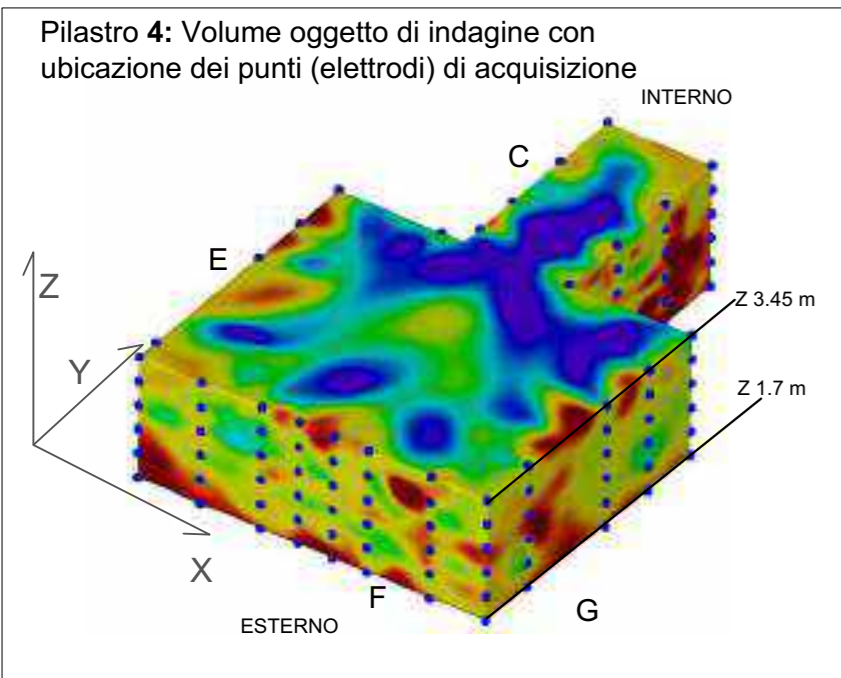
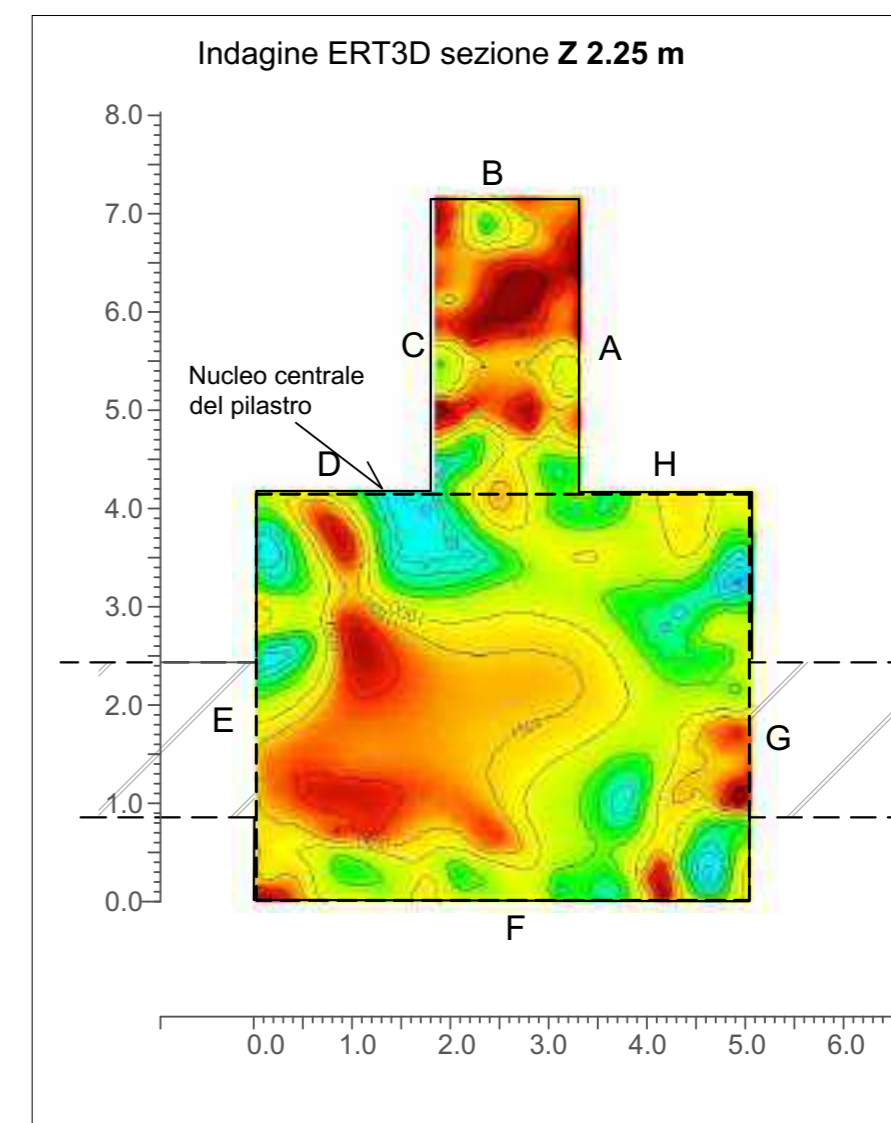
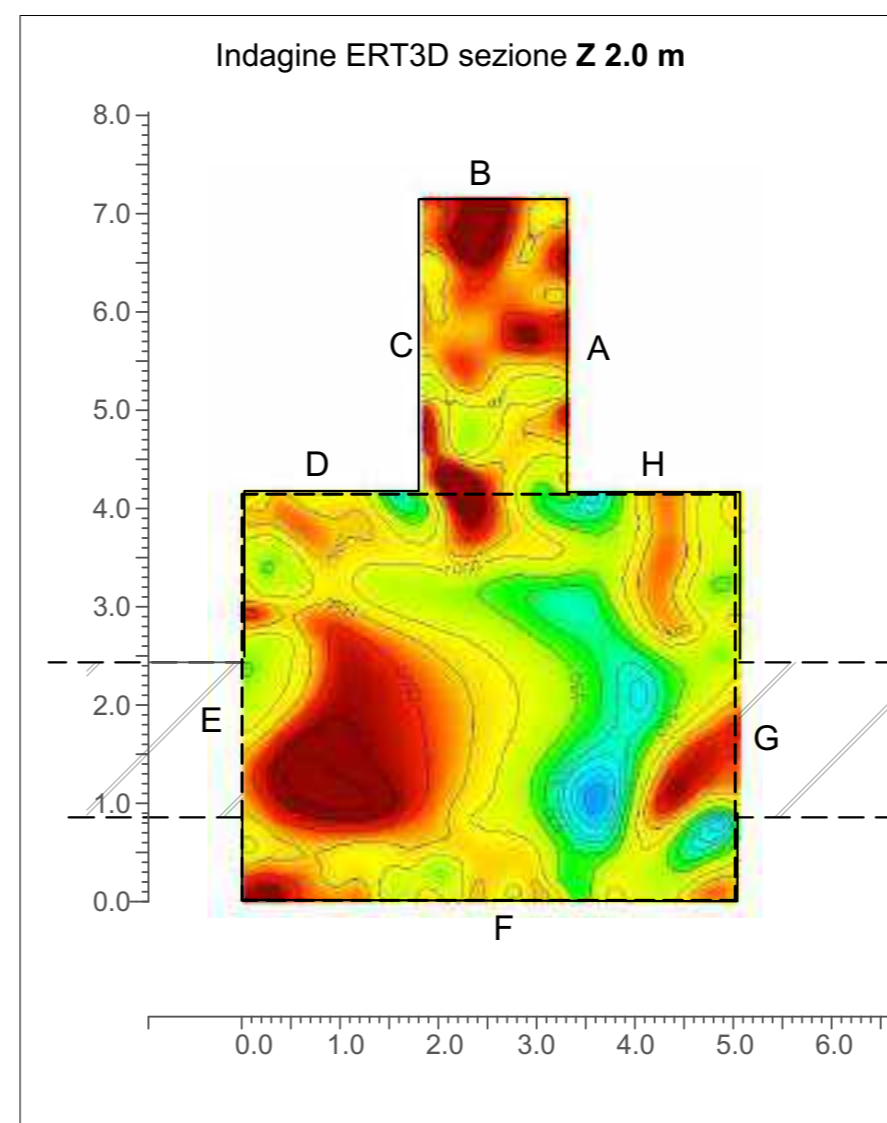
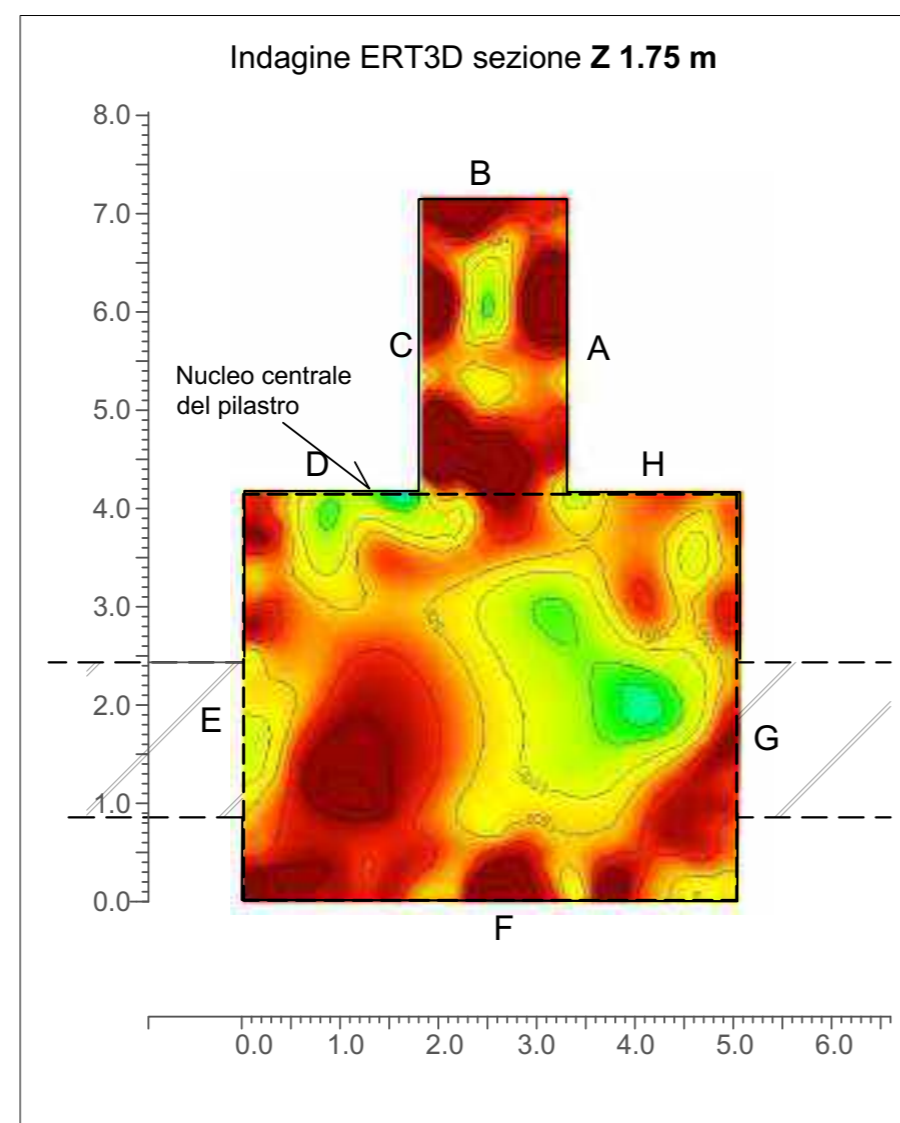
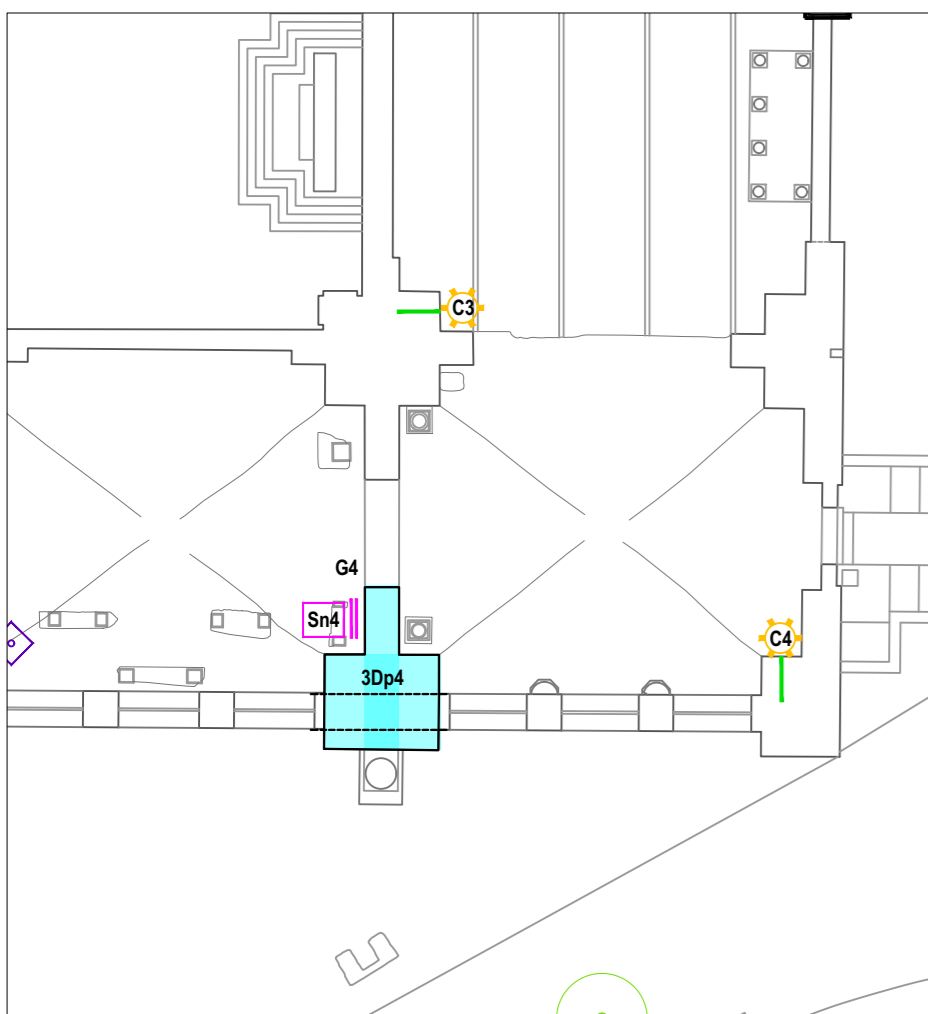


Indagine ERT3D sezione Z 2.5 m
con traccia delle sezioni verticali asse X



<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>RIF. INTERNI</p> <p>CO-049_22_archi</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine ERT3D lungo il Pilastro 2</p>	<p>TAVOLA</p> <p>3</p>
			<p>ELABORAZIONE MG.Idili VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA</p> <p>10 Ottobre 2022</p>	

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA SU PILASTRO:
CODICE PROVA **ERT3D P4**



LEGENDA

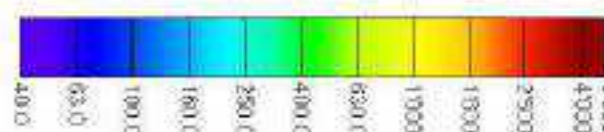
(Z) altezza in metri dallo zero del piano interno di riferimento

Sezioni rappresentate numerate secondo le coordinate di riferimento

● Posizione dei punti (elettrodi) di indagine

M Nomenclatura delle singole facce del pilastro

SCALA DEI VALORI DI RESISTIVITA' (Ohm*m)



SOING
Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

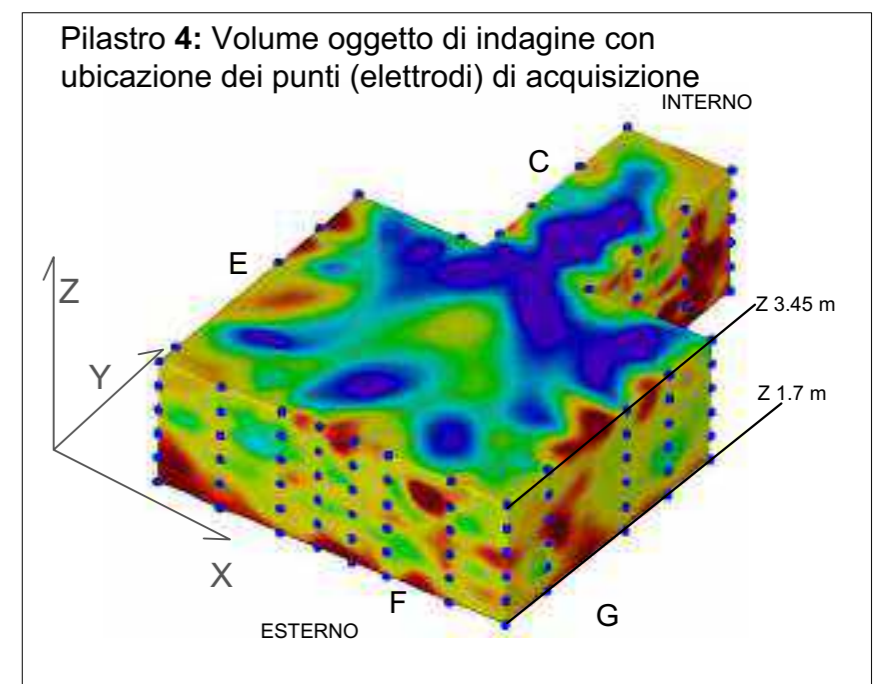
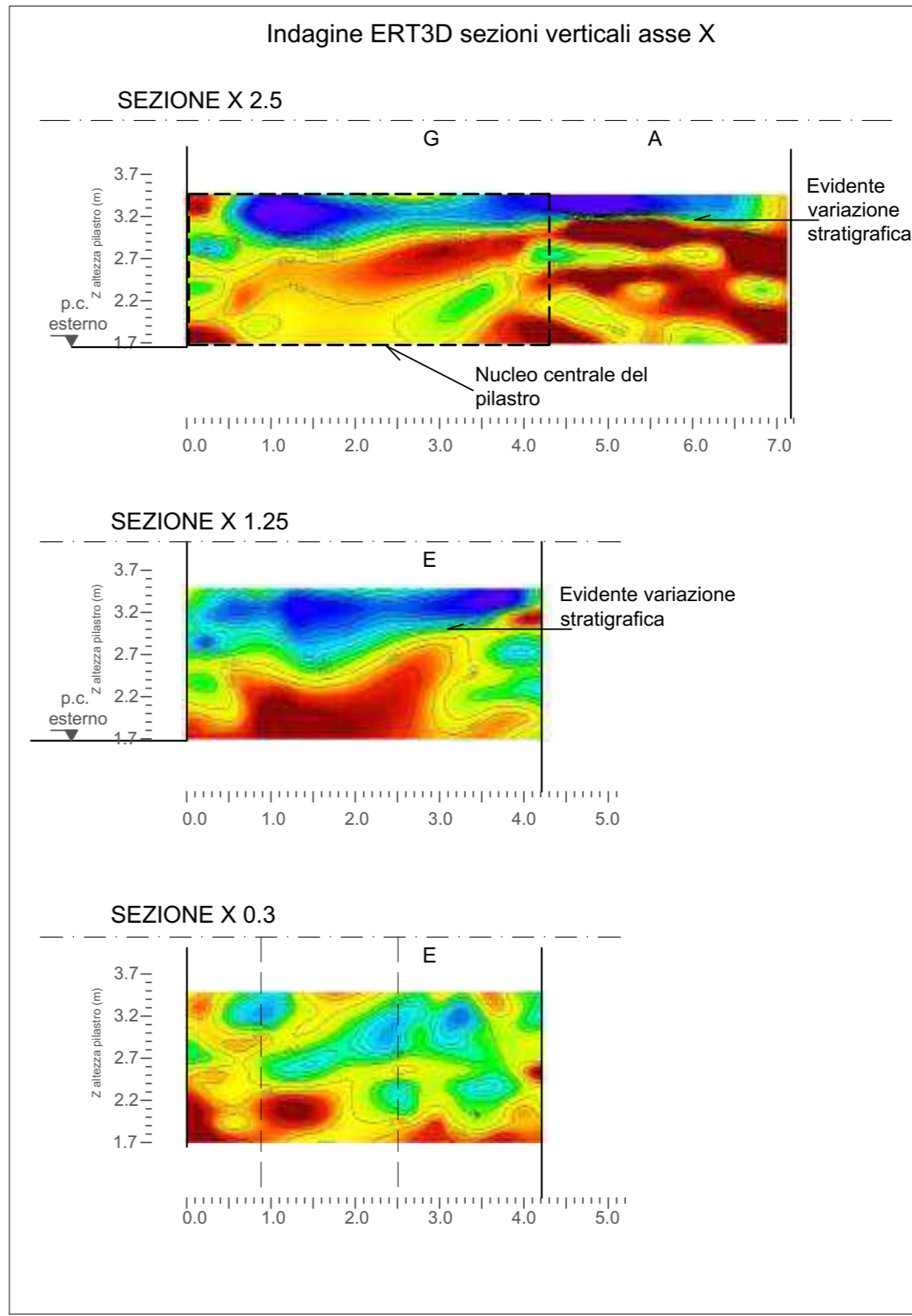
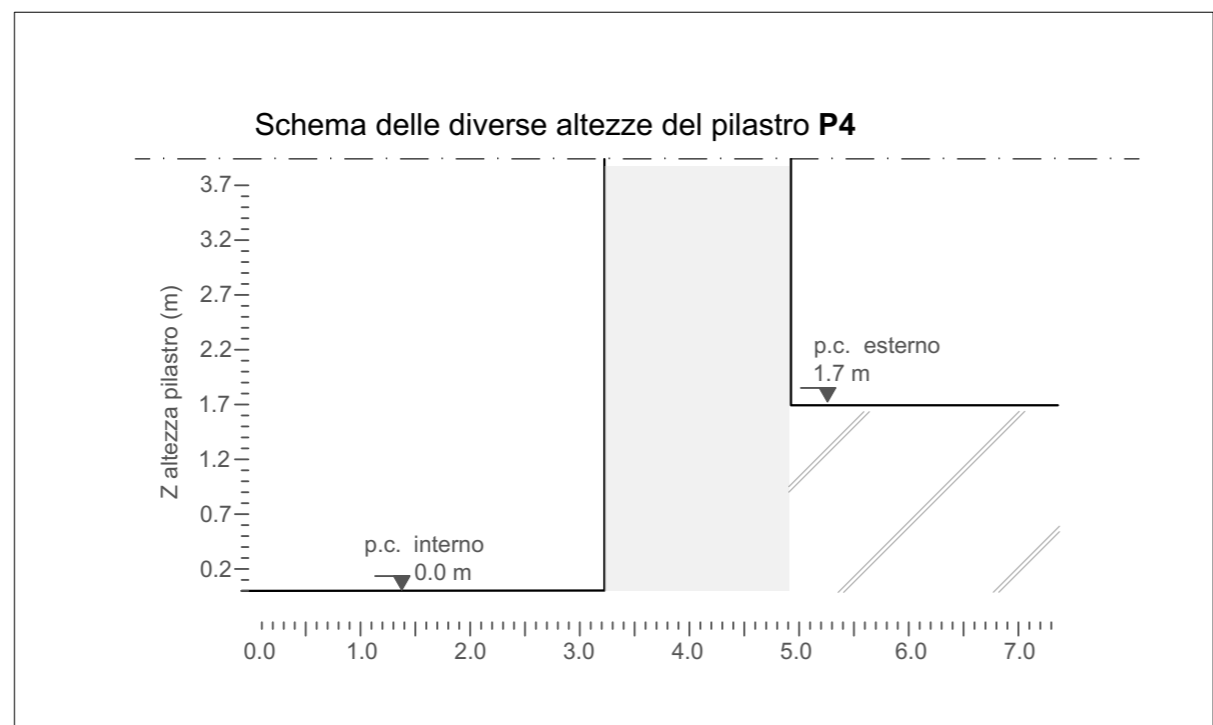
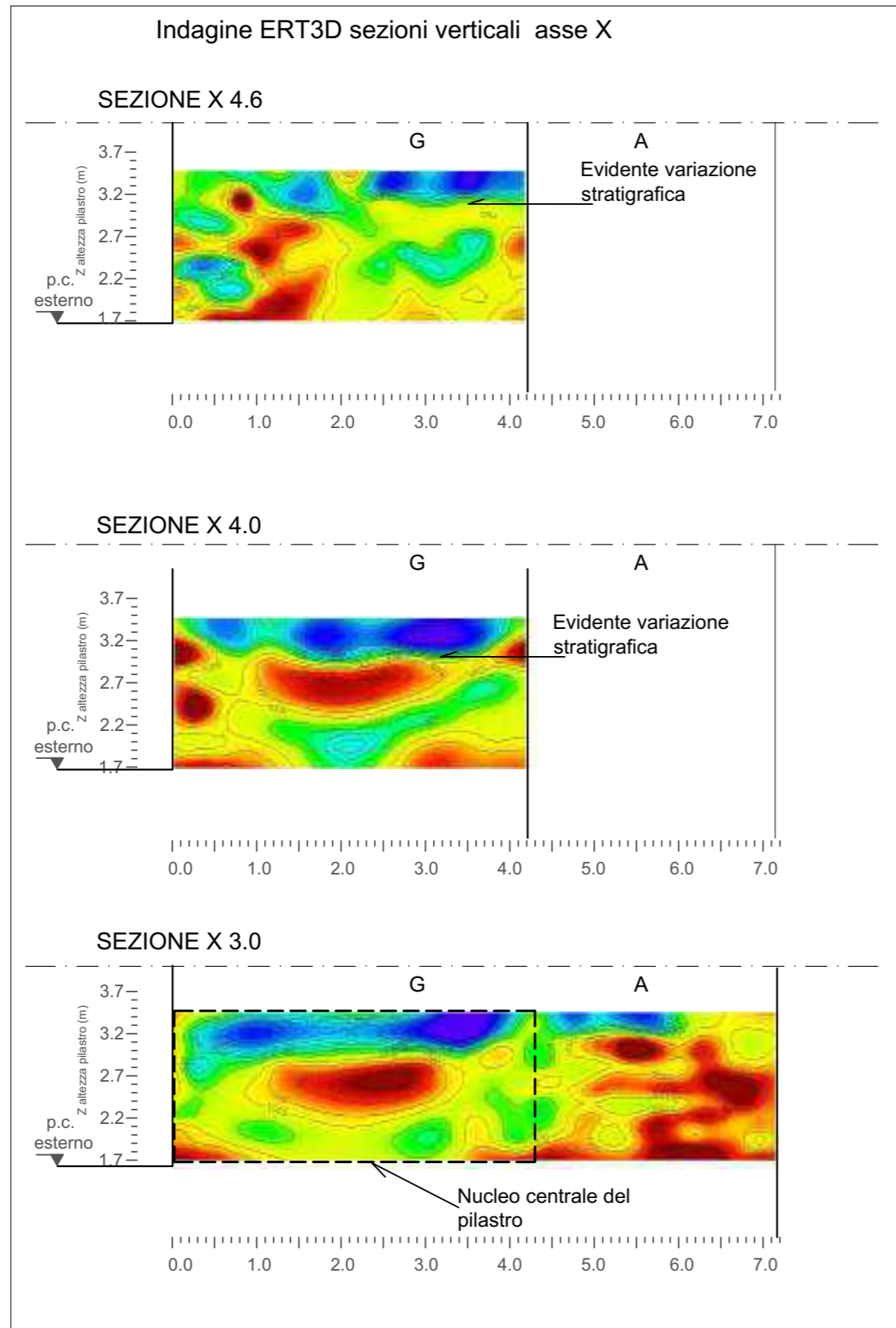
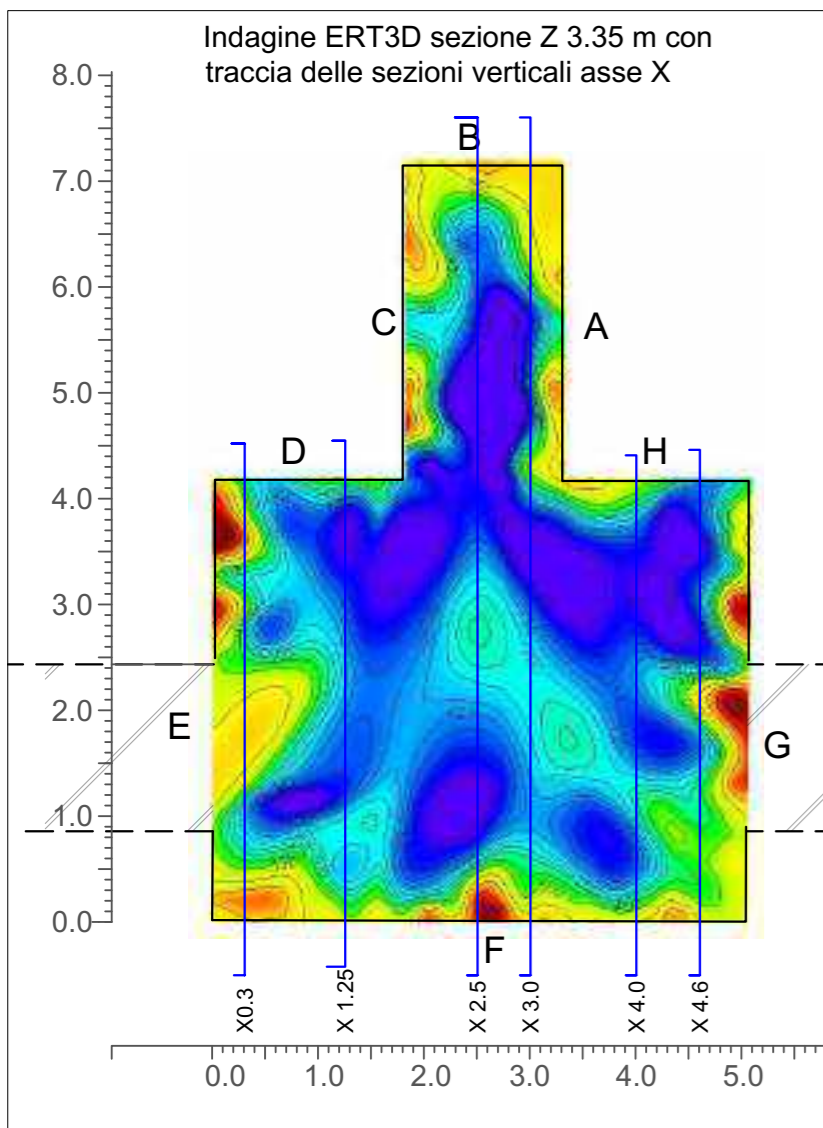
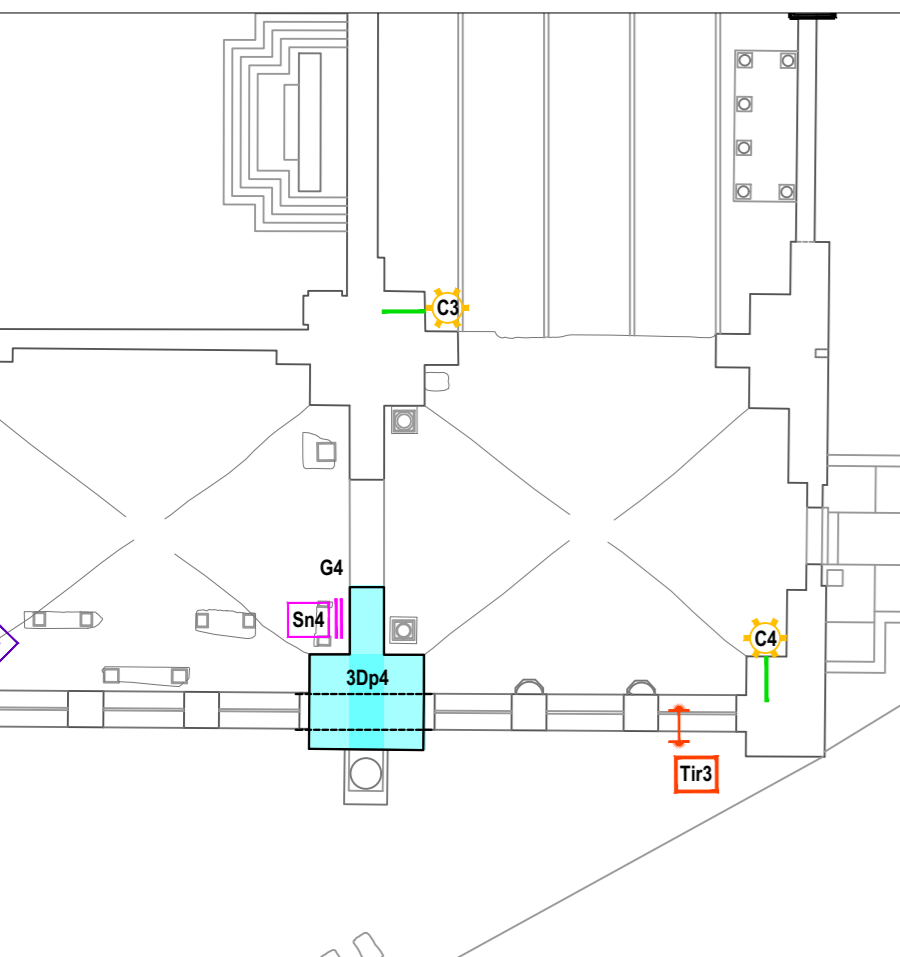
PROGETTO
Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi
ELABORAZIONE MG.Idili
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

OGGETTO
Indagine ERT3D lungo il Pilastrino 4
DATA CONSEGNA
10 Ottobre 2022

TAVOLA
4

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA SU PILASTRO:
CODICE PROVA **ERT3D P4**



LEGENDA

(Z) altezza in metri dallo zero del piano interno di riferimento

Sezioni rappresentate numerate secondo le coordinate di riferimento

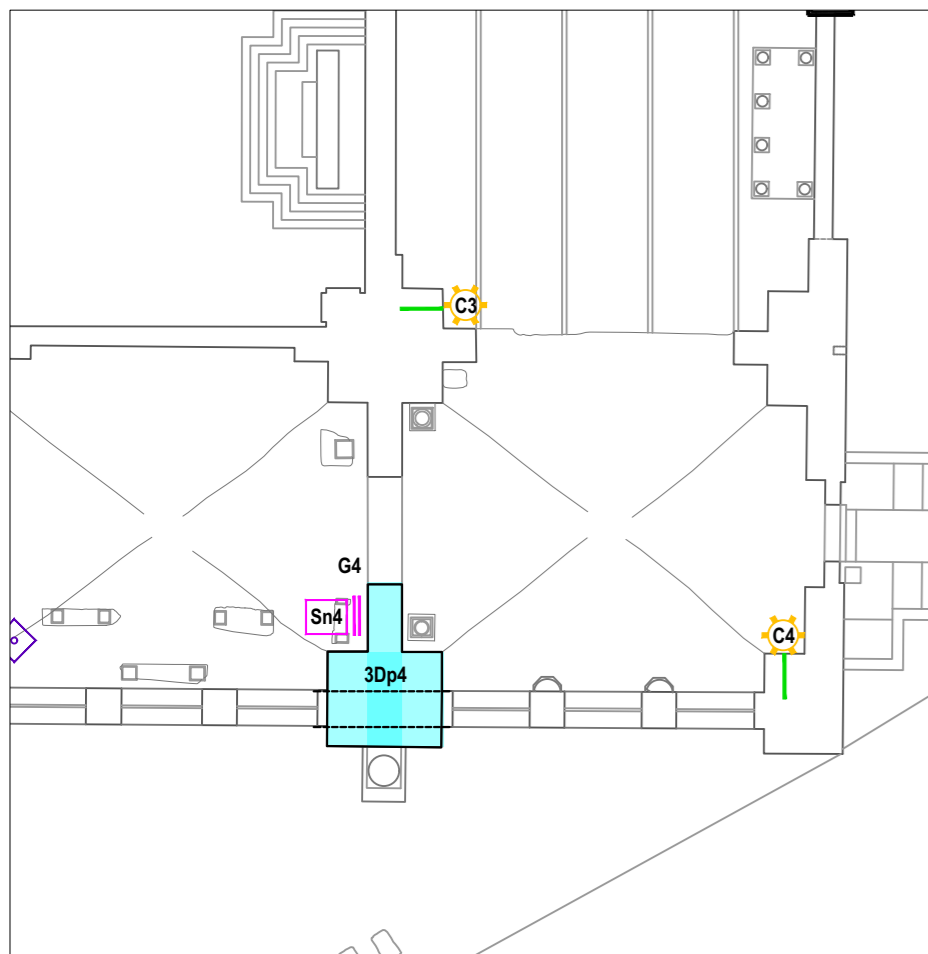
● Posizione dei punti (elettrodi) di indagine

M Nomenclatura delle singole facce del pilastro

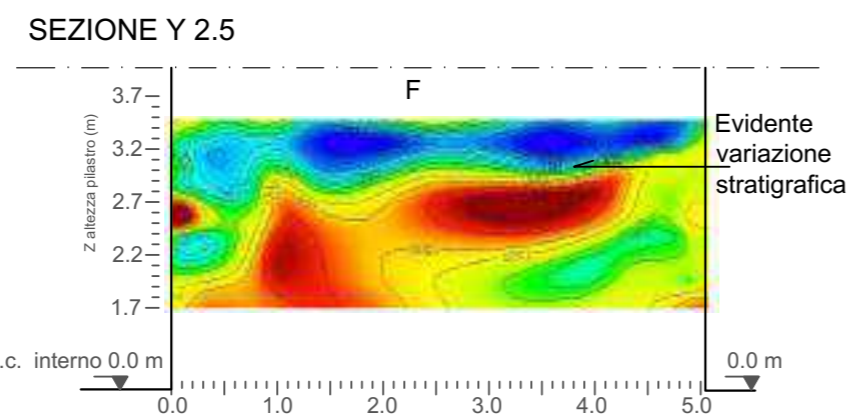
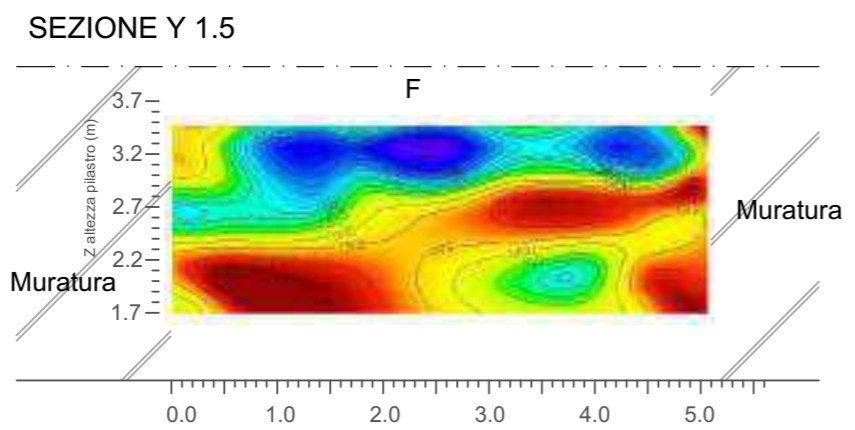
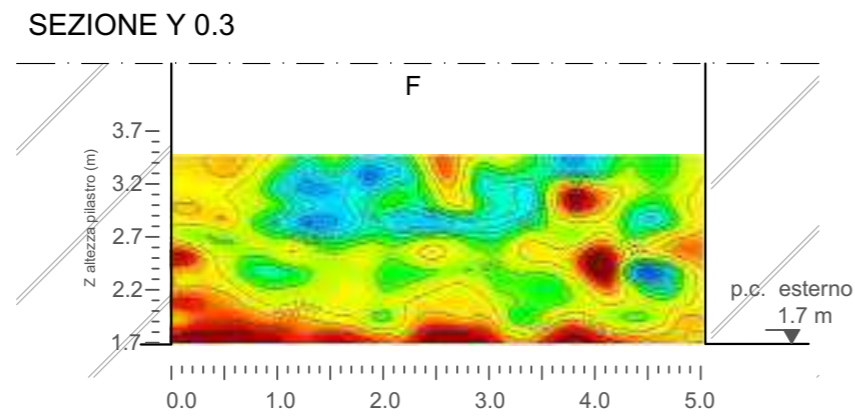
SCALA DEI VALORI DI RESISTIVITA' (Ohm*m)

<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma</p> <p>Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>RIF. INTERNI</p> <p>CO-049_22_archi</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine ERT3D lungo il Pilastro 4</p>	<p>TAVOLA</p> <p>5</p>
	<p>ELABORAZIONE MG.Idili VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA</p> <p>10 Ottobre 2022</p>			

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA SU PILASTRO:
CODICE PROVA **ERT3D P4**



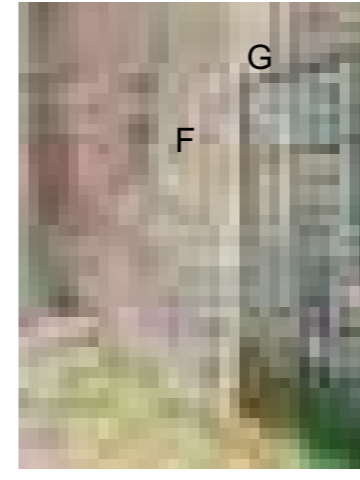
Indagine ERT3D sezioni verticali asse Y



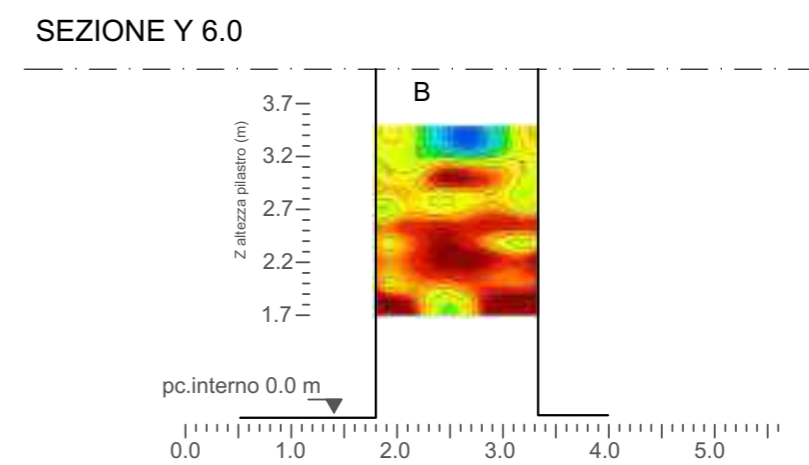
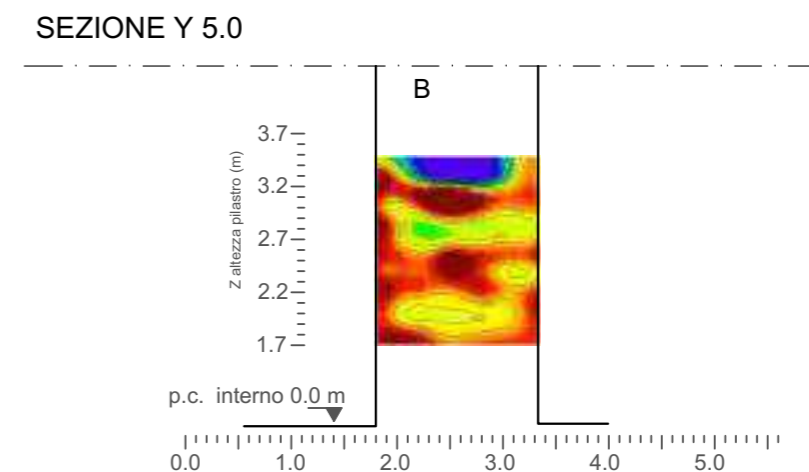
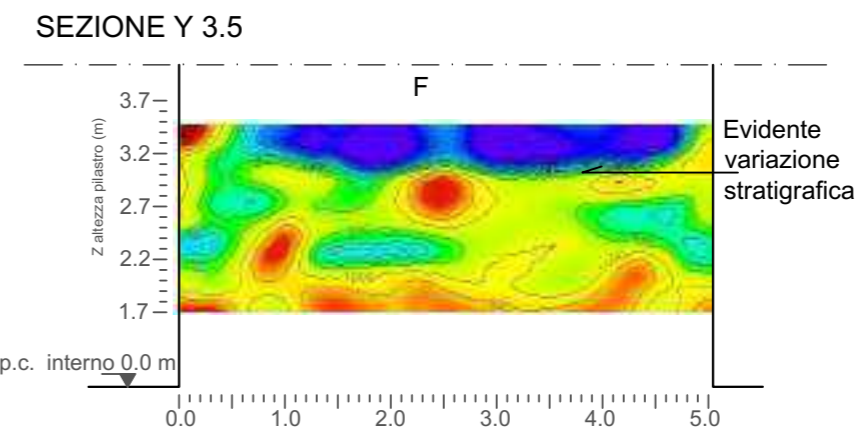
Faccia EF



Faccia FG



Indagine ERT3D sezioni verticali asse Y



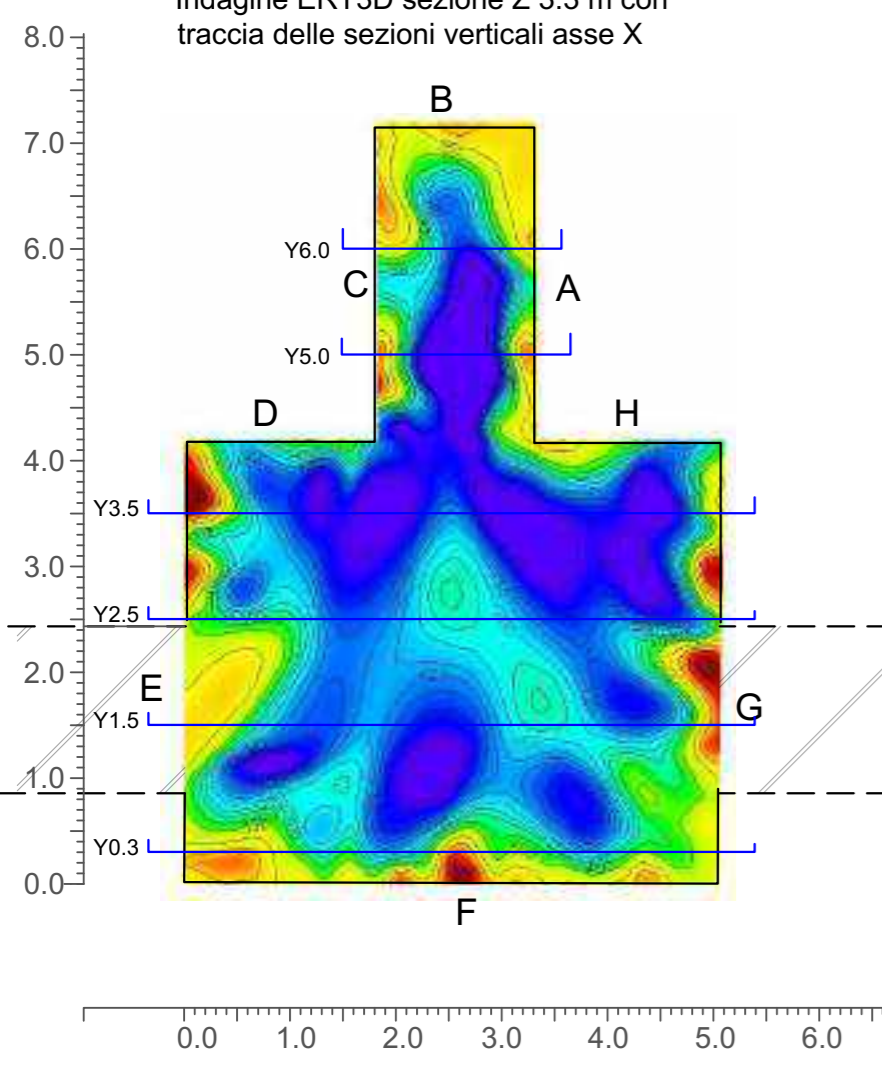
Faccia A



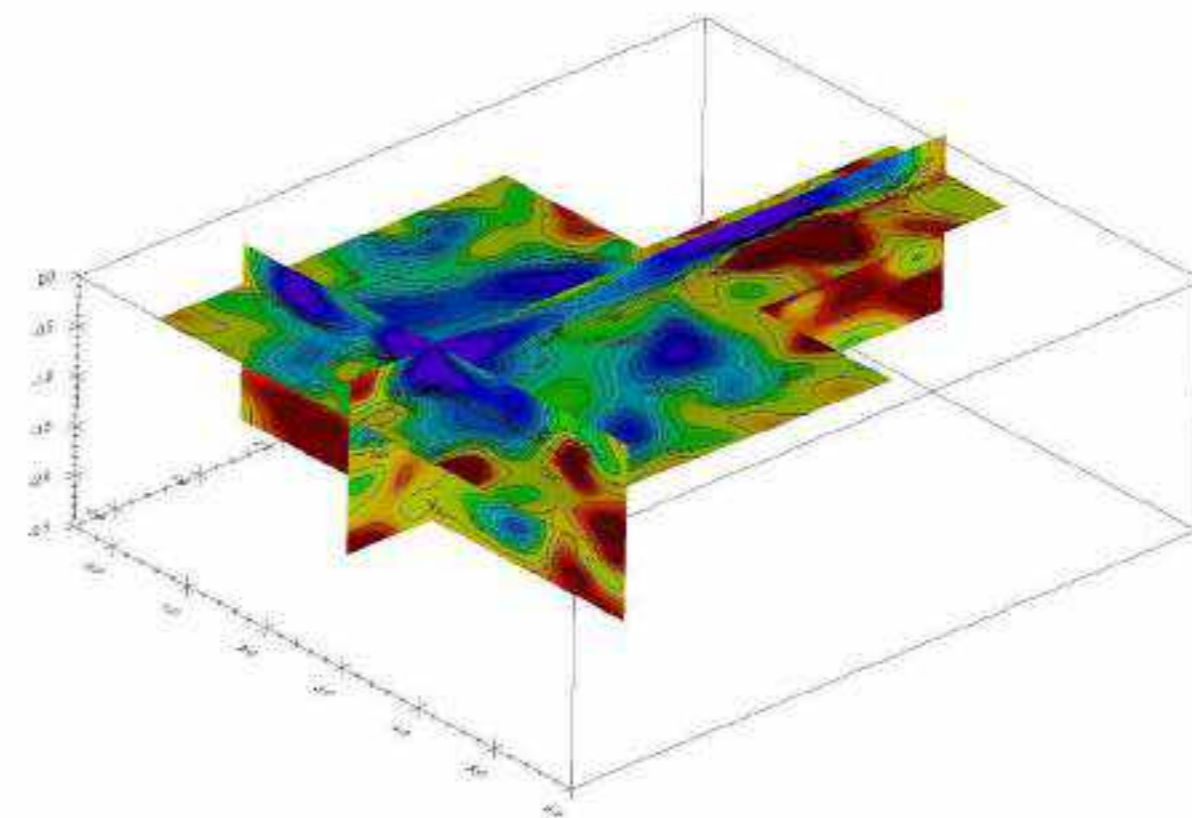
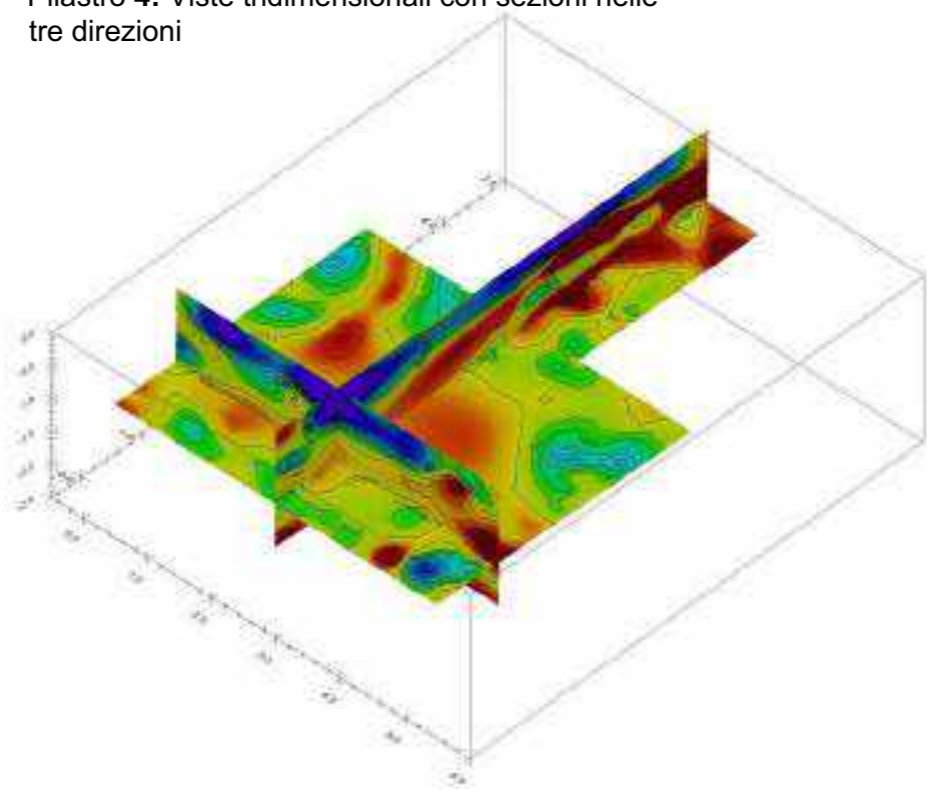
Faccia B



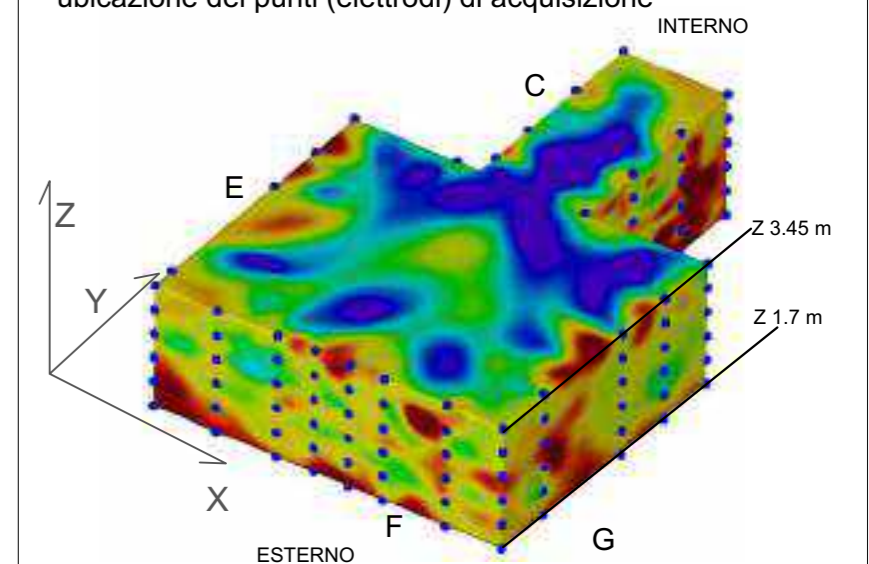
Indagine ERT3D sezione Z 3.3 m con traccia delle sezioni verticali asse X



Pilastrino 4: Viste tridimensionali con sezioni nelle tre direzioni



Pilastrino 4: Volume oggetto di indagine con ubicazione dei punti (elettrodi) di acquisizione



LEGENDA

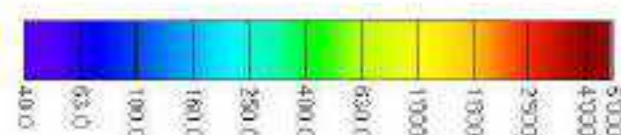
(Z) altezza in metri dallo zero del piano interno di riferimento

Sezioni rappresentate numerate secondo le coordinate di riferimento

● Posizione dei punti (elettrodi) di indagine

M Nomenclatura delle singole facce del pilastrino

SCALA DEI VALORI DI RESISTIVITA' (Ohm*m)



SOING
Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma

Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO

Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi

CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

RIF. INTERNI

CO-049_22_archi

ELABORAZIONE MG.Idili
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

OGGETTO

Indagine ERT3D
lungo il Pilastrino 4

DATA CONSEGNA
10 Ottobre 2022

TAVOLA

6

**Terme di Diocleziano - Grandi Aule
INDAGINI DIAGNOSTICHE**

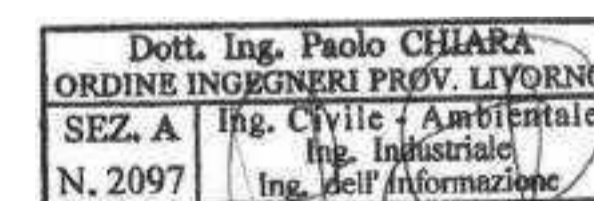
CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Elaborato 3D2_Videoendoscopia nelle carote C1, C2, C3, CA

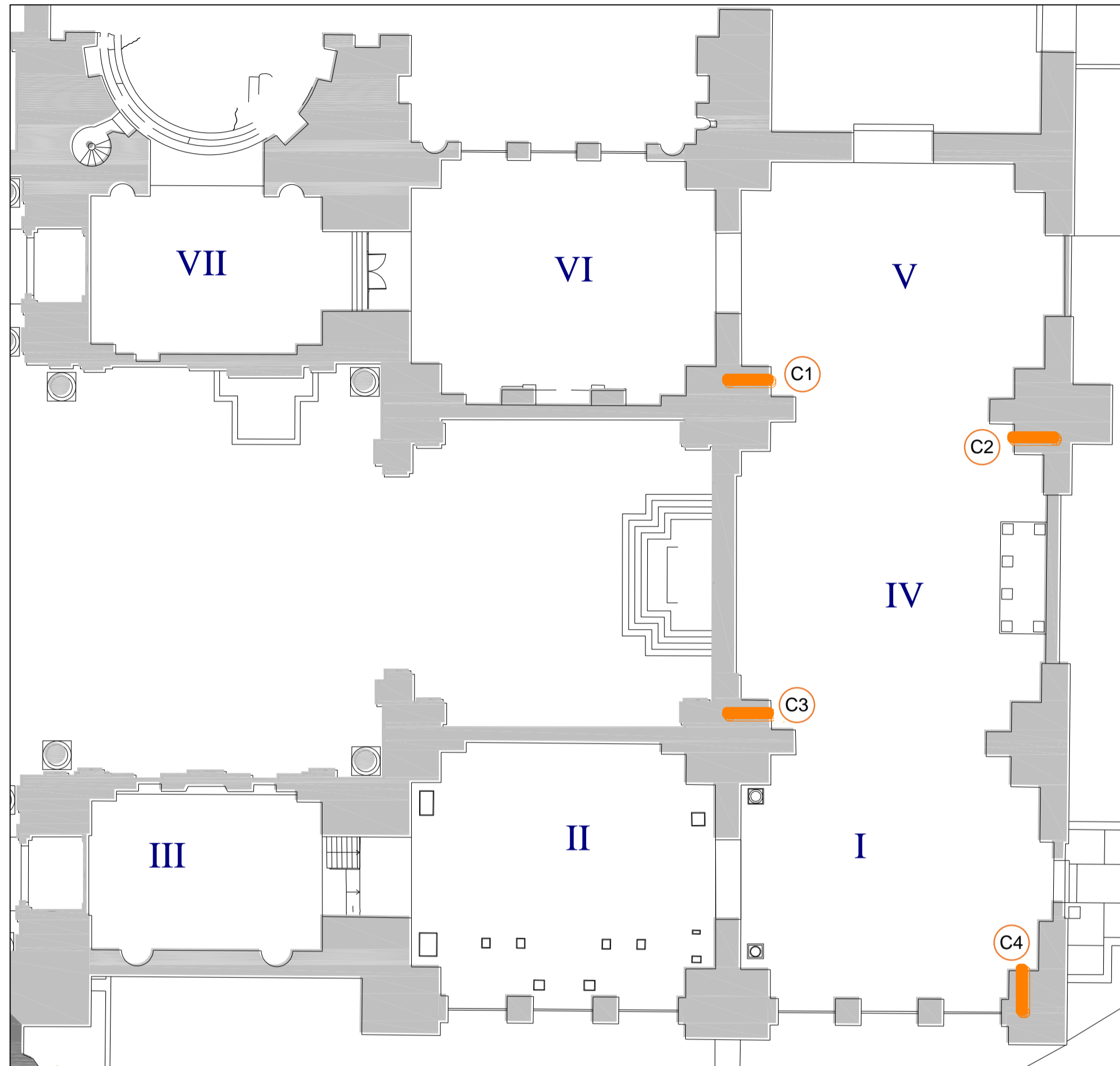


Redazione in data Ottobre 2022
Rif. Interno:CO:049_22

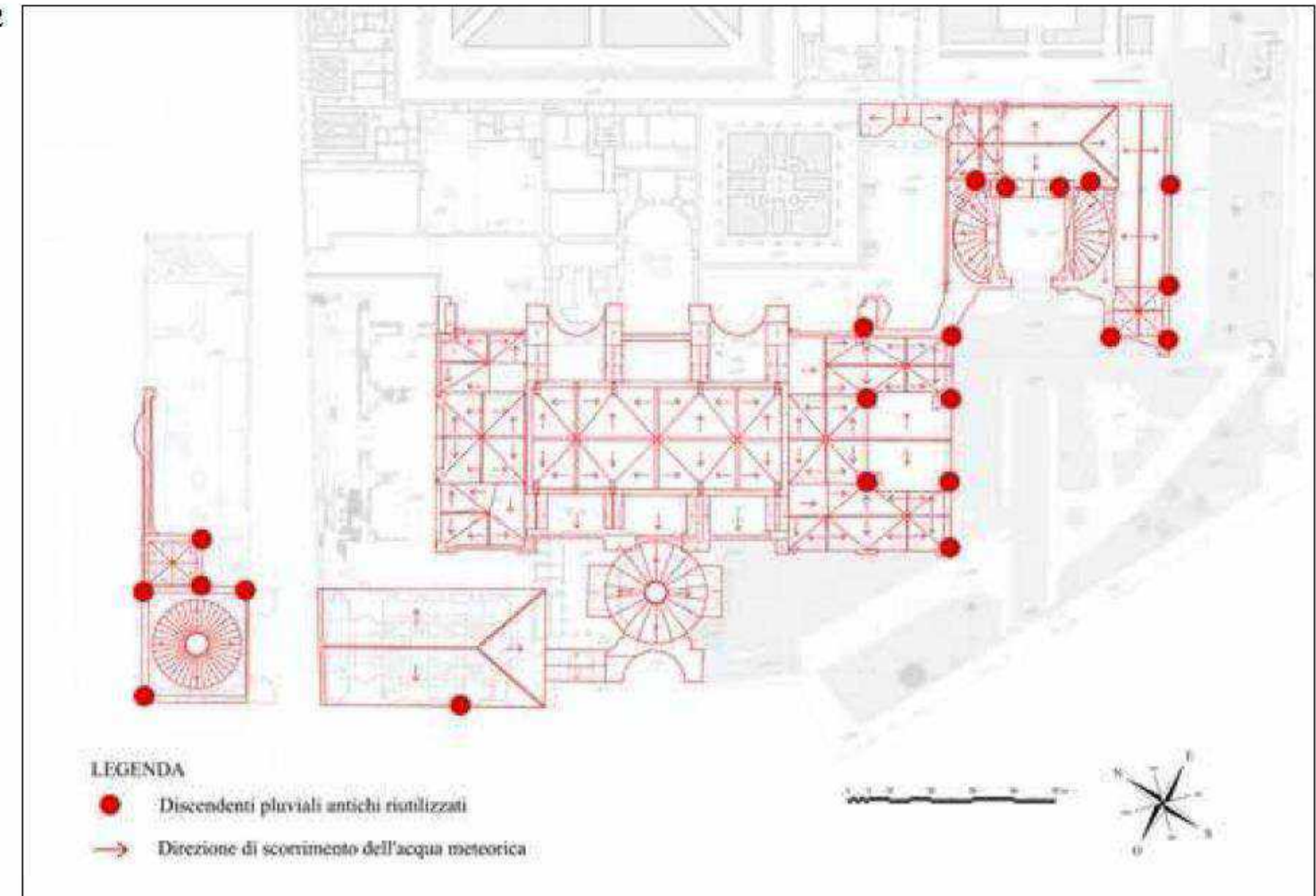
Elaborazione: Agathe Crespin
Verifica: Annalisa Morelli
Approvazione: Paolo Chiara



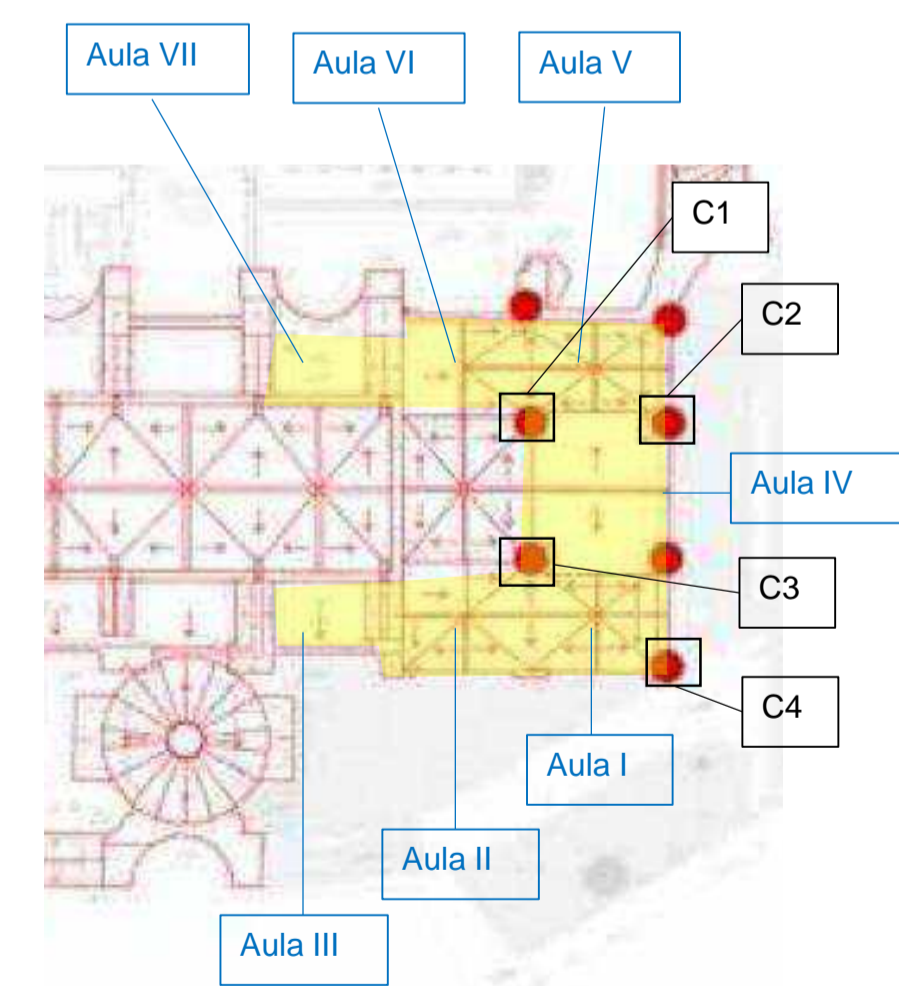
Ubicazione dei carotaggi all'interno delle Terme di Diocleziano, Roma




12



Mappa dei discendenti che hanno ancora oggi la funzione di accogliere le acque piovane (fonte «Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano» di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci)




Estratto della «Mappa dei discendenti che hanno ancora oggi la funzione di accogliere le acque piovane» con indicazione dei nostri riferimenti e zone di indagine



SOING
STRUTTURE & AMBIENTE

Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

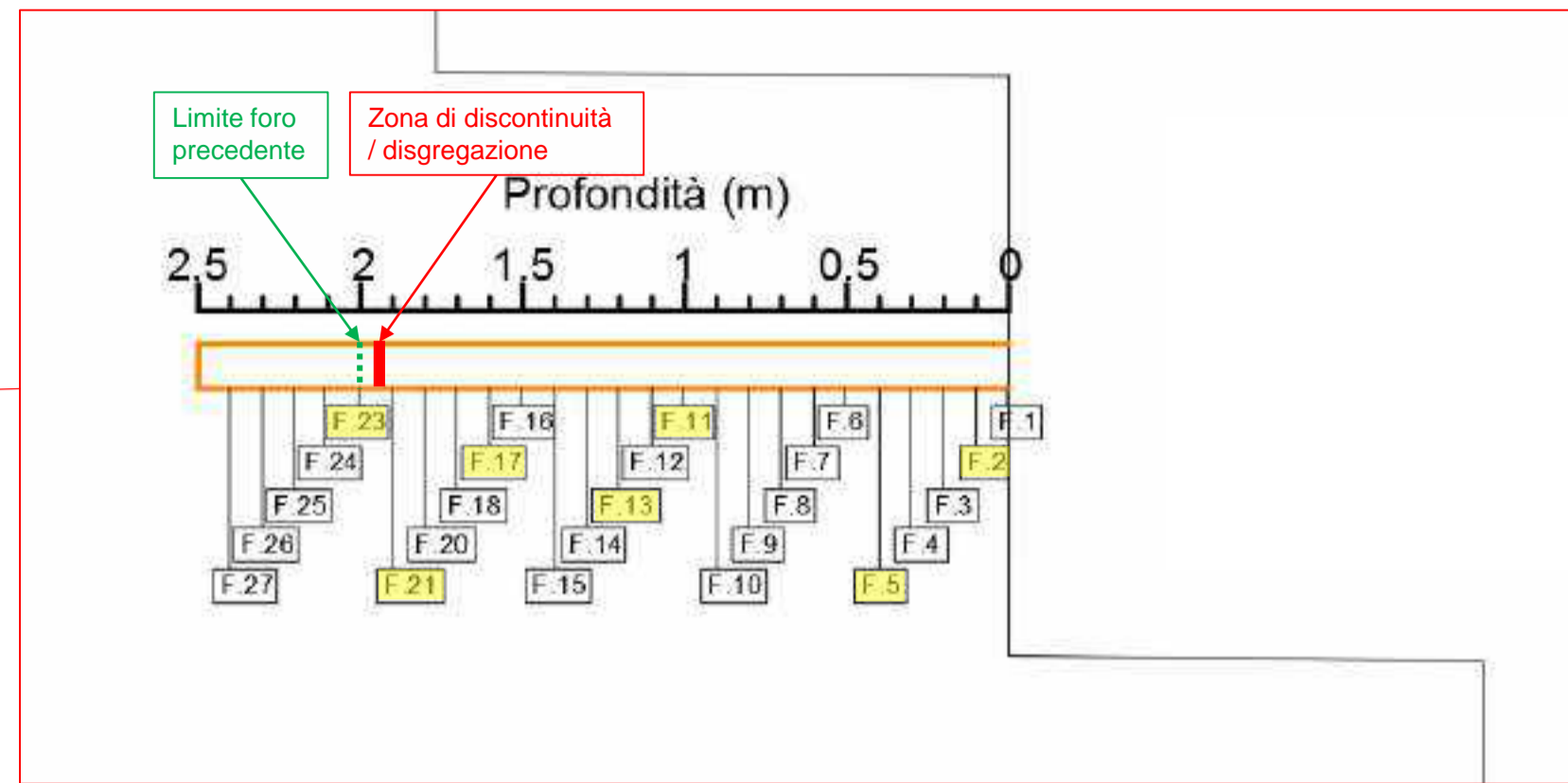
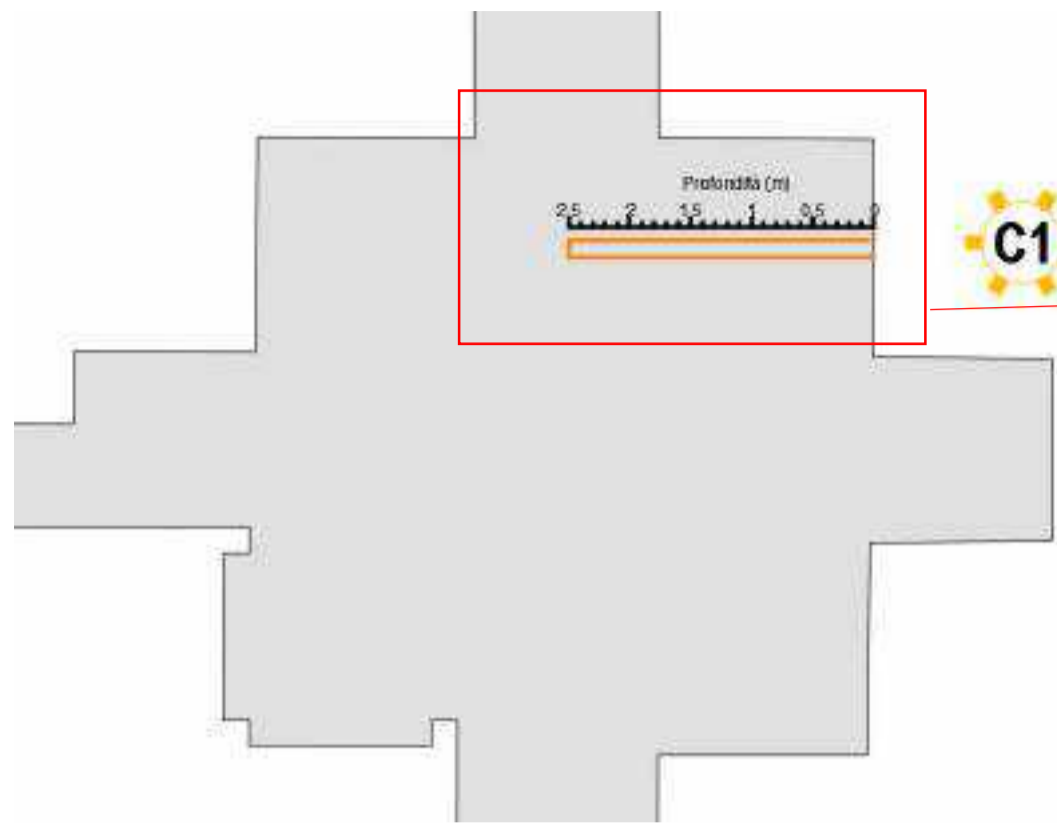
CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato 3D2_VIDEOENDOSCOPIA NEI PILASTRI C1, C2, C3 E C4

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
1

Punto indagine C1



Schema del foro e ubicazione delle fotografie scattate

Carota C1

- ❖ Ubicata nel pilastro tra le Aule V e VI
- ❖ Presenza nel pilastro di discendente antico (fonte «Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano»)
- ❖ Videoendoscopia nel foro di carotaggio nel nucleo di opus caementicium di 2.5 m di lunghezza.
- ❖ Il foro preesistente è profondo 2 m, l'approfondimento per eseguire le prove meccaniche va da 2 a 2.5 m.

L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo senza macro zone di discontinuità. E' formato da aggregati o "caementae" a macroscala polisferici. Si osservano laterizi di forma subgeometrica di dimensione pluricentimetrica, aggregati "caementae" di tufo pluricentimetrici e carbonatici biancastri subcentimetrici.



Foto 2 scattata a 10 cm dalla parete esterna



Foto 5 scattata a 40 cm dalla parete esterna



Foto 11 scattata a 100 cm dalla parete esterna



Foto 13 scattata a 120 cm dalla parete esterna

Limite foro precedente (a 2 m da inizio foro)



Foto 17 scattata a 160 cm dalla parete esterna

Limite foro precedente (a 2 m da inizio foro)

piccola zona di discontinuità



Foto 21 scattata a 190 cm dalla parete esterna

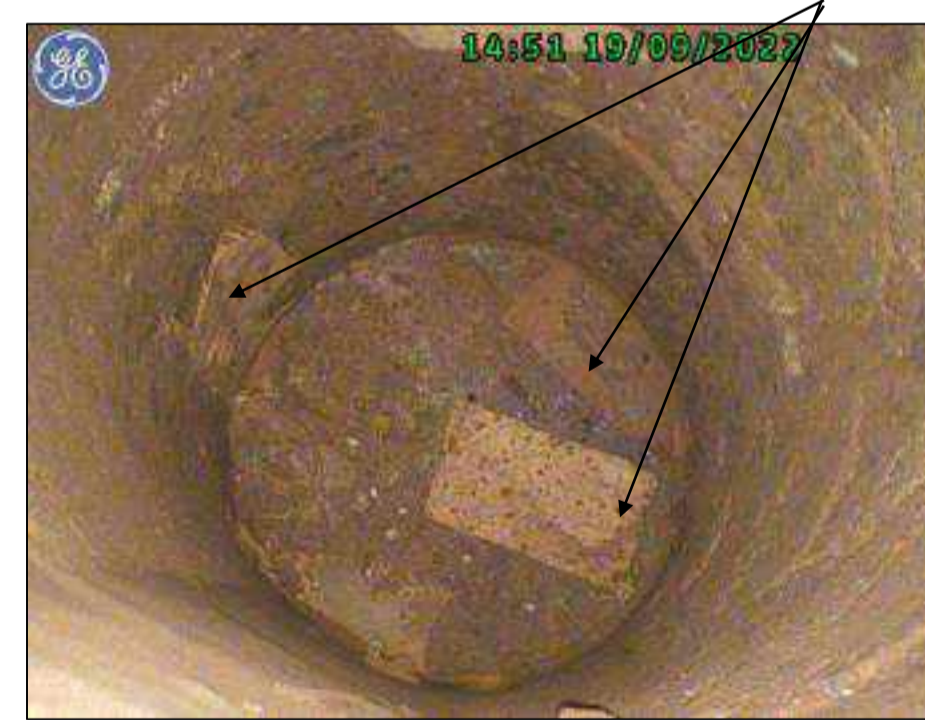


Foto 23 scattata a 200 cm dalla parete esterna

laterizio



Carota C1



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l. www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

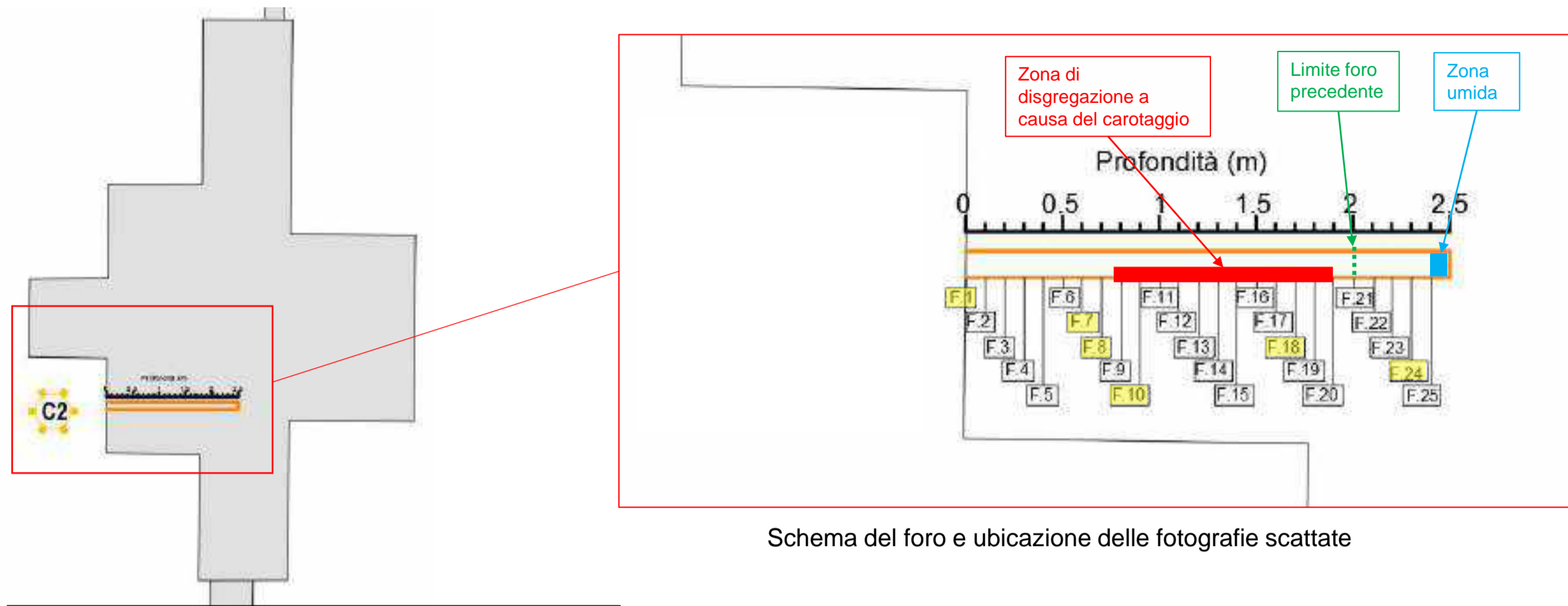
PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE

Elaborato 3D2_VIDEOENDOSCOPIA NEI PILASTRI C1, C2, C3 E C4

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
2

Punto indagine C2



Carota C2

- ❖ Ubicata nel pilastro tra le Aule IV e V
- ❖ Presenza nel pilastro di discendente antico (fonte «*Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano*»)
- ❖ Video endoscopia nel foro di carotaggio nel nucleo di opus caementicium di 2.5 m di lunghezza.
- ❖ Il foro preesistente è profondo 2 m, l'approfondimento per eseguire le prove meccaniche va da 2 a 2.5 m.

L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo con zone di disagregazione dovute al carotaggio (da 70 cm a 190 cm da inizio foro).
 E' formato da aggregati o "caementae" a macroscala polisferici.
 Si osservano laterizi di forma subgeometrica di dimensione pluricentimetrica, aggregati "caementae" di tufo pluricentimetrici e carbonatici biancastri subcentimetrici.
 Si nota in fondo foro la presenza di una zona umida nonostante la distanza di 12 gg tra la data di esecuzione del carotaggio e quella di esecuzione della videoendoscopia

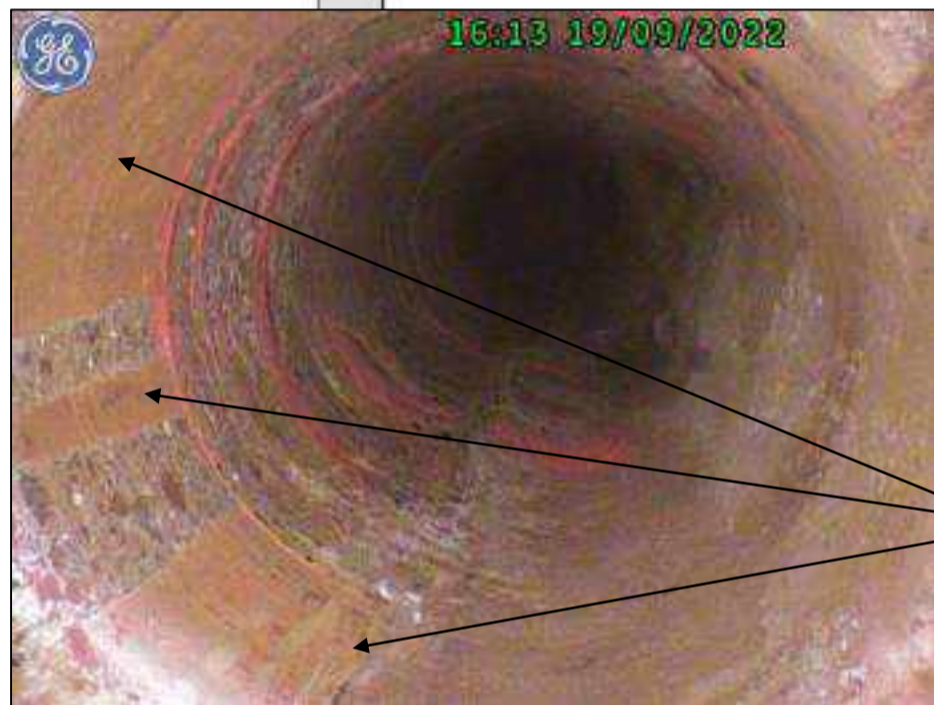


Foto 1 scattata a inizio foro

Laterizi del paramento esterno legati da letti di malta



Foto 7 scattata a 60 cm dalla parete esterna



Foto 8 scattata a 70 cm dalla parete esterna



Foto 10 scattata a 90 cm dalla parete esterna

zona di disagregazione di materiale laterale dovuto al carotaggio



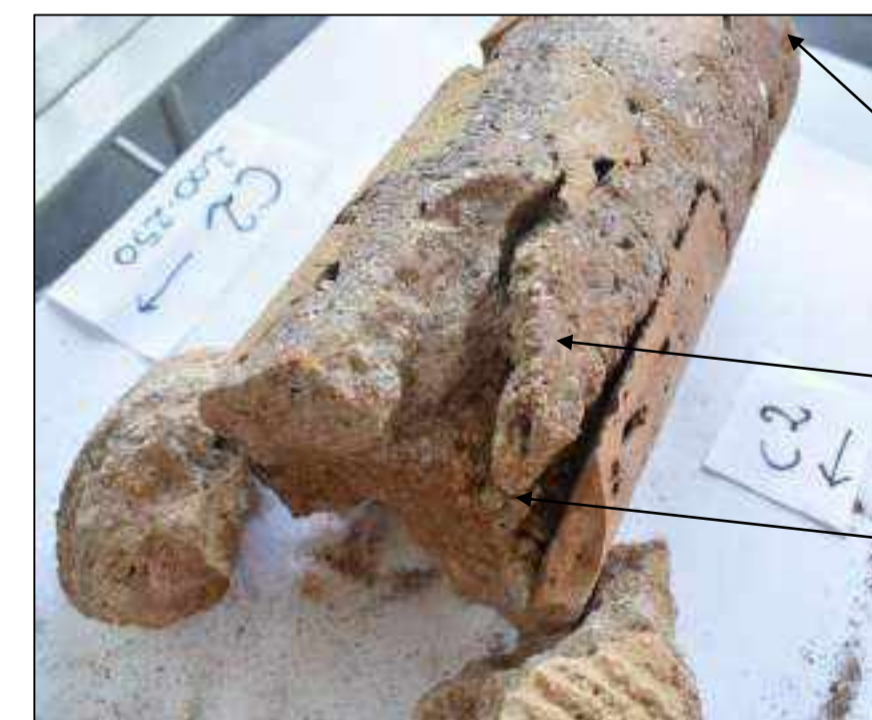
Foto 18 scattata a 170 cm dalla parete esterna

Laterizio



Foto 24 scattata a 240 cm dalla parete esterna

zona umida



200 cm da inizio foro

Zona di disagregazione della carota

250 cm da inizio foro

Carota C2



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l. www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

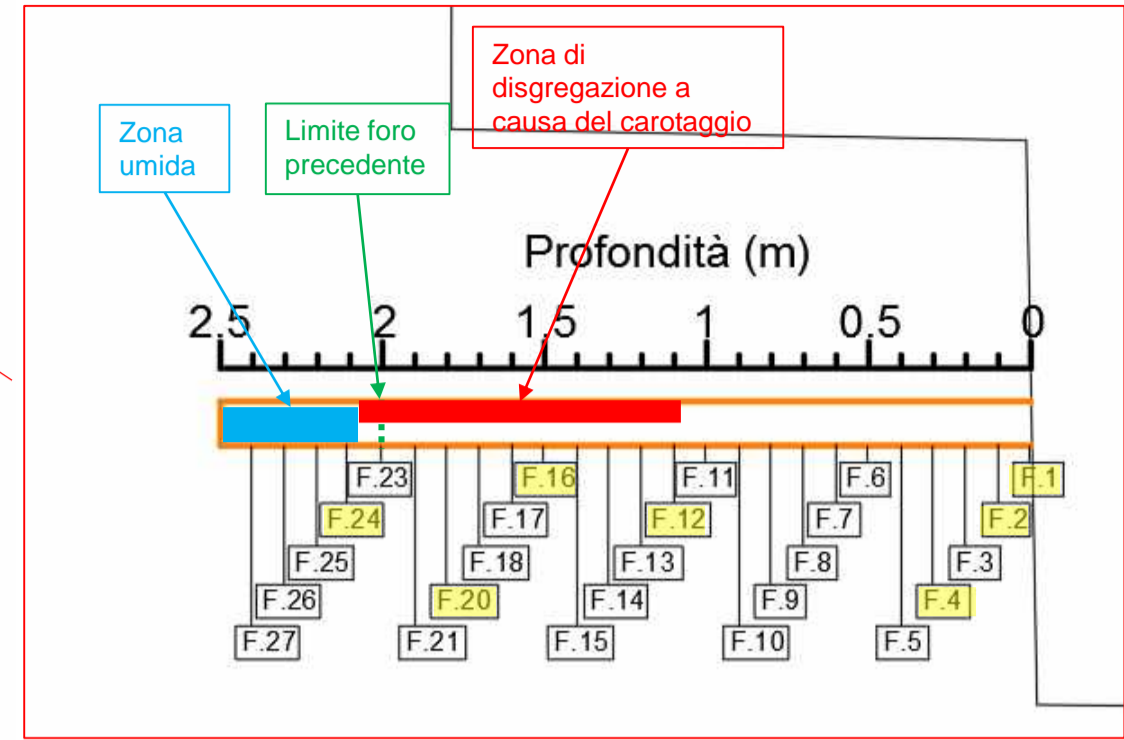
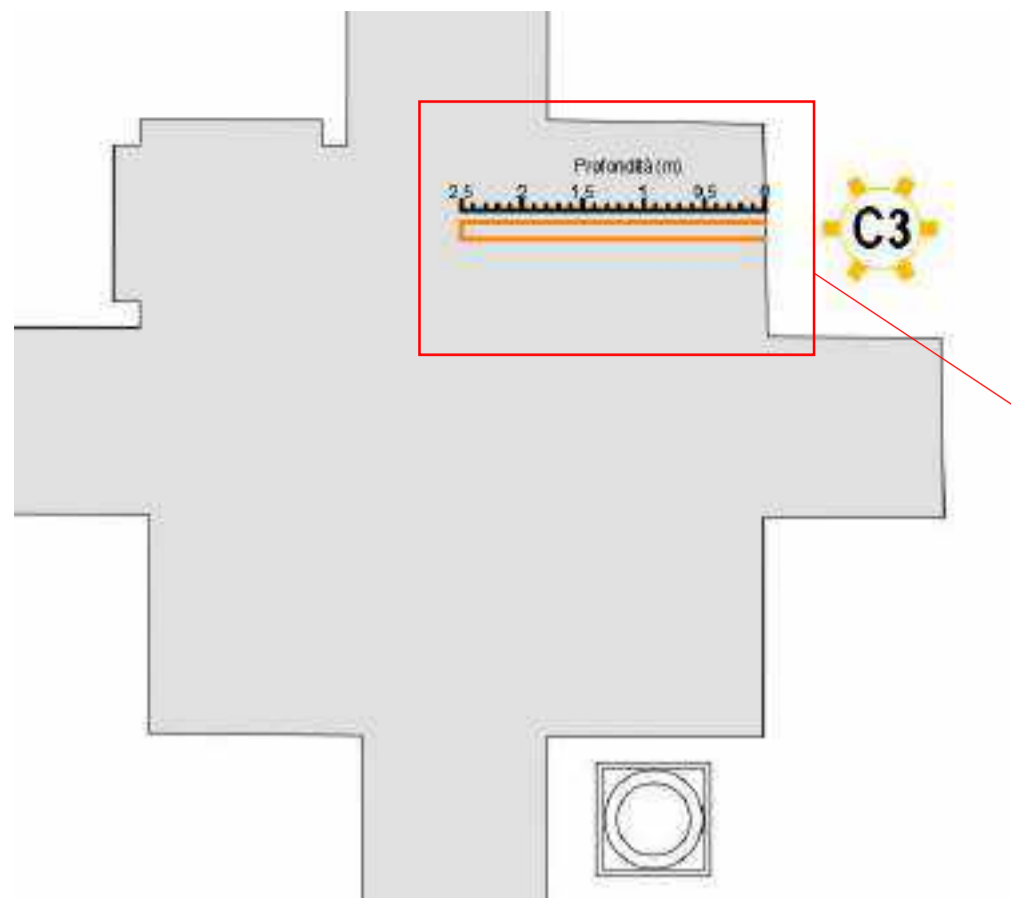
RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

3

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato 3D2_VIDEOENDOSCOPIA NEI PILASTRI C1, C2, C3 E C4

Punto indagine C3



Carota C3

- ❖ Ubicata nel pilastro tra le Aule I e IV
- ❖ Presenza nel pilastro di discendente antico (*fonte «Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano»*)
- ❖ Video endoscopia nel foro di carotaggio nel nucleo di opus caementicium di 2.5 m di lunghezza.
- ❖ Il foro preesistente è profondo 2 m, l'approfondimento per eseguire le prove meccaniche va da 2 a 2.5 m.

L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo. Si nota che la proporzione tra malta e caementa è diversa rispetto ai fori precedenti. E' formato da numerosi aggregati o "caementae" a macroscale polisferici di dimensione maggiore rispetto ai fori precedenti. Si osservano laterizi di forma subgeometrica di dimensione pluricentimetrica, aggregati o "caementae" di tufo pluricentimetrici e carbonatici biancastri subcentimetrici. Si nota in fondo foro la presenza di una zona umida con evidenti gocce sulla parete, nonostante la distanza di 12 gg tra la data di esecuzione del carotaggio e quella di esecuzione della videoendoscopia

Schema del foro e ubicazione delle fotografie scattate



Foto 1 scattata a inizio foro



Foto 2 scattata a 10 cm dalla parete esterna



Foto 5 scattata a 40 cm dalla parete esterna



Foto 12 scattata a 110 cm dalla parete esterna



Foto 16 scattata a 150 cm dalla parete esterna
Assenza di malta, zona di disgregazione



Foto 20 scattata a 180 cm dalla parete esterna

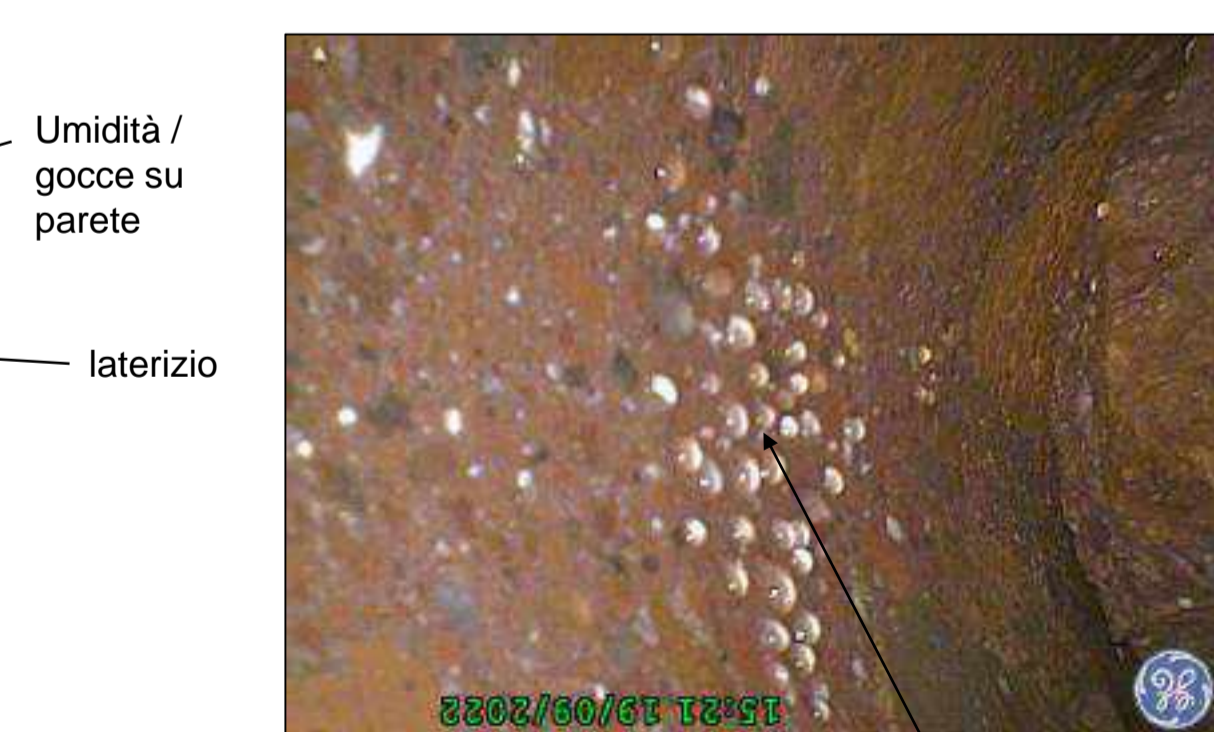


Foto 24 scattata a 210 cm dalla parete esterna



Carota C3
250 cm da inizio foro



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

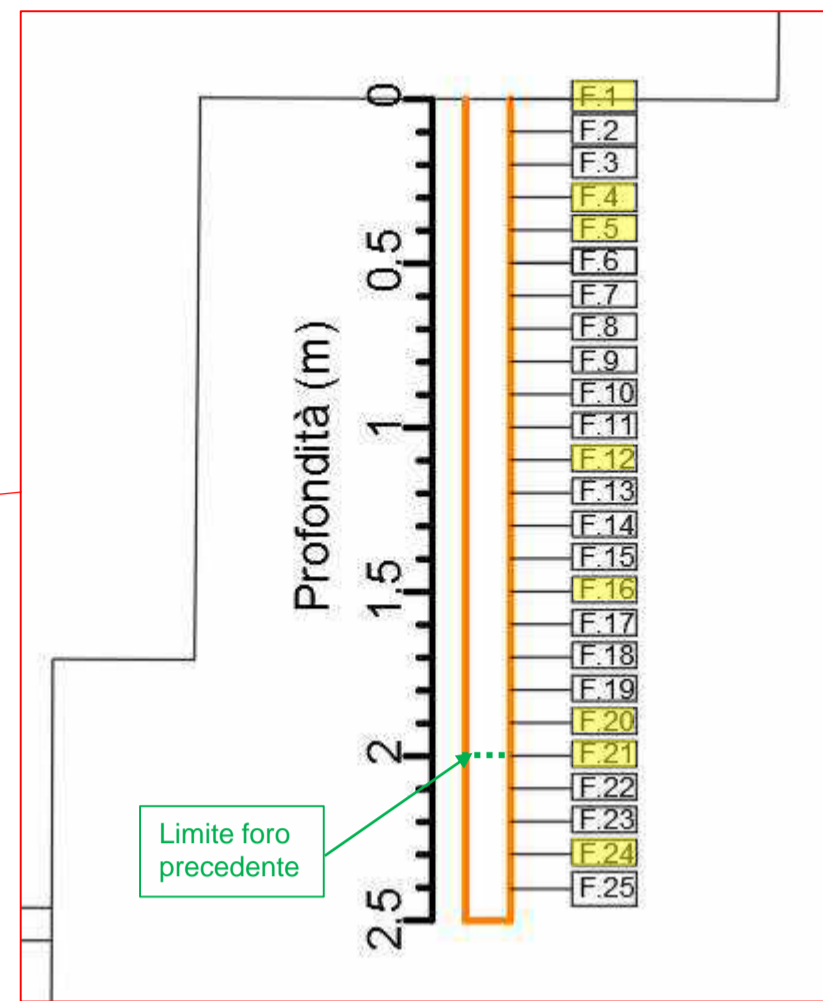
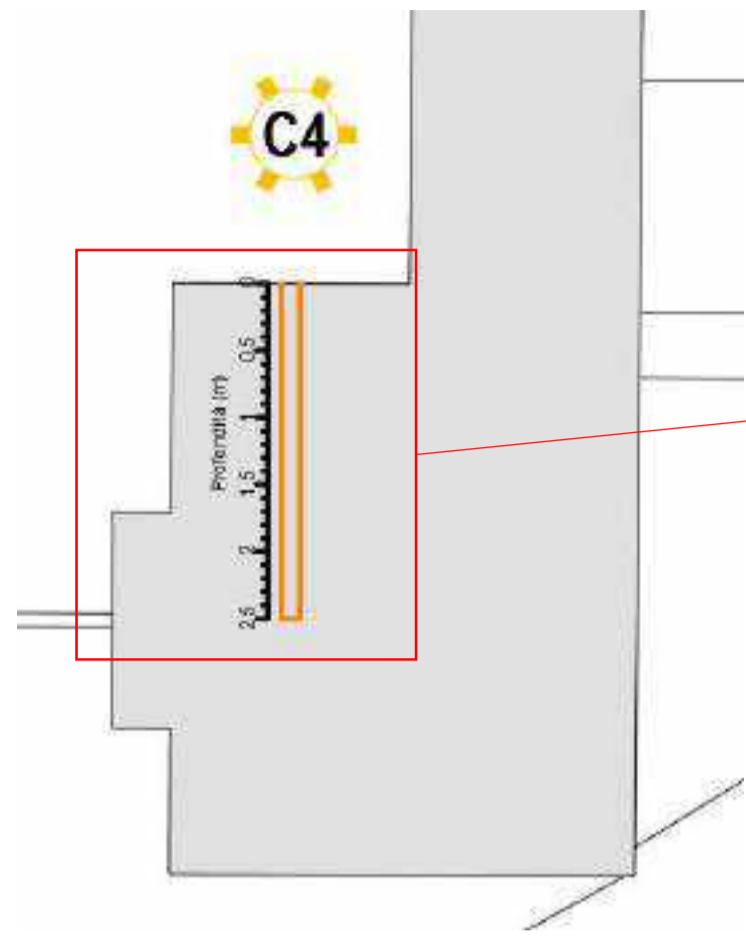
CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato 3D2_VIDEOENDOSCOPIA NEI PILASTRI C1, C2, C3 E C4

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
4

Punto indagine C4



Carota C4

- ❖ Ubicata nel pilastro nell'Aula I
- ❖ Presenza nel pilastro di discendente antico (fonte «Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano»)
- ❖ Video endoscopia nel foro di carotaggio nel nucleo di opus caementicium di 2.5 m di lunghezza.
- ❖ Il foro preesistente è profondo 2 m, l'approfondimento per eseguire le prove meccaniche va da 2 a 2.5 m.

L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo senza macro zone di discontinuità..

E' formato da numerosi aggregati o "caementae" a macroscale polisferici

Si osservano laterizi di forma subgeometrica di dimensione pluricentrica, aggregati o "caementae" di tufo pluricentrici e carbonatici biancastri subcentimetrici.

Nonostante l'omogeneità visibile nel foro, la carota non è uscita intatta e compatta, ma scomposta in tante parti; per questo è stato difficile avere a disposizione un dello stesso tipo degli altri, valido per la prova a schiacciamento.



Foto 1 scattata a inizio foro



Foto 4 scattata a 30 cm dalla parete esterna



Foto 5 scattata a 40 cm dalla parete esterna



Foto 12 scattata a 110 cm dalla parete esterna



Foto 16 scattata a 150 cm dalla parete esterna
Limite foro precedente



Foto 20 scattata a 190 cm dalla parete esterna
laterizio



Foto 21 scattata a 200 cm dalla parete esterna
laterizio



Foto 24 scattata a 230 cm dalla parete esterna



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

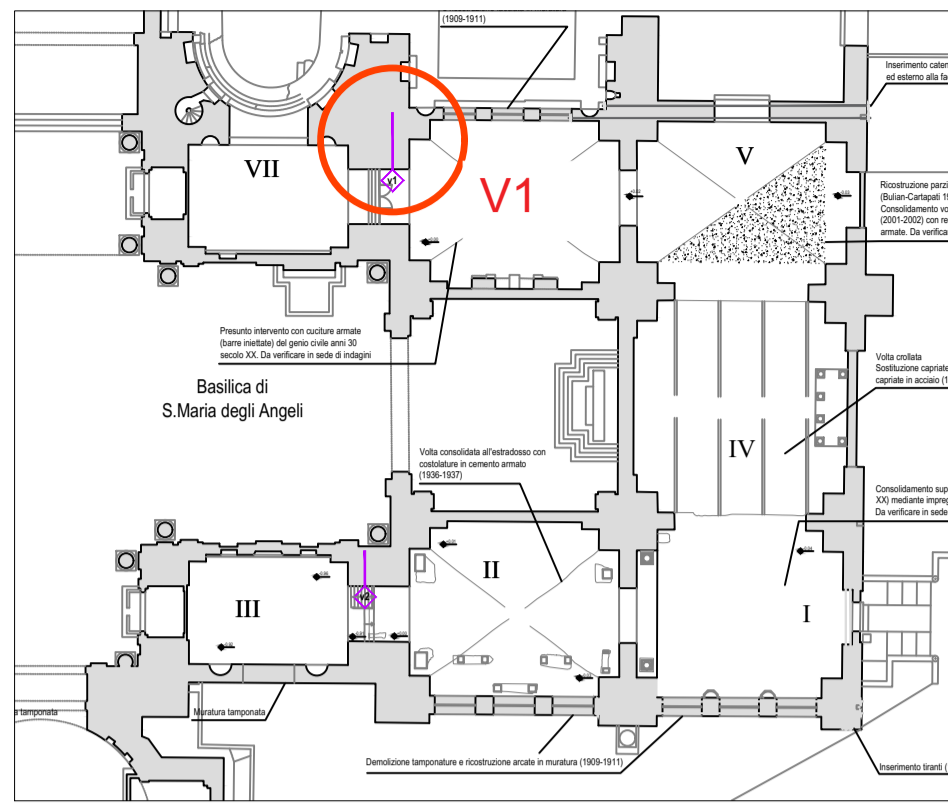
PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato 3D2_VIDEOENDOSCOPIA NEI PILASTRI C1, C2, C3 E C4

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

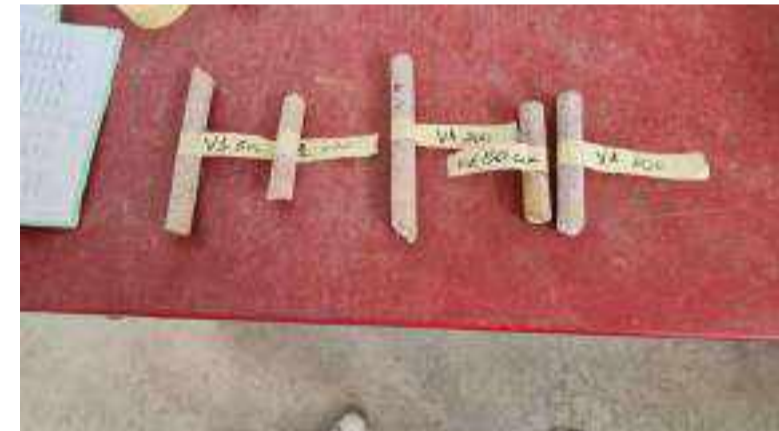
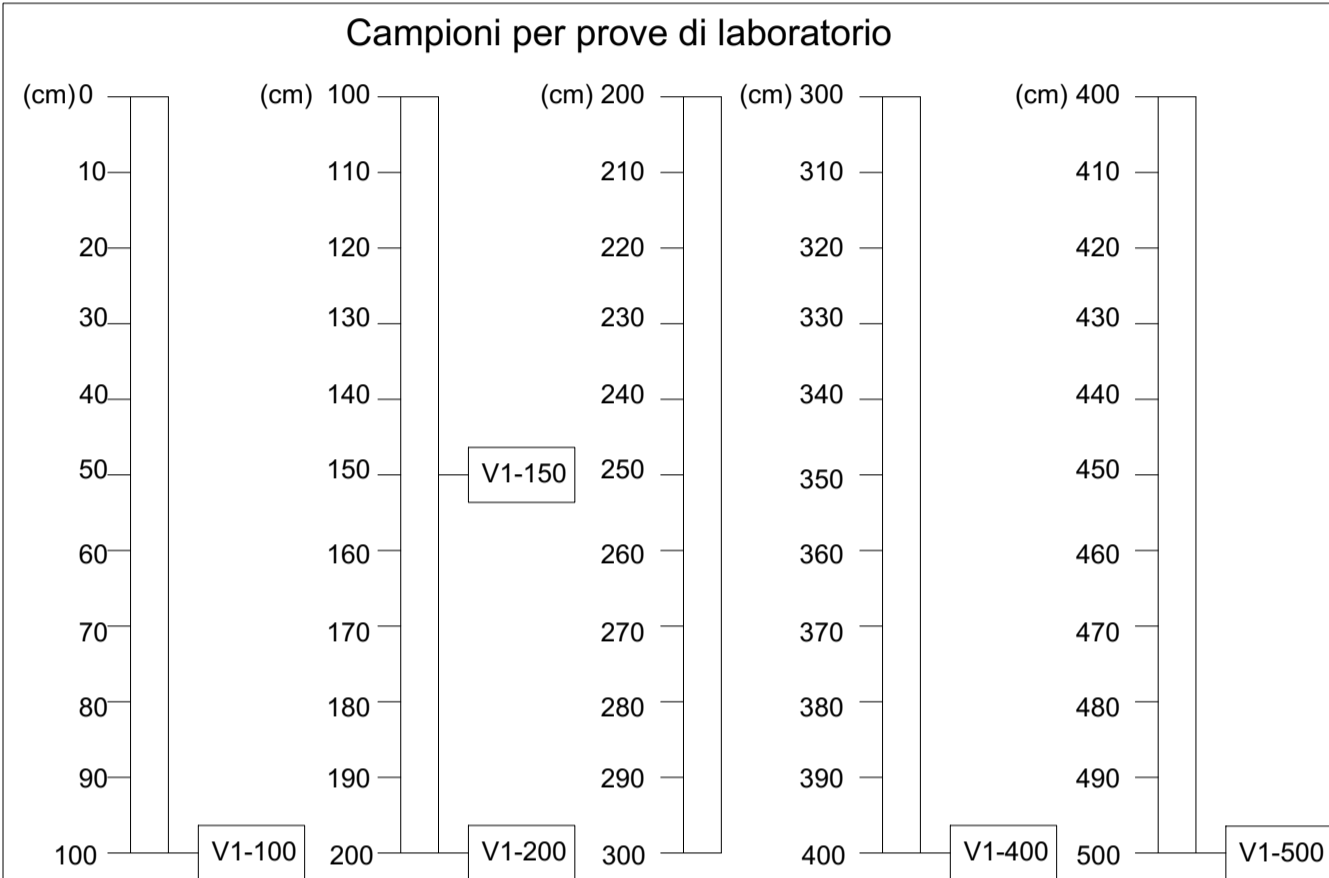
TAVOLA
5

Videoscopia a parete previo foro con carotatrice di piccolo diametro per la ricostruzione stratigrafica

Videoscopia V1 lunghezza foro 490cm



Ubicazione delle indagini



Campioni prelevati dal microcarotaggio sottoposti a prove di schiacciamento

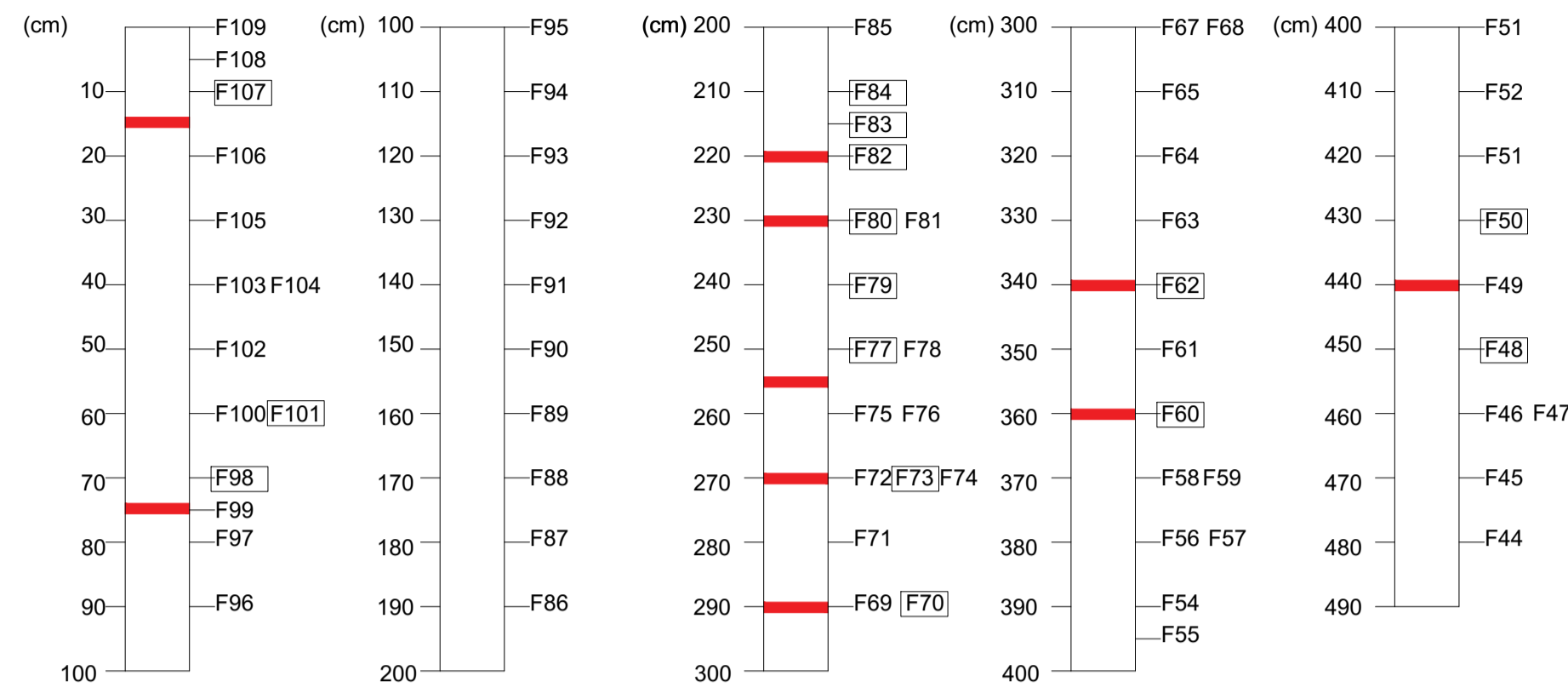


Campioni prelevati dal microcarotaggio sottoposti a prove di schiacciamento

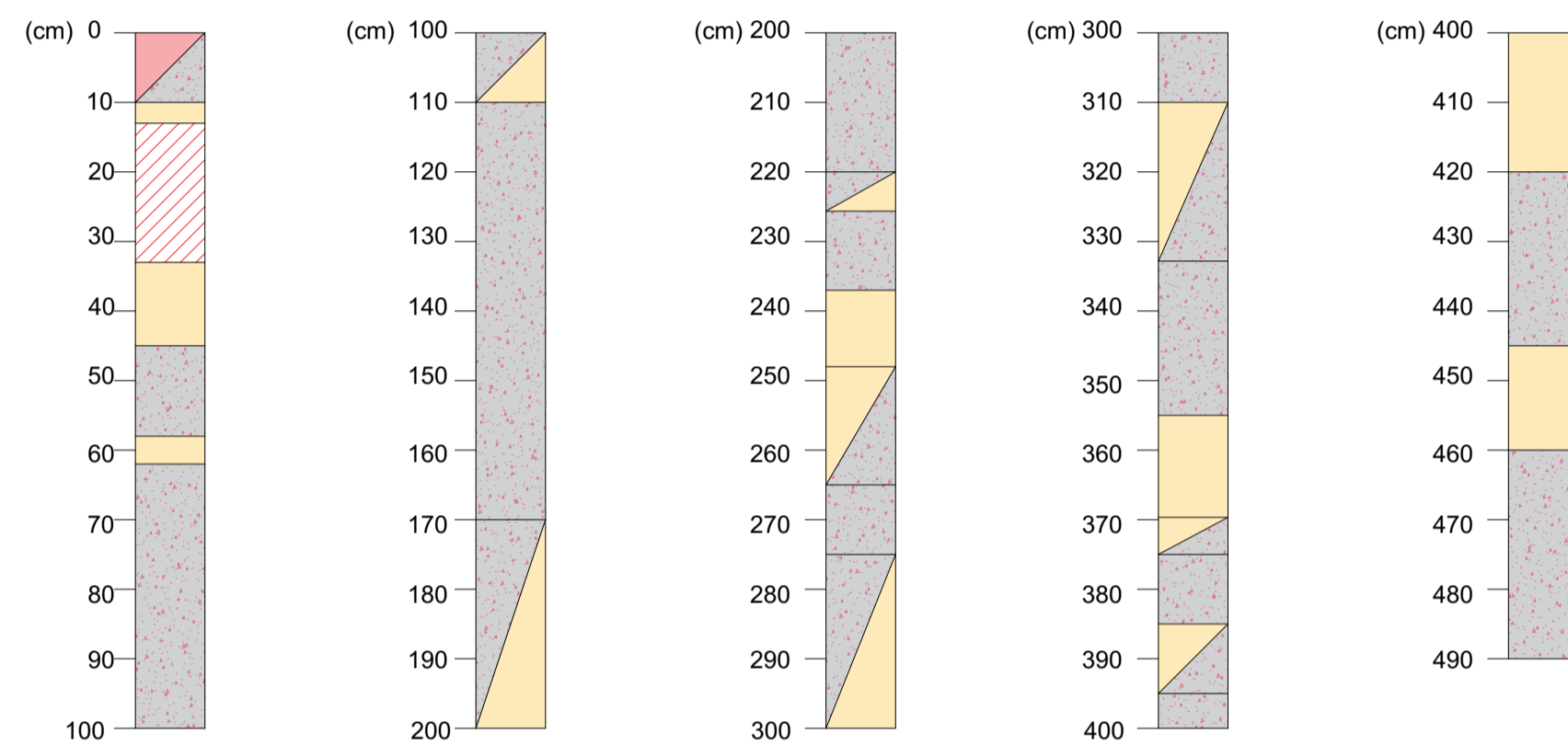
Note:
 - L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo e formato da malta e aggregati (tuffelli/laterizi).
 - Le discontinuità (micro cavità) si trovano nel limite tra aggregato e malta.
 - La zona maggiormente interessata dalle discontinuità è quella compresa tra 200cm e 300cm. Tale zona potrebbe avere correlazione con la fuoriuscita di acqua durante il carotaggio, vedi foto di tavola 10 dell'allegato "Elaborato di sintesi 3D1_Codice prova C Carotaggi_C1_C2_C3_C4_e Microcarotaggi V1_V2".
 - Il materiale costituente la muratura da 360cm a 420cm si è in parte disciolto durante l'esecuzione del carotaggio. Quest'ultimo è l'unico punto rispetto ai due microcarotaggi, per cui potrebbe evidenziare una variazione di stato di conservazione.

Legenda	
	Mattone
	Aggregati di grandi dimensioni - Caementa
	Malta
	Compresenza di malta e aggregato
	Porzione disgregata in frammenti durante il carotaggio
	Porzioni di microcarota > 10cm
	Porzioni di microcarota < 10cm
	Discontinuità (micro cavità)

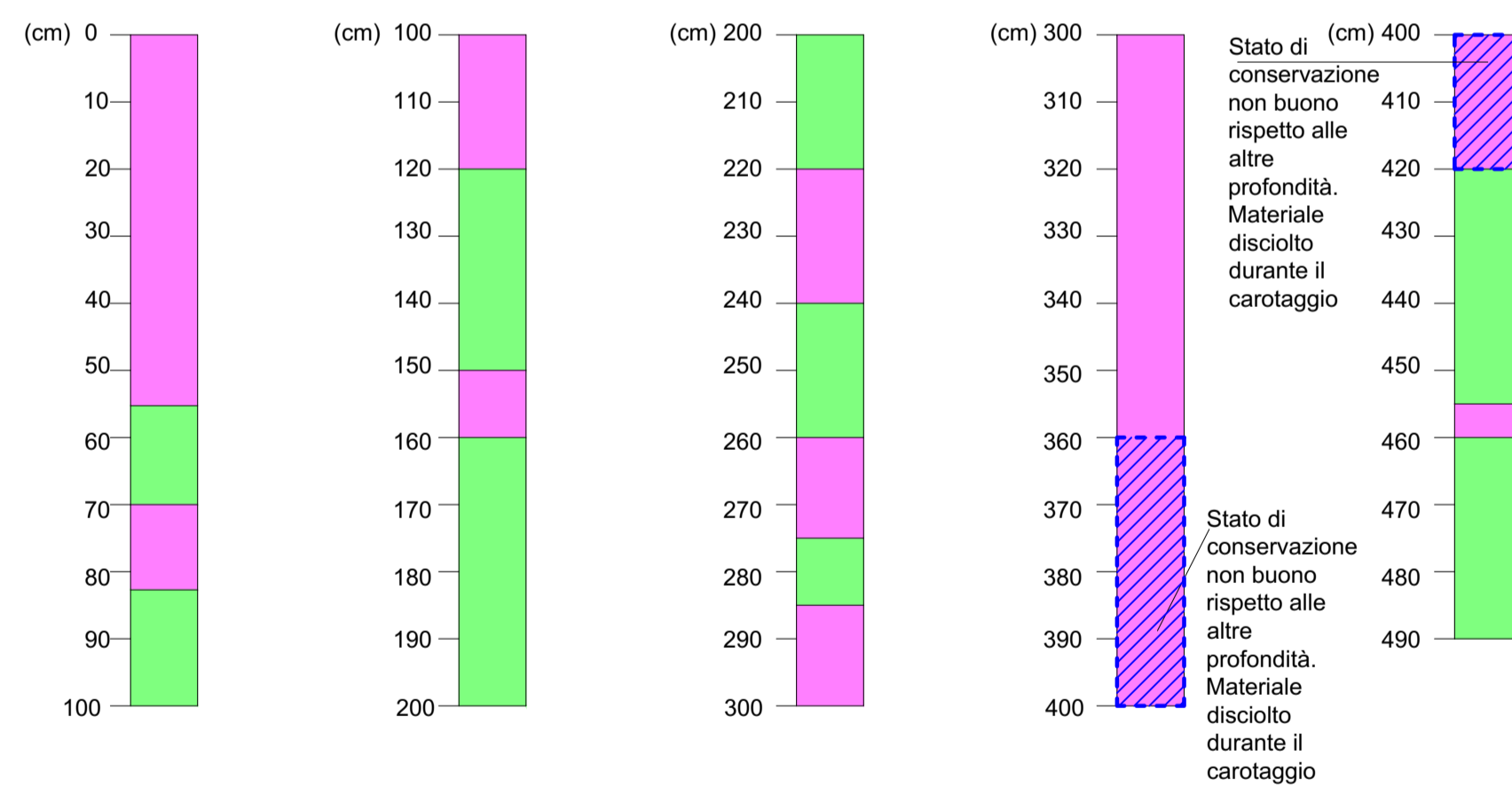
Sintesi delle zone di discontinuità (micro cavità) visibili dalla videoscopia



Sezione stratigrafica



Livello di compattezza del microcarotaggio valutato dalle dimensioni delle parti estratte



Microcarotaggio V1

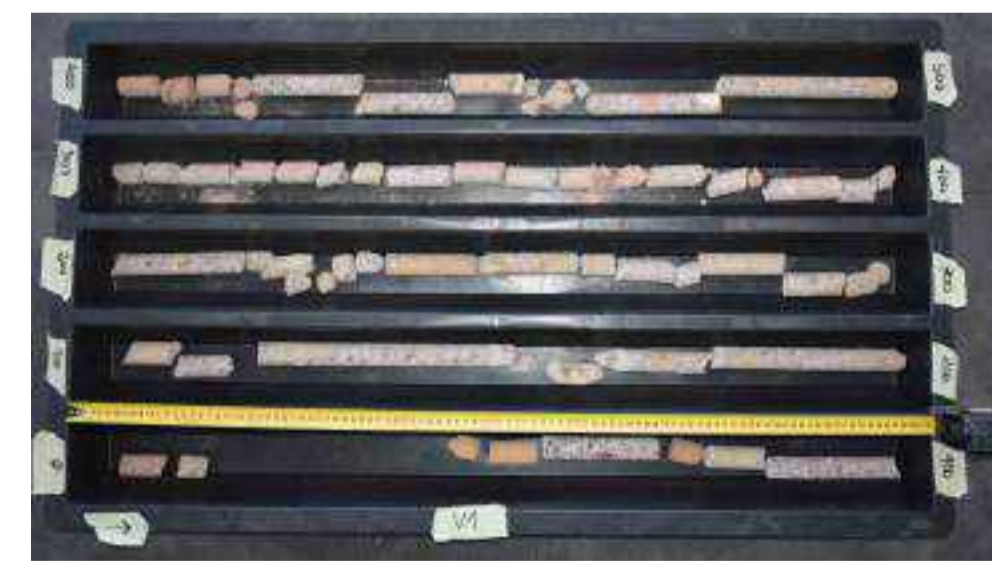


Foto del microcarotaggio V1 scattata in laboratorio



Foto 107 scattata a 10 cm dalla parete



Foto 101 scattata a 60 cm dalla parete

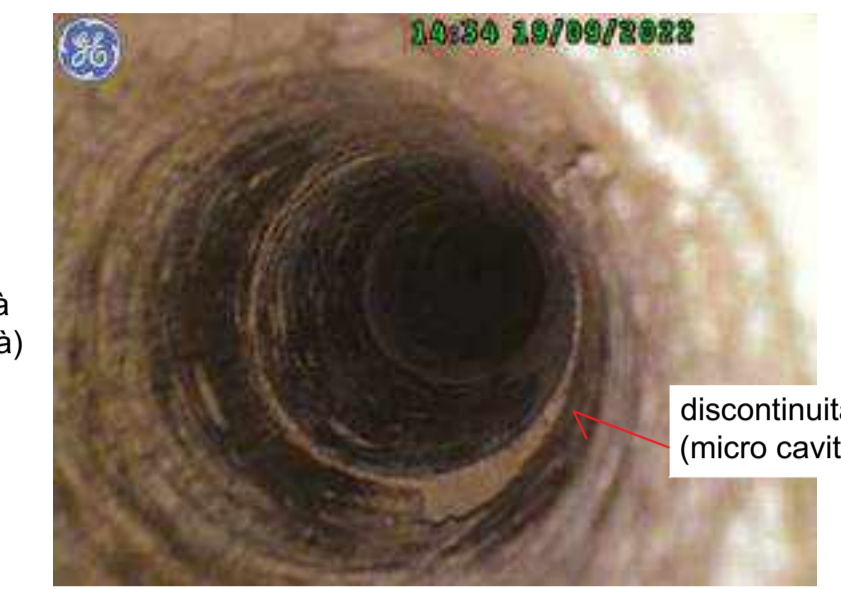


Foto 98 scattata a 70 cm dalla parete



Foto 84 scattata a 210 cm dalla parete

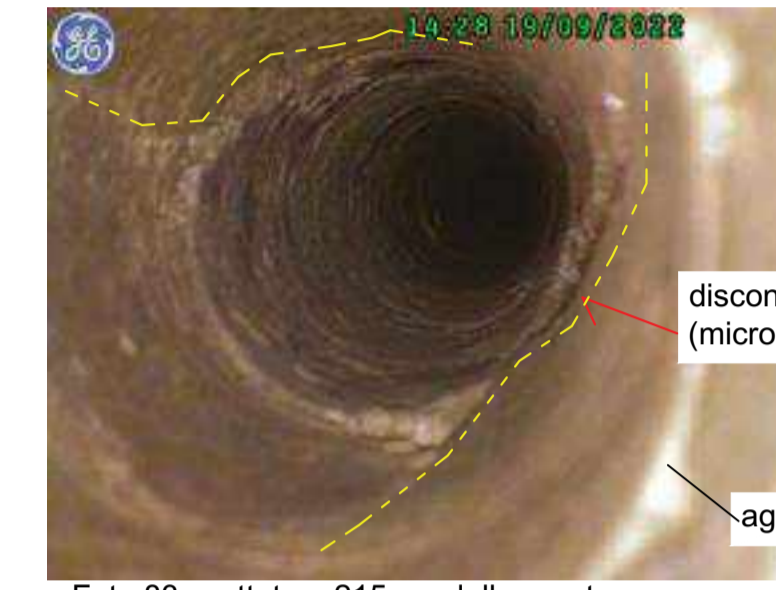


Foto 83 scattata a 215 cm dalla parete



Foto 82 scattata a 220 cm dalla parete



Foto 80 scattata a 230 cm dalla parete



Foto 79 scattata a 240 cm dalla parete



Foto 77 scattata a 250 cm dalla parete



Foto 73 scattata a 270 cm dalla parete

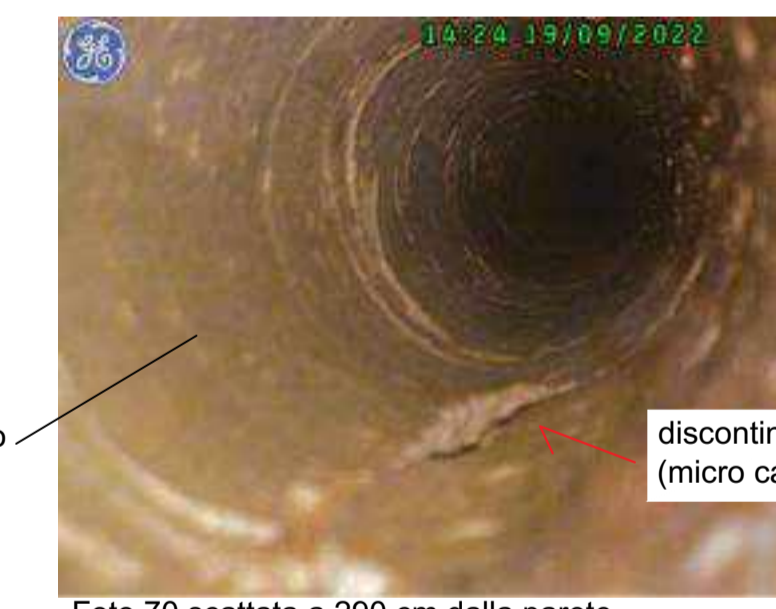


Foto 70 scattata a 290 cm dalla parete



Foto 62 scattata a 340 cm dalla parete



Foto 60 scattata a 360 cm dalla parete



Foto 50 scattata a 430 cm dalla parete



Foto 48 scattata a 450 cm dalla parete

SOING Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-b) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

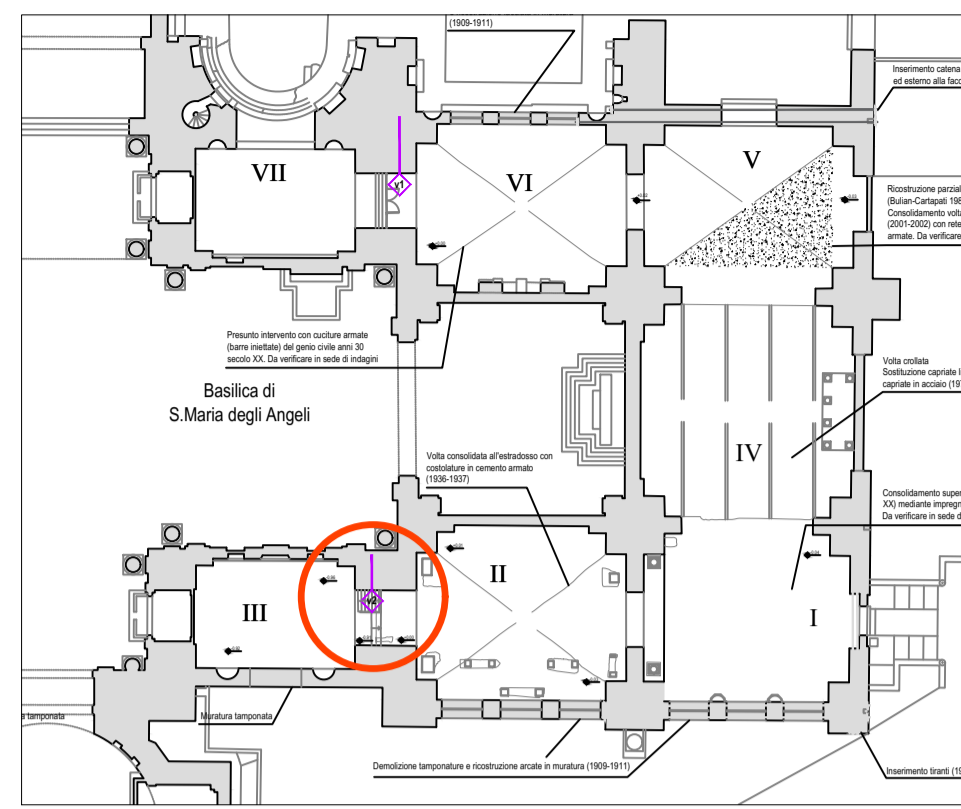
CLIENTE
 Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano in Roma
 Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO
 Servizio di diagnostica strumentale - Campagna di indagini, prove e rilievi
 CIG 9374109F73
 CUP F89D21000020001

OGGETTO
 Videoscopia a parete previo foro con carotatrice di piccolo diametro per la ricostruzione stratigrafica - V1

ELABORAZIONE	Ing. Erika Lorenzini	DATA CONSEGNA	10 Ottobre 2022
VERIFICA	Arch. Annalisa Morelli	RIF. INTERNI	CO-049_22_archi
APPROVAZIONE	Ing. Paolo Chiara		

Videoscopia a parete previo foro con carotatrice di piccolo diametro per la ricostruzione stratigrafica



Ubicazione delle indagini

Videoscopia V2 lunghezza foro 300cm

Sintesi delle zone di discontinuità (micro cavità) visibili dalla videoscopia

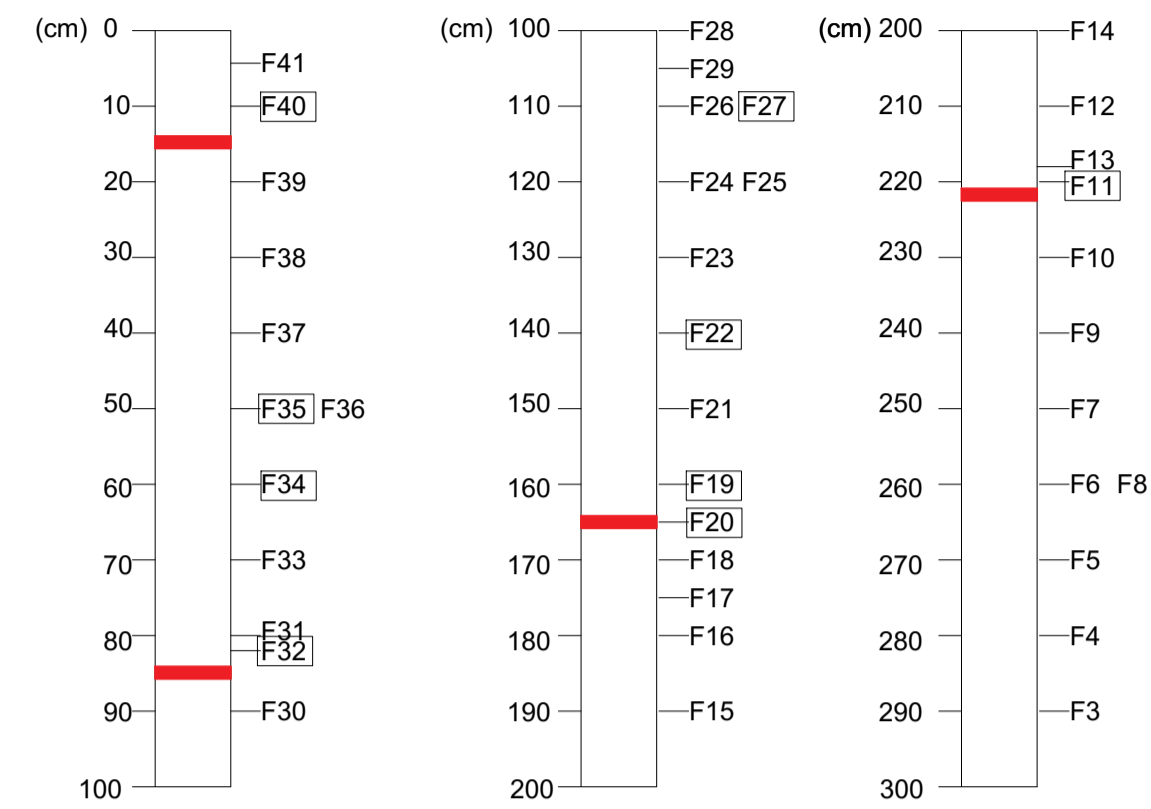


Foto 40 scattata a 10 cm dalla parete



Foto 35 scattata a 50 cm dalla parete



Foto 34 scattata a 60 cm dalla parete



Foto 32 scattata a 82 cm dalla parete

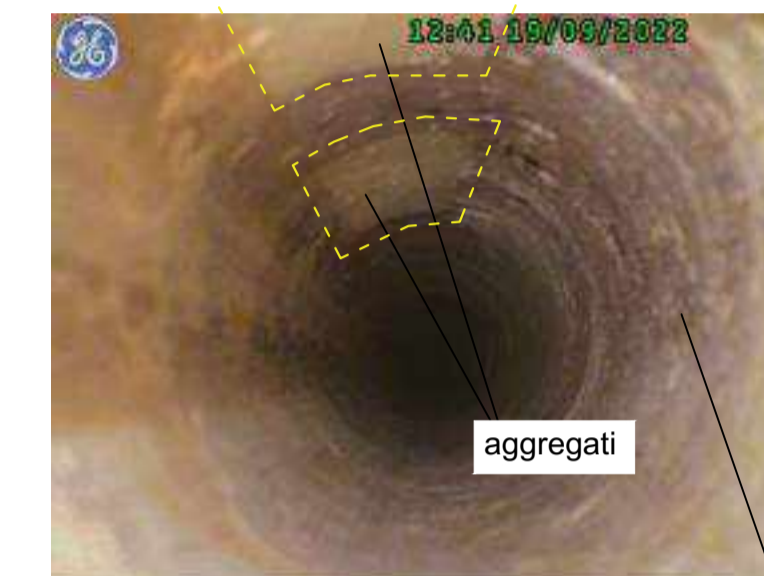


Foto 27 scattata a 110 cm dalla parete



Foto 22 scattata a 140 cm dalla parete

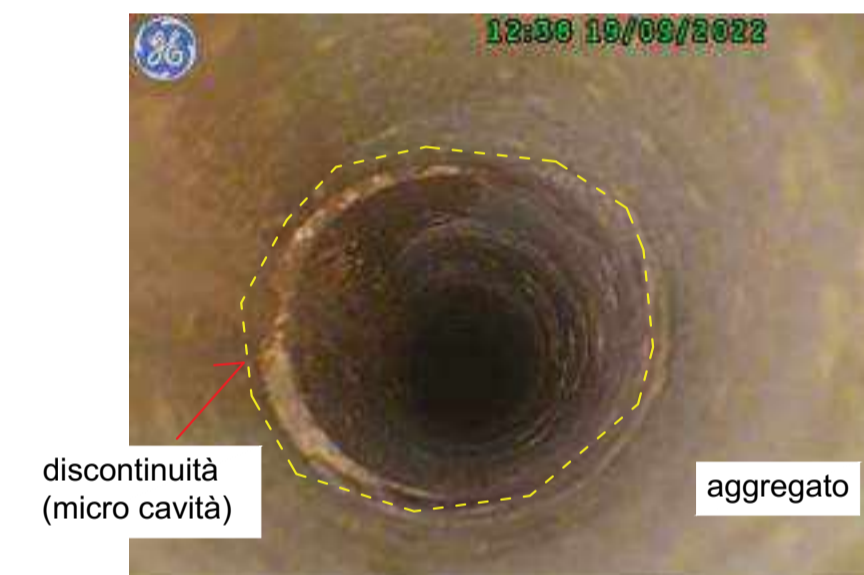


Foto 19 scattata a 160 cm dalla parete

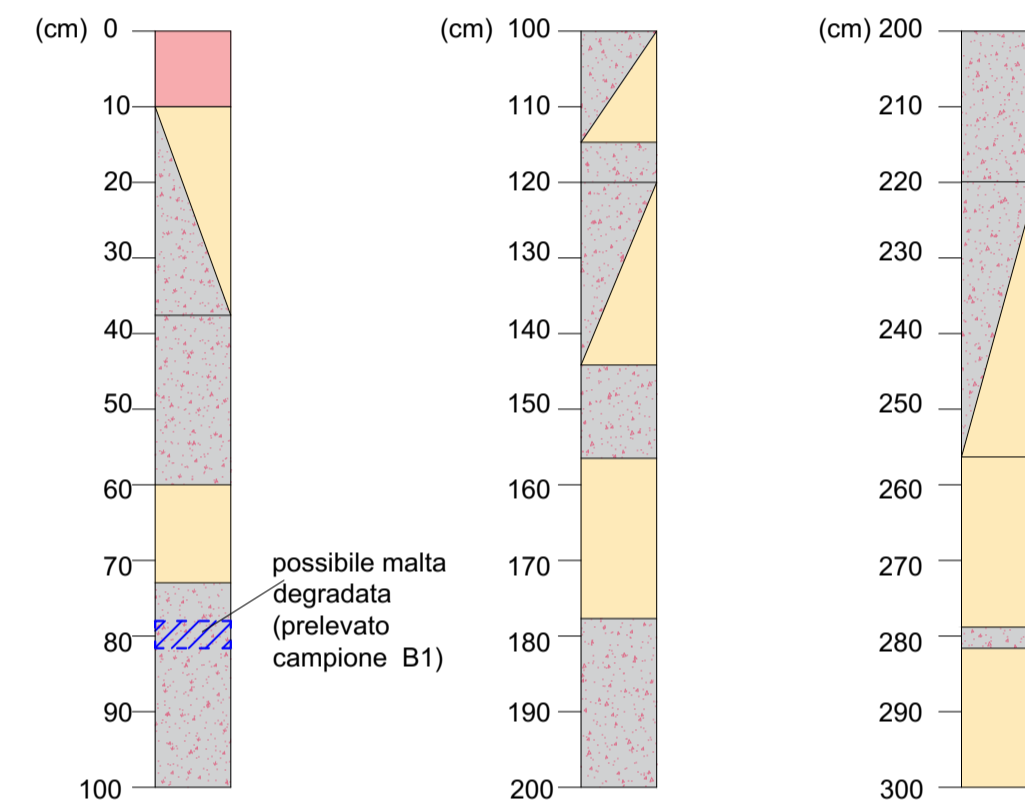


Foto 20 scattata a 165 cm dalla parete

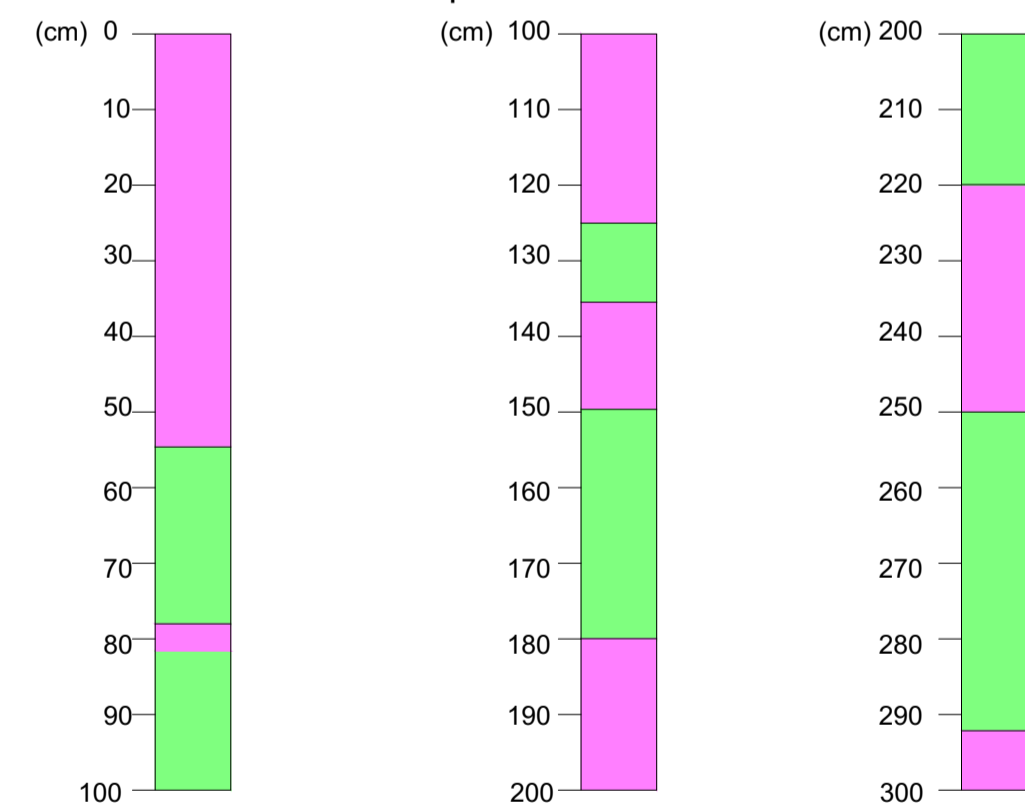


Foto 11 scattata a 220 cm dalla parete

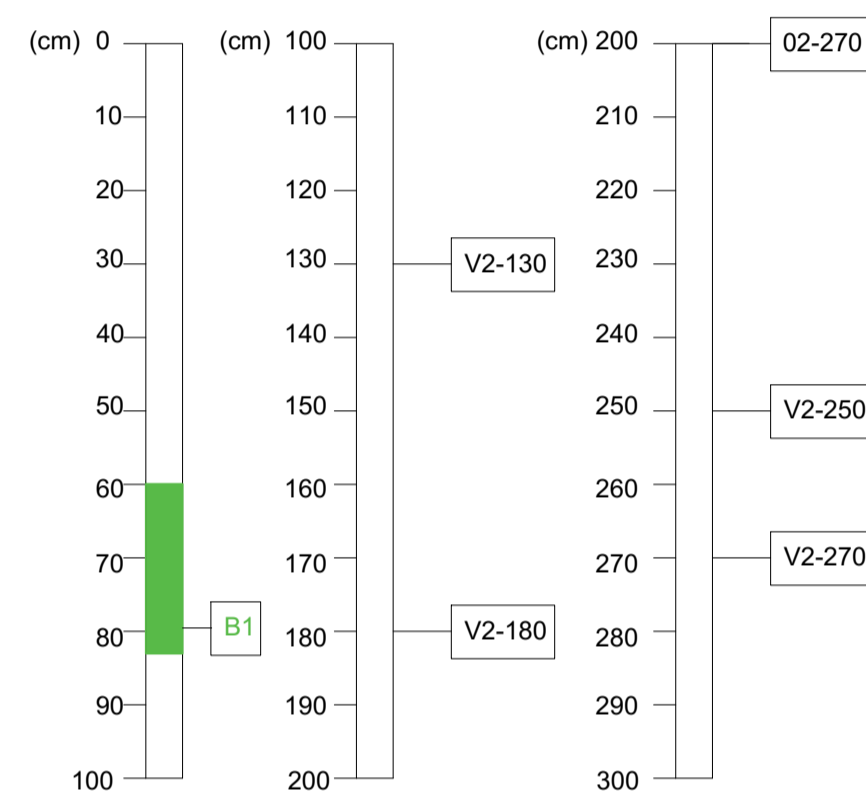
Sezione stratigrafica



Livello di compattezza del microcarotaggio valutato dalle dimensioni delle parti estratte



Campioni per prove di laboratorio



Campione B1 prelevato corrispondenza di una porzione con possibile presenza di malta degradata.



Campioni prelevati dal microcarotaggio sottoposti a prove di schiacciamento



Campioni prelevati dal microcarotaggio sottoposti a prove di schiacciamento

Note:

- L'Opus caementicium in questo foro appare omogeneo e formato da malta e aggregati (tufelli/laterizi).
- Le discontinuità (micro cavità) si trovano nel limite tra aggregato e malta.
- E' stato prelevato il campione denominato B1 (compreso tra 60 e 80cm di profondità) per essere sottoposto a prove petrografiche di laboratorio. Il campione è stato prelevato in corrispondenza di una zona con possibile malta degradata.

Legenda

- Mattone
- Aggregati di grandi dimensioni - Caementa
- Malta
- Compresenza di malta e aggregato
- Porzione disgregata in frammenti durante il carotaggio
- Porzioni di microcarota > 10cm
- Porzioni di microcarota < 10cm
- Discontinuità (micro cavità)



Microcarotaggio V2



Foto del microcarotaggio V2 scattata in laboratorio

Committente:



museo nazionale romano terme di diocleziano

Terme di Diocleziano - Grandi Aule

Oggetto:

INDAGINI DIAGNOSTICHE Campagna di indagini, prove e rilievi

CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Analisi mineralogico-petrografiche di campioni provenienti da volte e pilastri

Tecniche: Sezioni sottili, sezioni lucide e analisi diffrattometriche

RELAZIONE TECNICA

Ns. Rif.: CO-049_22_3F (e 1A2)_codice prova Ma_Indagine su Malte

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
1					
Ø	Ottobre 2022	Dott. Geol. Piero Cavarocchi 	Arch. Conservatore BCA Annalisa Morelli 	Direttore tecnico Ing. Paolo Chiara 	Emissione

INDICE

1.	Premessa	1
2.	Campioni prelevati	3
3.	Risultati	8
3.1	Campione A2 – malta volta Aula II	8
3.2	Campione A3 – malta volta Aula II	12
3.3	Campione A4 – malta volta Aula VI.....	17
3.4	Campione B1-1 – legante microcarotaggio V2 – profondità 60÷80 cm	22
3.5	Campione B1-2 – legante microcarotaggio V2 – profondità 60÷80 cm	27
3.6	Campione M3 – legante carotaggio C3 – profondità 100÷150 cm	32
3.7	Campione M5 – legante carotaggio C2 – profondità 80÷130 cm	37
3.8	Campione M6 – legante carotaggio C1 – profondità 150÷200 cm	42
3.9	Campione M7 – legante carotaggio C1 – profondità 100÷150 cm	48
4.	Conclusioni	53

1. Premessa

La Scrivente SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l., nell'ambito della campagna di indagini diagnostiche strumentali per le Strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma, finalizzate al raggiungimento del livello di conoscenza LC2 per l'effettuazione delle verifiche sismiche, ha eseguito analisi mineralogico-petrografiche di una serie di campioni, provenienti da volte e pilastri delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano, a Roma.

Come prescritto dal piano delle indagini per la caratterizzazione dei pilastri i campioni sono stati selezionati dal materiale estratto con i carotaggi, mentre per la caratterizzazione delle volte i campioni sono stati prelevati dalla superficie intradossale.

Lo scopo generale dell'analisi mineralogico-petrografica è la caratterizzazione composizionale e tessiturale dei leganti e degli aggregati che costituiscono il cemento romano.

L'Opus Caementicium è costituito da una porzione definita come "malta", data dall'insieme di un legante vero e proprio e di una componente sabbiosa a cui si attribuisce il nome di "Harenae Fossiciae", e da una certa percentuale di frammenti di varia origine (laterizi, materiale fittile, frammenti lapidei in genere, frammenti di malta antica riutilizzata e frammenti di calcestruzzi antichi riutilizzati) distribuiti più o meno casualmente e di dimensioni centimetriche/decimetriche a cui storicamente è stato attribuito il nome di "Caementa".

Tutti i singoli frammenti sono stati consolidati mediante impregnazione, sottovuoto, con un'opportuna resina seguendo le modalità contenute nel Documento Normal 14/83: "Sezioni Sottili e Lucide di Materiali Lapidei: Tecnica di Allestimento". In seguito sono state ricavate le **sezioni sottili** per lo studio delle quali è stato utilizzato un microscopio da petrografia a luce trasmessa e polarizzata. Altri frammenti sono stati utilizzati per ricavare **sezioni lucide**, osservate e fotografate mediante un microscopio ottico a luce riflessa.

L'analisi delle sezioni sottili rappresenta la tecnica ottimale per raggiungere la definizione dei parametri fisico-chimici che caratterizzano i materiali del cemento romano. Lo studio delle sezioni lucide aggiunge alla composizione fisico-chimica l'analisi cromatica reale dei campioni. A completamento dell'indagine mediante lo studio delle sezioni sottili e lucide sono state eseguite tre analisi diffrattometriche delle polveri, ricavate dalla macinazione di piccoli frammenti di alcuni campioni rappresentativi, questa tecnica ha permesso di acquisire informazioni utili per una più accurata definizione della composizione del legante.

Dal piano delle indagini il numero di campioni previsto per l'analisi petrografica era pari a 4, di cui 2 per le volte e 2 per i pilastri. Per ogni campione erano previste sezione sottile, sezione lucide e analisi diffrattometrica.

Vista la quantità di materiale a disposizione estratta dai pilastri sono stati selezionati 6 campioni, tutti analizzati con sezione sottile e lucida. Di ciascuno dei 6 campioni è stato analizzato il legante e l'aggregato, quindi il numero delle prove è da considerarsi doppio. Inoltre, uno di questi campioni è stato analizzato anche con la diffrattometria.

Per quanto riguarda le volte, sono stati analizzati 3 campioni con sezione sottile e lucida, in particolare di uno di questi campioni è stato analizzato lo strato superficiale e la malta di base. Due campioni delle volte sono stati analizzati anche con diffrattometria.

Sommando le varie tipologie di analisi mineralogico-petrografiche eseguite sui vari campioni, si raggiunge il numero complessivo di 35 prove.

2. Campioni prelevati

Per la caratterizzazione delle malte delle volte, i campioni prelevati ed analizzati sono:

- A2 della volta dell'aula II.
- A3 della volta dell'aula II.
- A4 della volta dell'aula VI.

Si riportano di seguito le foto dei campioni prelevati.



Campione A2 – volta Aula II



Campione A3 –volta Aula II



Campione A4 –volta Aula VI

Per la caratterizzazione del legante e dell'aggregato dell'Opus Caementicium dei pilastri, i campioni prelevati ed analizzati sono:

- B1 del microcarotaggio V2 suddiviso in due sotto campioni distinti:
 - o B1-1 sulla parte di campione non alterato.
 - o B1-2 sulla parte di campione alterato (colore bianco).
- M3 del carotaggio C3;
- M5 del carotaggio C2;
- M6 del carotaggio C1;
- M7 del carotaggio C1;

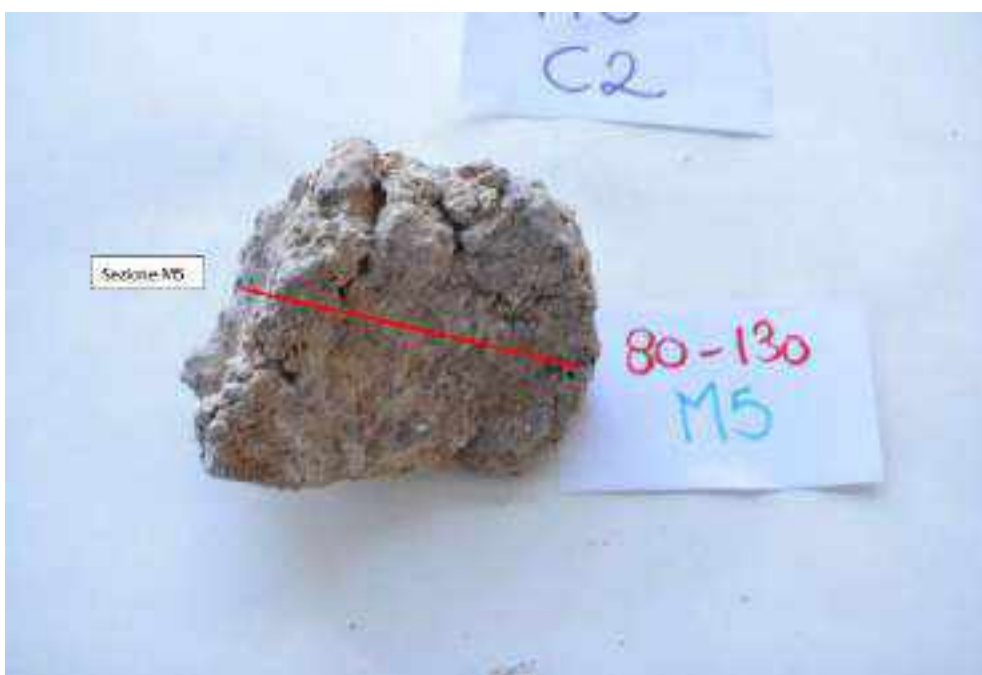
Si riportano le foto dei campioni prelevati con indicato il punto analizzato nel dettaglio.



Campione B1 – microcarotaggio V2 – profondità 60÷80 cm da cui sono stati ottenuti due campioni B1-1 e B1-2



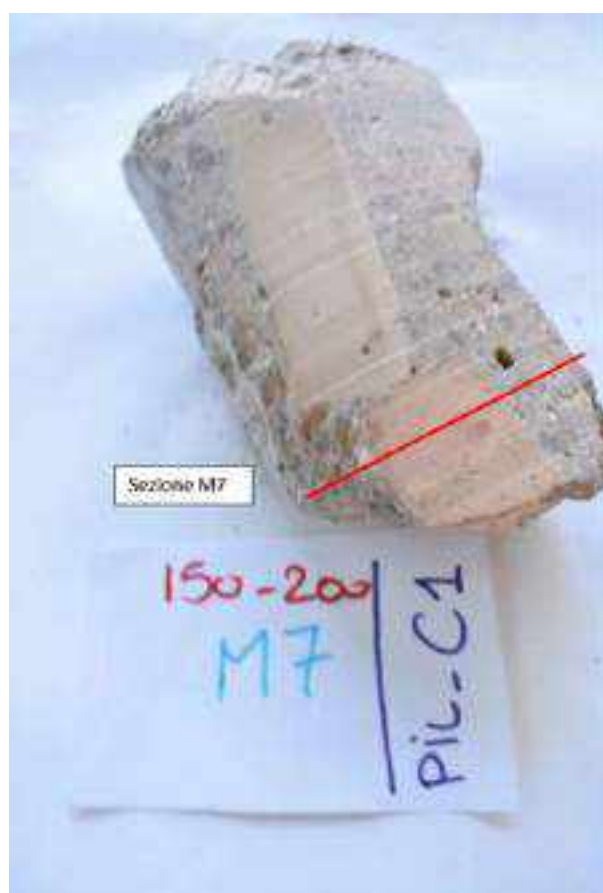
Campione M3 – carotaggio C3 – profondità 100÷150 cm



Campione M5 – carotaggio C2 – profondità 80÷130 cm



Campione M6 – carotaggio C1 – profondità 150÷200 cm



Campione M7 – carotaggio C1 – profondità 100÷150 cm

3. Risultati

3.1 Campione A2 – malta volta Aula II

La sezione lucida (vedi foto 1) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 2 e 3) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

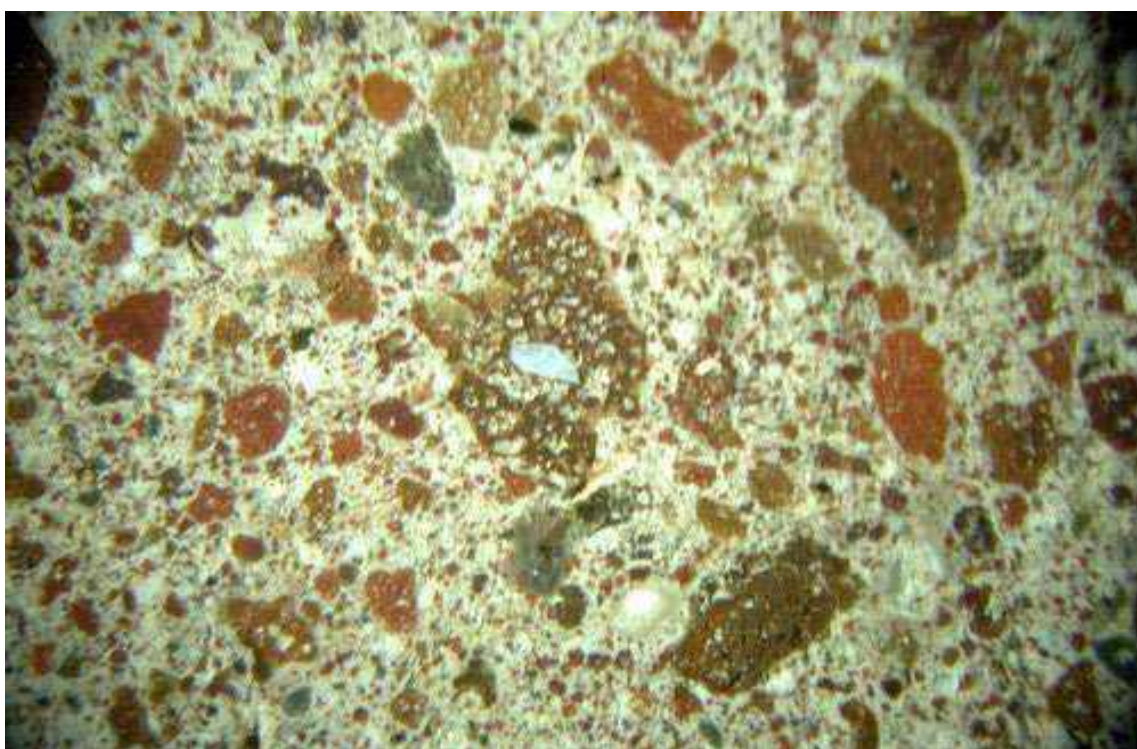


Foto1 – campione A2 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

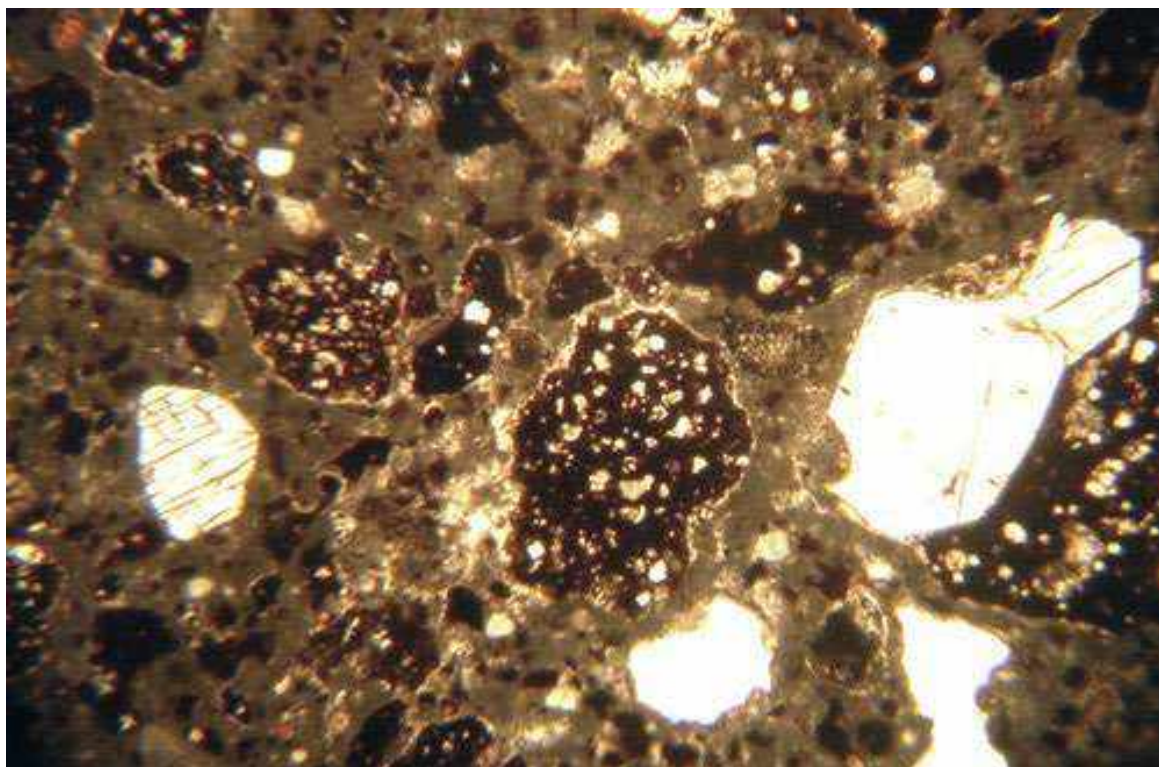


Foto2 – campione A2 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

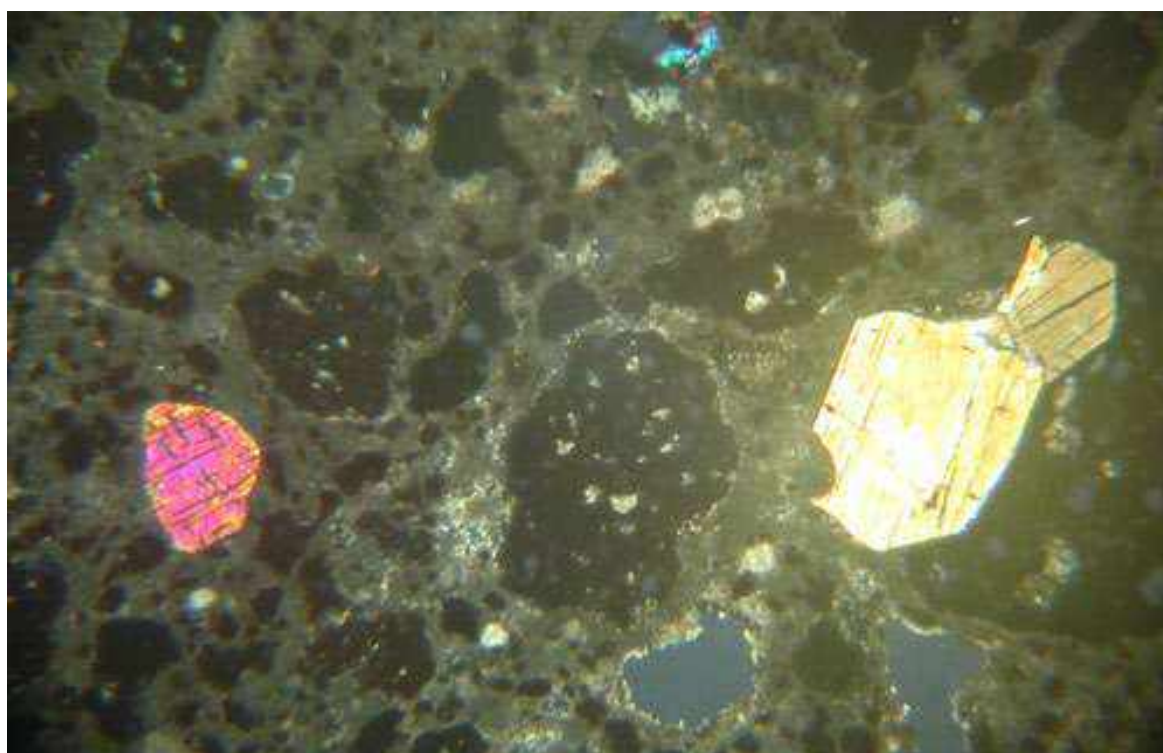


Foto3 – campione A2 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'associazione del legante di colore biancastro e degli aggregati dal colore rosso arancio scuro fornisce un tono cromatico all'impasto molto contrastato, di cui non è possibile fornire una sintesi complessiva.

Per quanto riguarda i granuli, questi sono rappresentati da frammenti di scorie vetrose riconducibili a depositi tipici del vulcanismo laziale (noti come Pozzolane Rosse): le dimensioni di questi componenti sono molto variabili, comprese tra $<100\ \mu\text{m}$ e 2 cm. Non è possibile indicare quale classe granulometrica risulti la più rappresentata; le scorie rappresentano più del 90% di tutti gli aggregati.

All'interno dell'impasto si nota la presenza di sparsi cristalli di Analcime e Leucite e di Clinopiroseni, che nel complesso non rappresentano più del 5% della componente "sabbiosa". Come occasionali minerali si individua la presenza di Miche e di Nefelina, del gruppo dei Feldspatoidi.

Considerata l'estrema variabilità nella granulometria dei diversi componenti, nell'insieme l'impasto ha comunque un aspetto complessivamente omogeneo, come è possibile apprezzare dalla Foto1.

Il grado di arrotondamento appare elevato e la sfericità media: sono presenti in maniera non occasionale granuli di forma sub-circolare. Nel complesso è possibile ipotizzare che gli aggregati provengano da un deposito naturale e non da un'attività di macinazione.

La porosità è di tipo primario, elevata, data la presenza di numerose bollosità di forma anche irregolare; nel complesso l'impasto si presenta ben tenace, privo di fratture al suo interno.

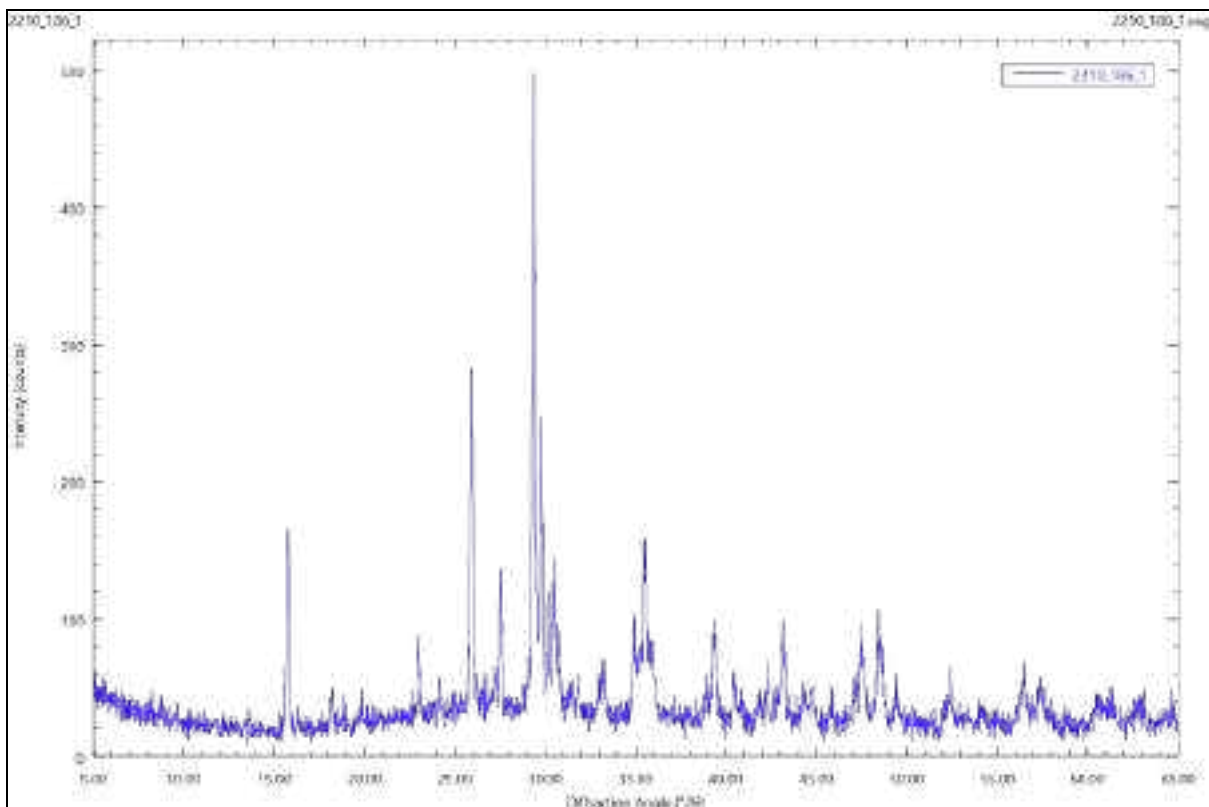
Il frammento si presenta ben resistente a sollecitazioni meccaniche manuali.

Il legante è di tipo carbonatico, di colore grigiastro marrone chiaro. Si tratta di una **calce aerea micritica**. La compattezza e la tenacità dell'impasto sono il risultato della reazione dell'idrossido di calcio con le scorie pozzolaniche, reazione che conferisce all'impasto un'elevata idraulicità.

L'impasto non appare granosostenuto ed il rapporto inerte/legante può essere valutato pari a circa 2.

Un frammento del campione è stato finemente polverizzato e sottoposto ad analisi diffrattometrica (per il tracciato si veda lo spettro 1)

Fasi mineralogiche individuate (in ordine decrescente di quantità)
Calcite (CaCO ₃)
Clinopirosseno
Analcime/Leucite
Miche



Spettro 1 – campione A2

3.2 Campione A3 – malta volta Aula II

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti strati sovrapposti: in profondità compare un impasto riconducibile alla malta che lega la struttura portante della volta mentre in superficie è stato individuato uno strato che può ritenersi testimonianza di un intonaco utilizzato quale finitura.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due strati rinvenuti nel frammento inglobato.

Malta di base

Lo studio della sezione lucida e della sezione sottile (si vedano le foto 4÷6) ha evidenziato come l'impasto che costituisce la malta sia del tutto **simile a** quello descritto per il **campione A2**, a cui si rimanda. La differenza che si è notata riguarda il fatto che nel frammento A3 si riconosce la presenza di grumi di legante non ben amalgamato con il resto dell'impasto: questi particolari componenti (noti in letteratura come "lumps") sono la testimonianza di una non accurata preparazione dell'impasto stesso. Questi frammenti macroscopicamente appaiono come biancastri e con un aspetto incoerente: la presenza di questi grumi è legata ad un processo tecnologico tradizionale di produzione della calce, che prevede lo spegnimento delle zolle di calce viva all'interno di una vasca da cui la pasta bianca che si forma (grassello) viene fatta colare attraverso una grata che trattiene gli incotti più grossi per arrivare in una fossa/recipiente dove avviene la stagionatura. Grumi di legante non amalgamato nell'impasto possono indicare una carbonatazione precoce di parte del grassello ma anche eterogeneità presenti all'interno della pietra da calce stessa con tempi di idratazione differenziati.



Foto4 – campione A3 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

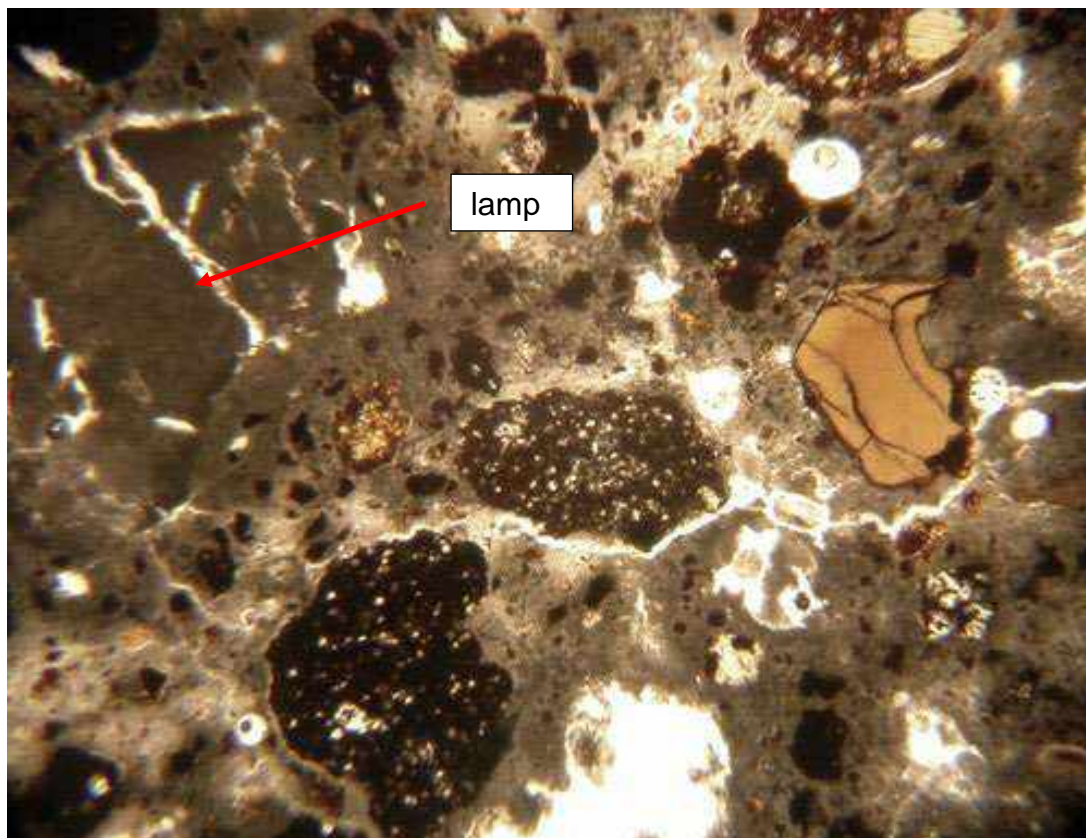


Foto5 – campione A3 – strato interno – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

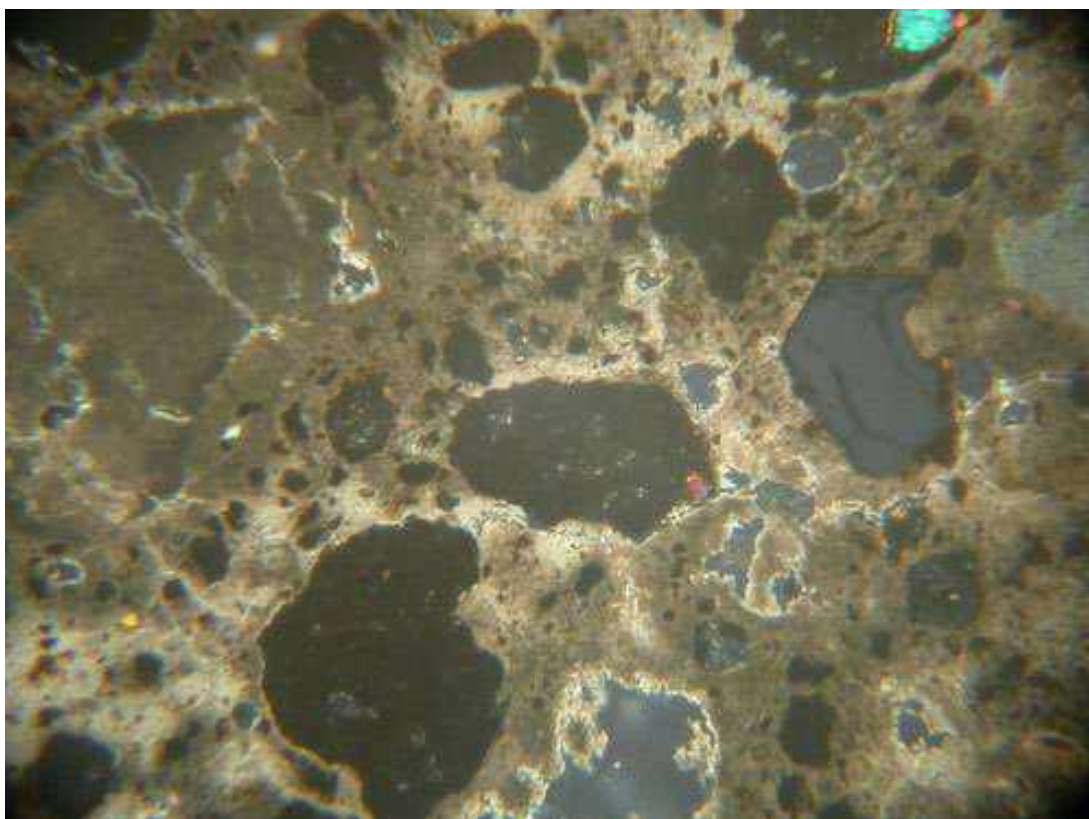


Foto6 – campione A3 – strato interno – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Nel frammento analizzato del campione A3, questi grumi hanno dimensioni che possono raggiungere 1 cm: sono nella quasi totalità interessati da fessurazioni da ritiro (si veda la foto 5), fatto questo che aumenta la porosità dell'impasto. Ciò può influire negativamente sulla coesione e tenuta complessiva del materiale: nel caso specifico il frammento è interessato da una rete abbastanza diffusa di fessure nella matrice, ed il campione ha subito una riduzione della sua originale compattezza.

Strato superficiale

Questo strato si rinviene in tracce (si vedano le foto 7, 8 e 9) ed assume uno spessore che non supera i 2,5 mm: si tratta probabilmente di un intonachino steso sopra la malta della volta, ma non si è in grado di stabilire se questa scelta risulti coeva alla costruzione del fabbricato o se si tratti di un intervento successivo, anche di molto, eseguito in occasione di lavori di restauro o di semplice ripresa/sistemazione di porzioni degradate della malta sottostante.



Foto7 – campione A3 – strato superficiale – sezione lucida – luce riflessa – 20 x



Foto8 – campione A3 – strato superficiale – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

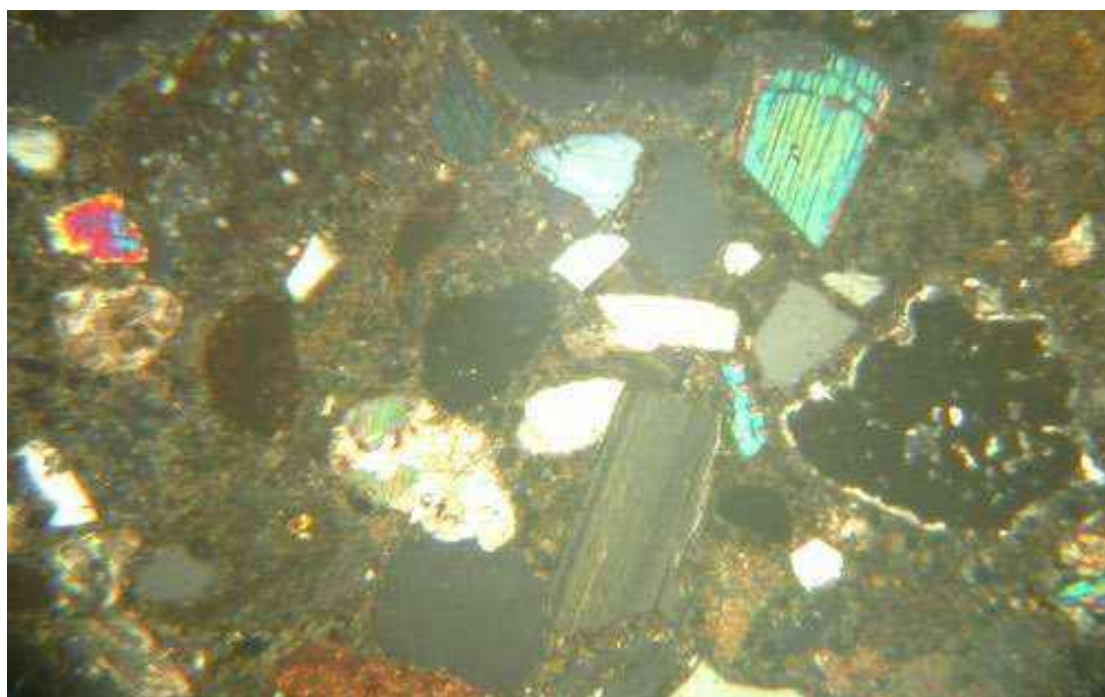


Foto9 – campione A3 – strato superficiale – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Un elemento che farebbe propendere per una messa in posto relativamente recente è dato dalla composizione degli inerti: questi sono rappresentati da frammenti di quarzo (la componente percentualmente più presente), calcite, selce, feldspato, clinopirosseno oltre alle scorie vetrose che in questo caso possono definirsi come fase accessoria. Si tratta di una associazione poco rappresentativa di sabbie provenienti da luoghi non distanti: è più probabile che si tratti di un prodotto premiscelato, non si esclude di origine industriale.

La granulometria è poco omogenea, i frammenti possono raggiungere dimensioni di 500 μm ed in alcuni casi superare 1 cm.

L'arrotondamento è generalmente scarso, così come la sfericità.

L'impasto si presenta fortemente tenace, resistente a sollecitazioni manuali e meccaniche, poco reattivo ad un attacco con acido cloridrico.

Il legante è molto torbido, di un colore grigiastro marrone, probabilmente costituito da calce addizionata di fasi cementizie, non distinguibili proprio a causa della torbidità.

Il rapporto I/L può essere valutato pari a 1,5

3.3 Campione A4 – malta volta Aula VI

La sezione lucida (vedi foto 10) mostra come l'impasto sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 11 e 12) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.



Foto10 – campione A4 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

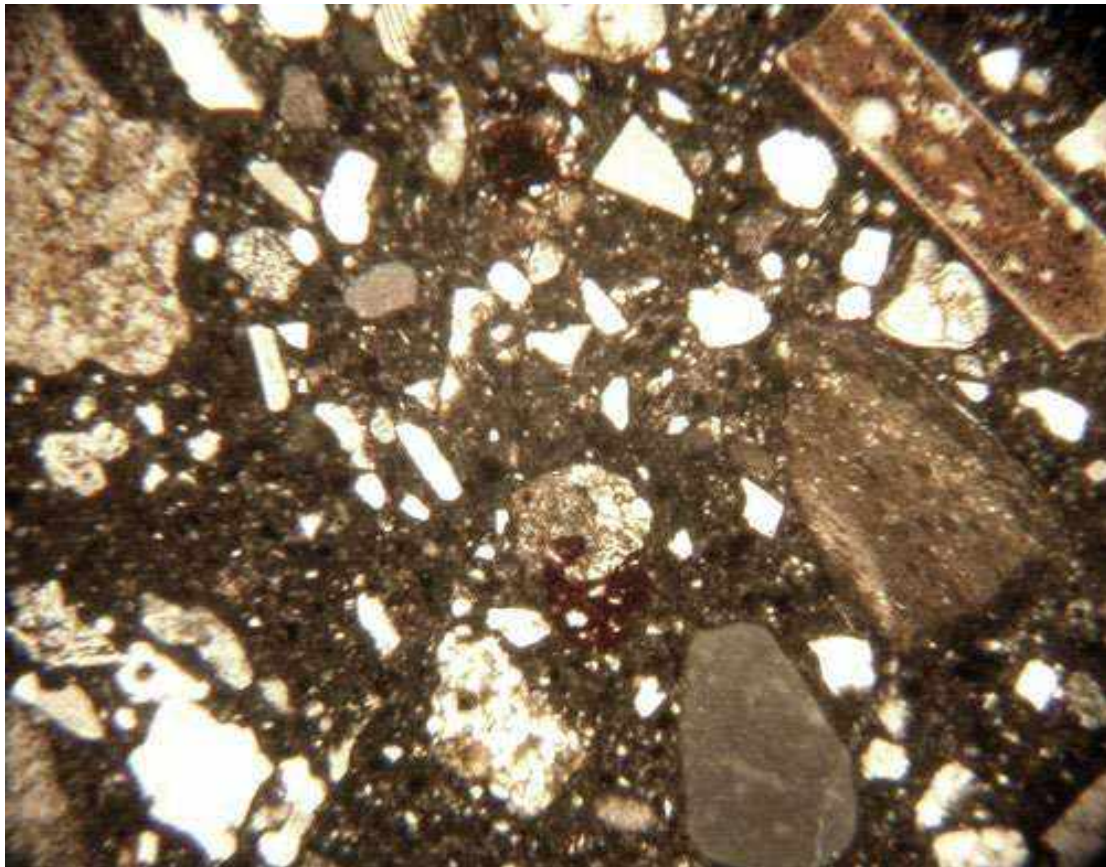


Foto11 – campione A4 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

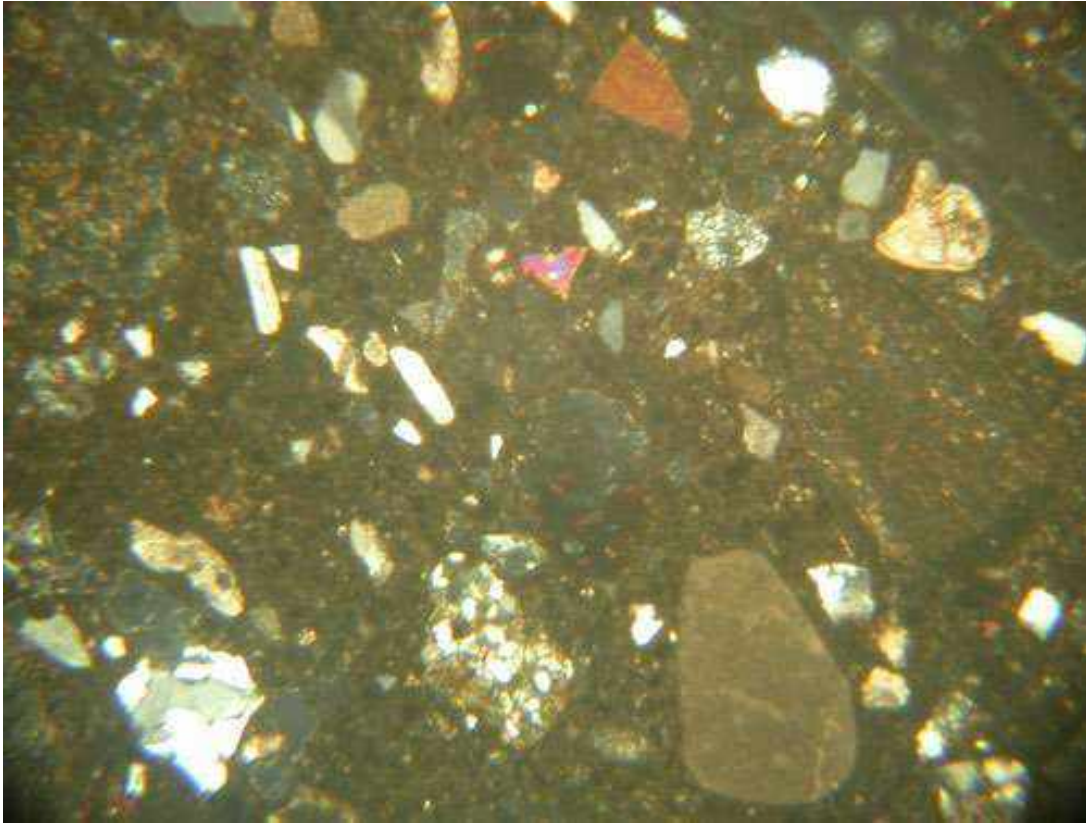


Foto12 – campione A4 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'associazione del legante di colore grigiastro e degli aggregati dal colore variabile dal bianco/grigiastro al giallognolo fornisce un tono cromatico all'impasto tendente al grigio con sfumature giallognole.

Per quanto riguarda i granuli, questi sono rappresentati da un'associazione molto eterogenea costituita da frammenti di natura **simile a** quelli descritti per lo strato superficiale del **campione A3**: anche in questo caso la frazione maggiormente presente è quella dei quarzi sia mono che policristallini, a cui sono associati granuli di clinopirosseni, calcite, selce, feldspati, frammenti di rocce carbonatiche e terrigene, miche; non mancano frammenti di bioclasti distribuiti all'interno della miscela degli inerti. Non particolarmente presenti i frammenti di pozzolana dal tipico colore rossastro.

La distribuzione granulometrica è anche in questo caso piuttosto ampia, con clasti di dimensioni variabili tra 100 μm e 2 mm: la classe granulometrica maggiormente rappresentata è quella che comprende granuli di dimensioni comprese tra 500 μm e 1 mm.

Considerata l'estrema variabilità nella granulometria dei diversi componenti, nell'insieme l'impasto ha comunque un aspetto complessivamente omogeneo, come è possibile apprezzare dalla Foto10.

Il grado di arrotondamento appare elevato per i frammenti di natura carbonatica, notoriamente meno resistenti alle sollecitazioni meccaniche e chimiche che subiscono durante il trasporto lungo i corsi d'acqua; i quarzi e i frammenti di selce presentano generalmente spigoli più vivi.

Anche la sfericità risente di questi fattori legati alla composizione delle singole fasi mineralogiche, per cui si presenta anch'essa molto varia.

Nel complesso è più probabile ipotizzare che gli aggregati provengano da un deposito naturale e non da un'attività di macinazione.

La porosità è di tipo primario, non particolarmente elevata, data da sparse bollosità di forma anche irregolare; nel complesso l'impasto si presenta molto tenace, privo di fratture al suo interno.

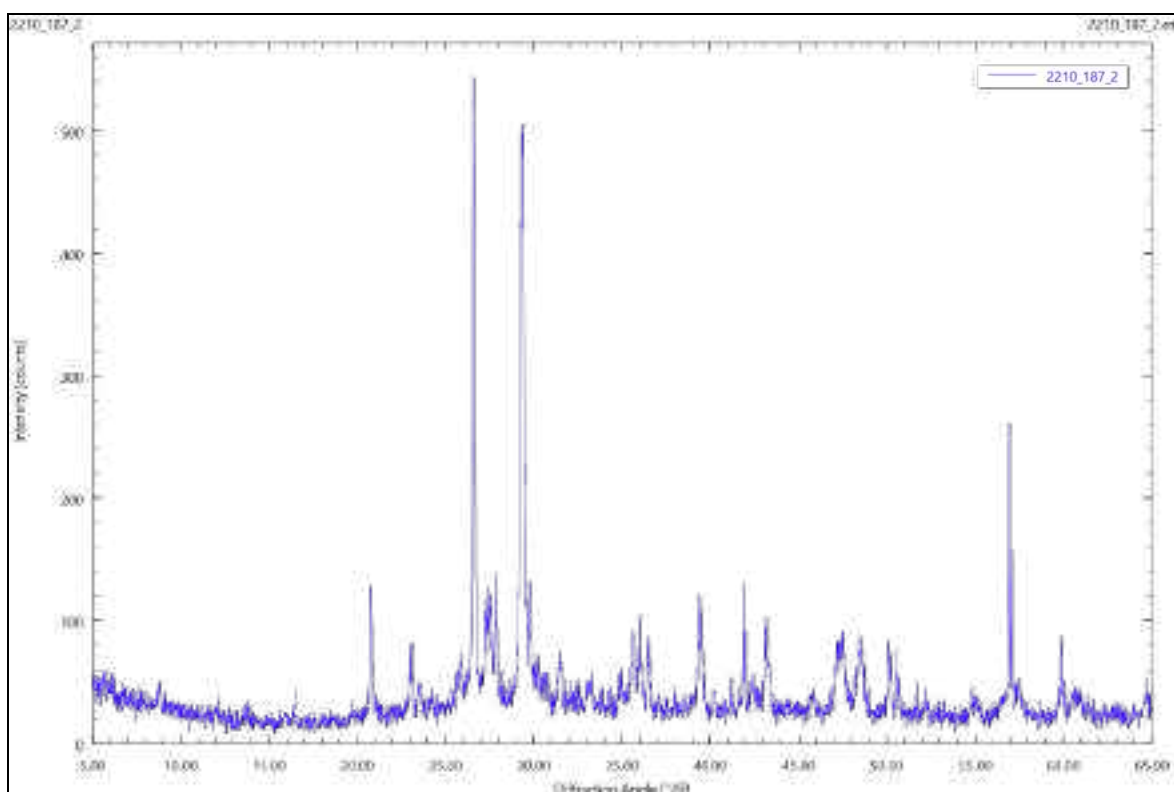
Il frammento si presenta ben resistente a sollecitazioni meccaniche manuali.

Il legante è molto torbido, di un colore grigiastro marrone, probabilmente costituito da **calce addizionata di fasi cementizie**, non distinguibili proprio a causa della torbidità, dovuta alla presenza di abbondanti particelle micrometriche opache, probabilmente componenti argillose.

L'impasto non appare granosostenuto ed il rapporto inerte/legante può essere valutato pari a circa 2.

Un frammento del campione è stato finemente polverizzato e sottoposto ad analisi diffrattometrica (per il tracciato si veda lo spettro 2)

Fasi mineralogiche individuate (in ordine decrescente di quantità)
Calcite (CaCO ₃)
Quarzo
Clinopirosseno
Leucite
Feldspati
Miche



Spettro 2 – campione A4

3.4 Campione B1-1 – legante microcarotaggio V2 – profondità 60÷80 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di B1-1

La sezione lucida (vedi foto 13) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 14 e 15) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

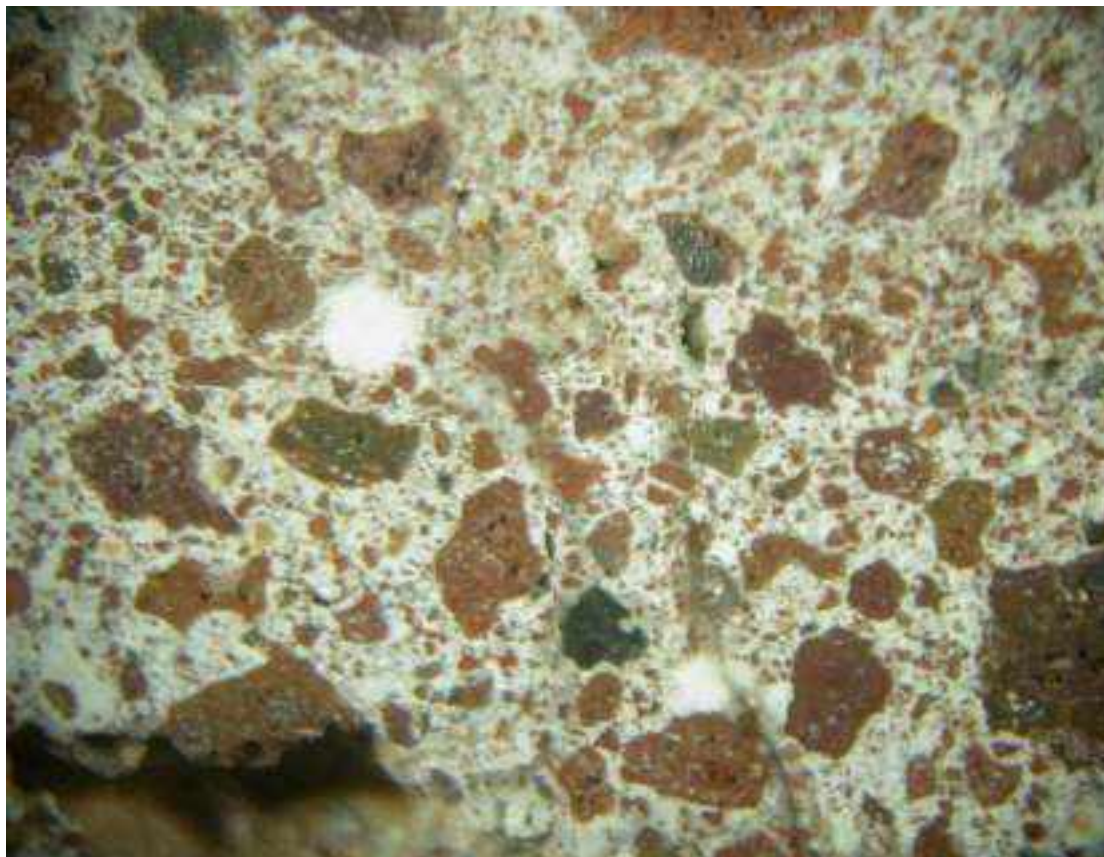


Foto13 – campione B1-1 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

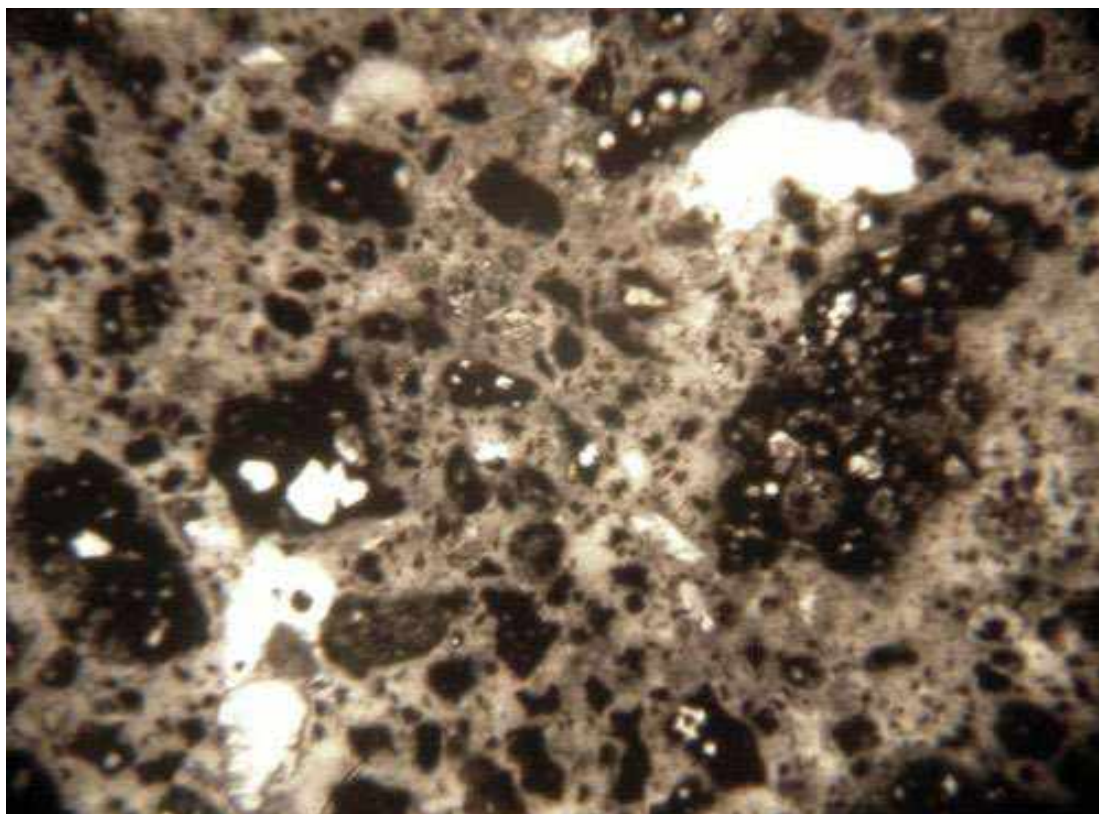


Foto14 – campione B1-1 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

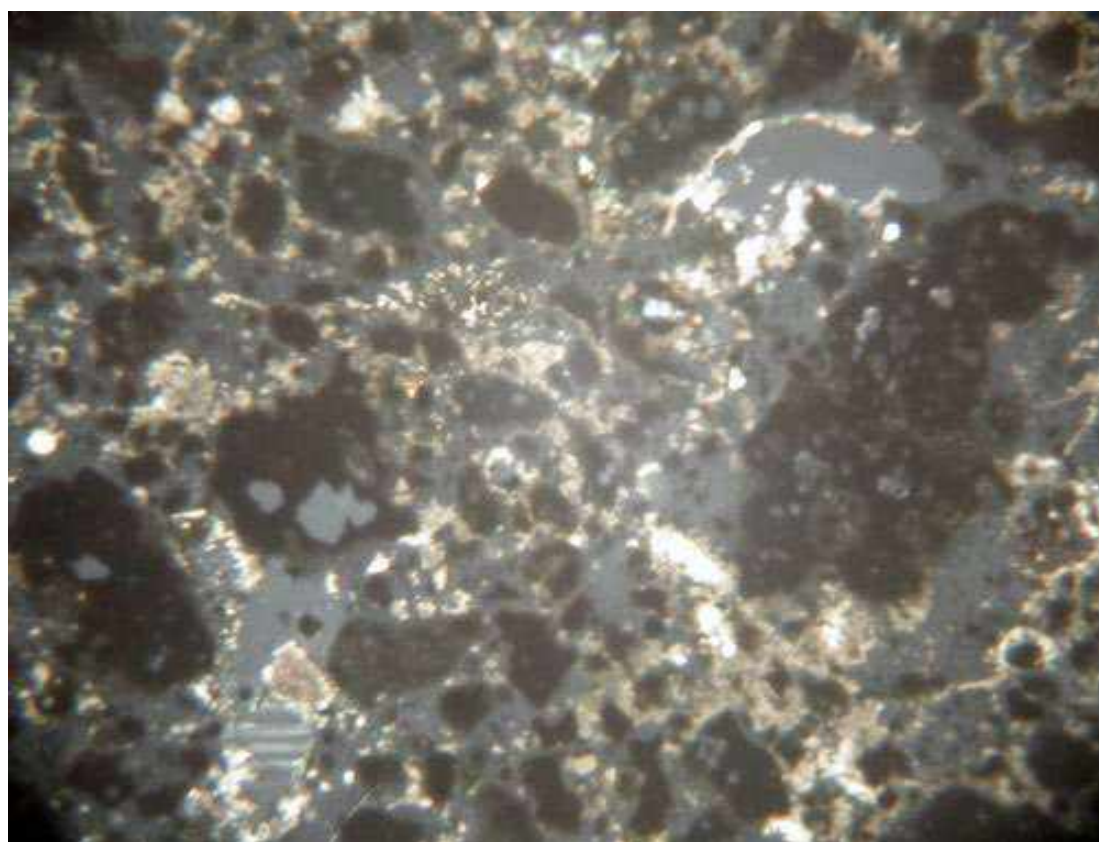


Foto15 – campione B1-1 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Aggregato di B1-1

La sezione lucida (vedi foto 16) mostra come l'aggregato sia rappresentato da un **frammento di laterizio**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 17 e 18) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto del laterizio.

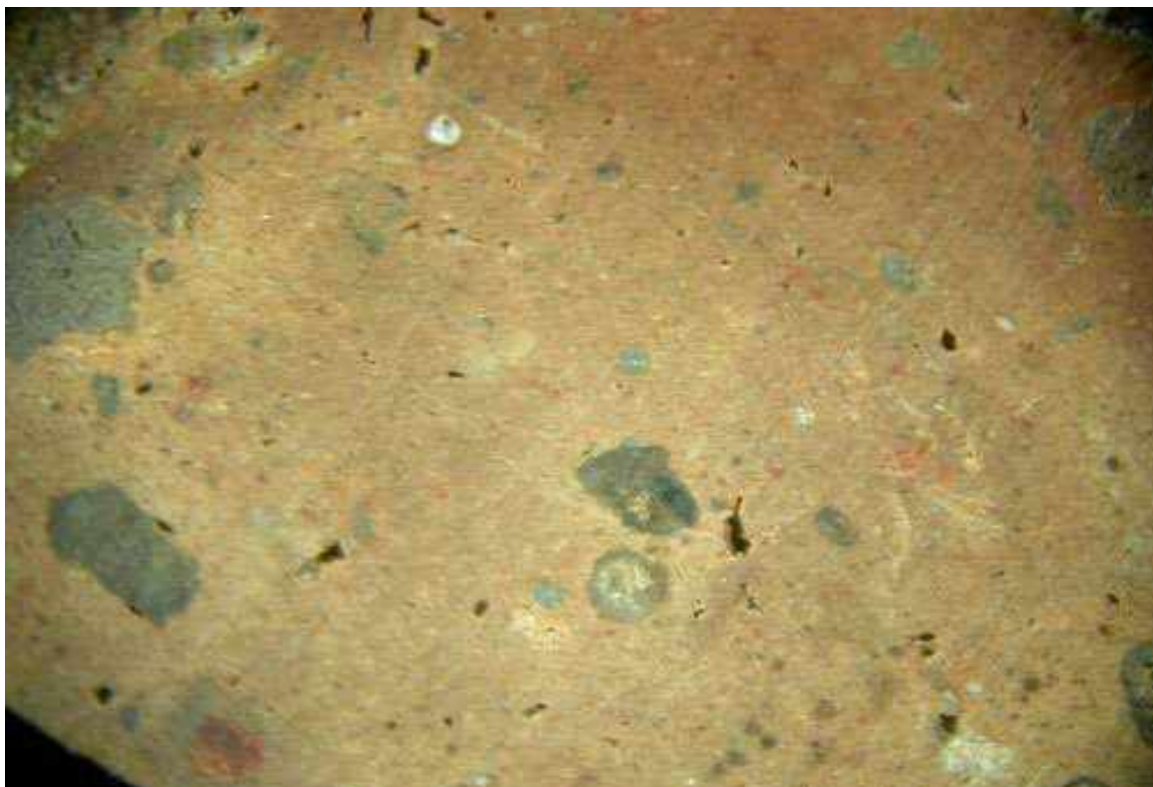


Foto16 – campione B1-1 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

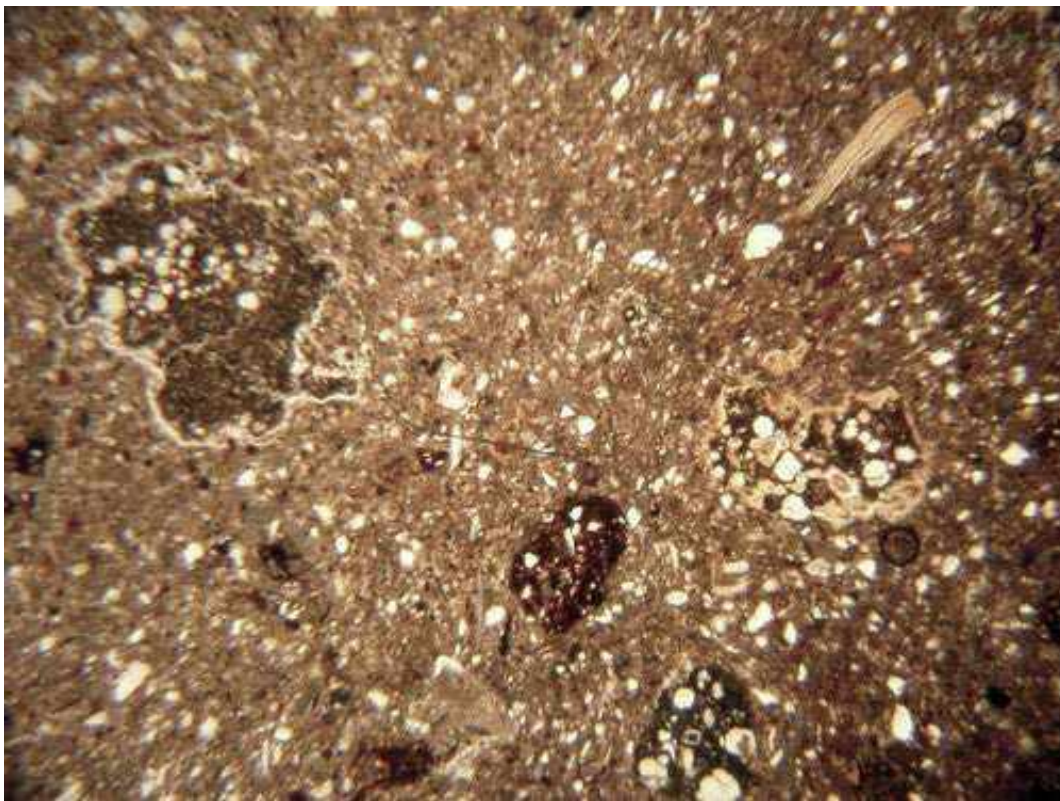


Foto17 – campione B1-1 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

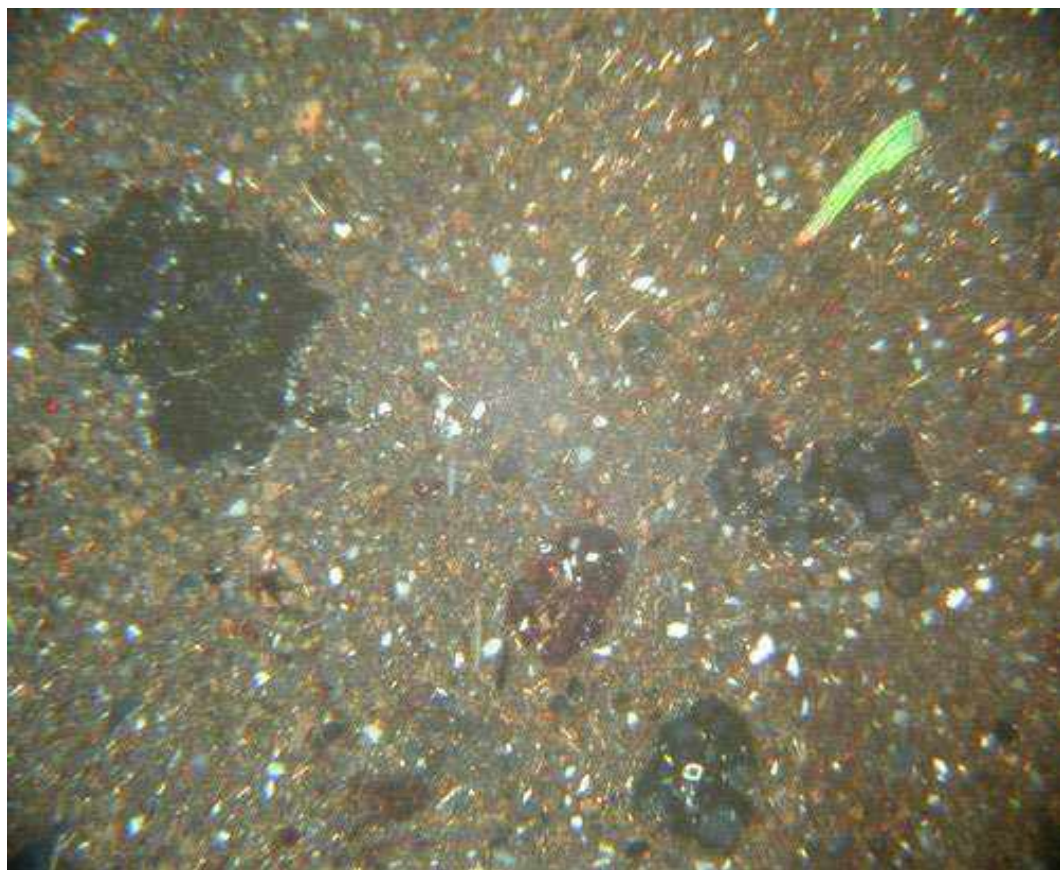


Foto18 – campione B1-1 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'impasto che costituisce il laterizio si presenta non particolarmente omogeneo, costituito da una matrice fine e da un aggregato eterometrico non uniformemente distribuito al suo interno. Nella matrice argillosa si evidenzia la presenza di una rilevante quantità di miche di dimensioni piuttosto uniformi, che non superano i 100 µm.

Lo scheletro è rappresentato da cristalli di quarzo e, quali elementi sgrassanti, sparse scorie vulcaniche; secondariamente si rinvencono frammenti di arenaria e miche, mentre non si rinvencono frammenti di bioclasti. Si rinviene anche qualche sporadico grumo di calce.

Le dimensioni medie dei granuli sono molto varie: i frammenti di scorie variano tra 300 µm e 3 mm; il frammento di arenaria ha dimensione pari a 2 mm mentre i quarzi e le miche non superano i 400 µm. Sostanzialmente la cernita appare piuttosto scarsa, lo scheletro può definirsi come non ben classato.

La porosità è prevalentemente di tipo primario, legata alla presenza di pori di forme e dimensioni eterogenee; a questa non si associa una porosità secondaria legata a fratture riconducibili alla fase di cottura dell'impasto.

La matrice appare di un colore arancio spento: la frazione delle scorie, di un colore rosso scuro determina un leggero inscurimento generale del frammento.

Sia lo scheletro che i vuoti non presentano un evidente isorientamento: si notano porzioni isorientate ma in maniera non omogenea, probabilmente a causa di scarsa attenzione prestata nell'operazione di distribuzione dell'impasto nello stampo.

3.5 Campione B1-2 – legante microcarotaggio V2 – profondità 60÷80 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di B1-2

La sezione lucida (vedi foto 19) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 20 e 21) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

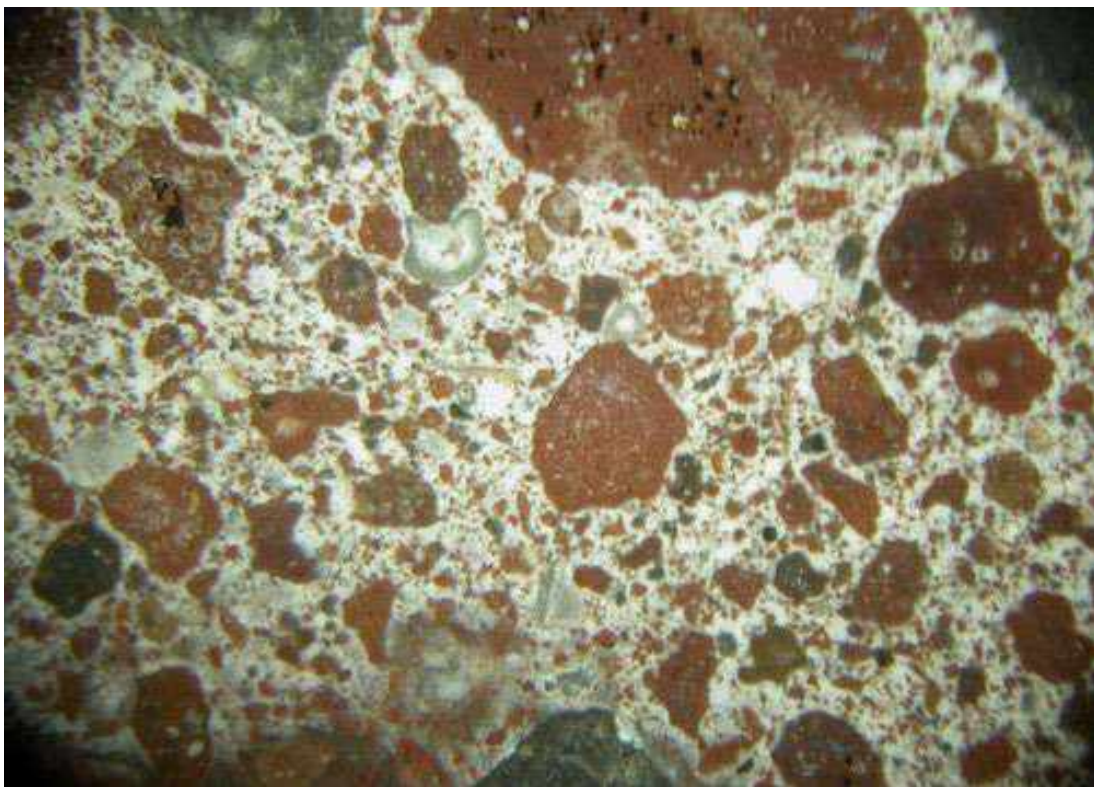


Foto19 – campione B1-2 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

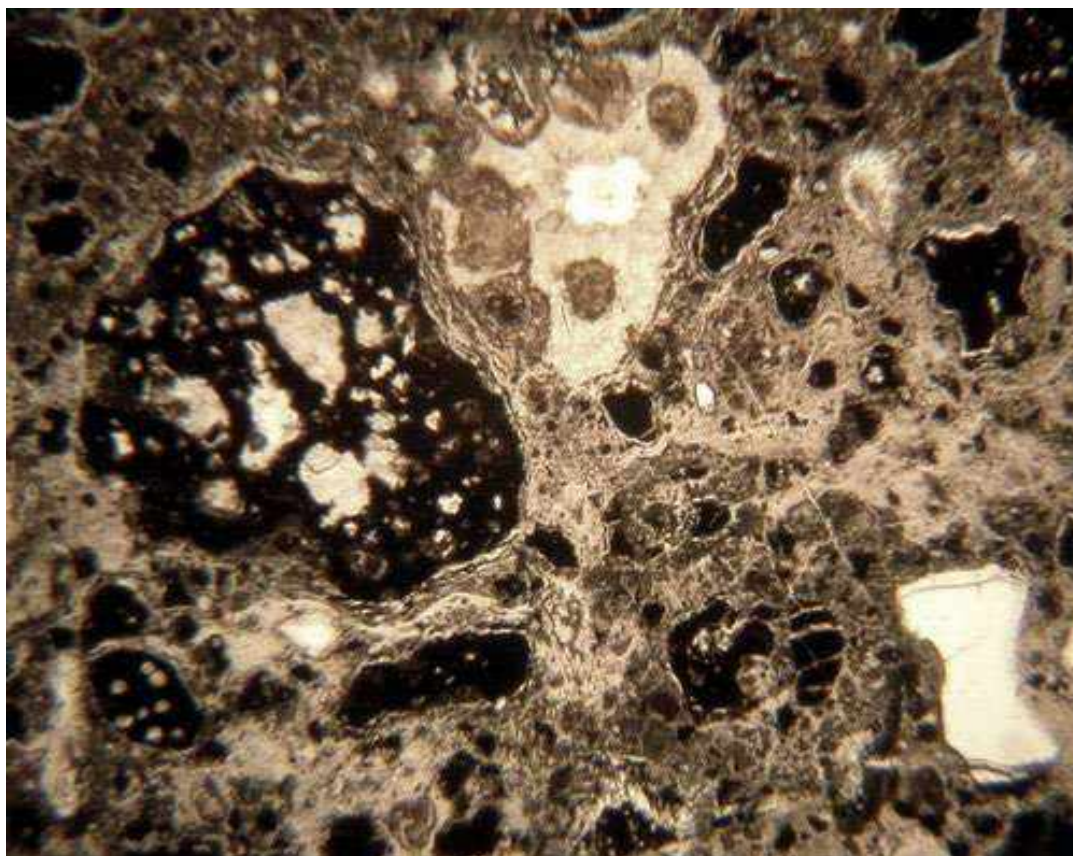


Foto20 – campione B1-2 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

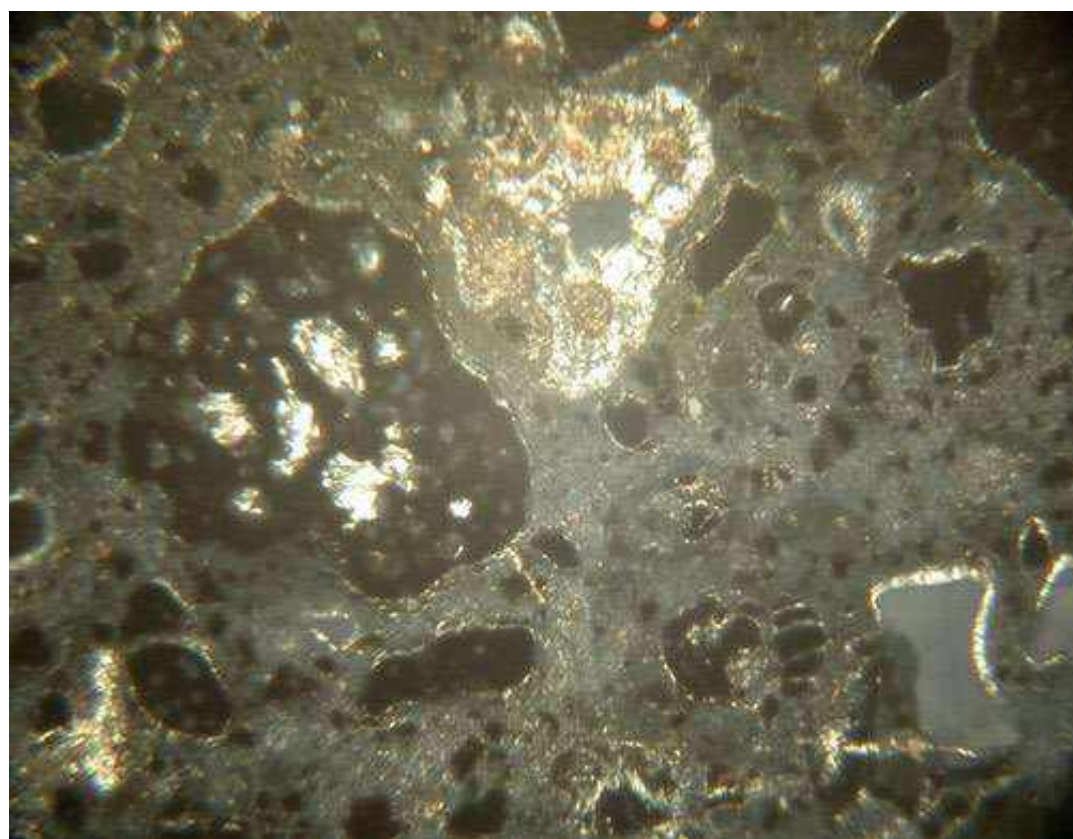


Foto21 – campione B1-2 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Aggregato di B1-2

La sezione lucida (vedi foto 22) mostra come l'aggregato sia rappresentato da un **frammento di una malta antica riutilizzata**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 23 e 24) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.



Foto22 – campione B1-2 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

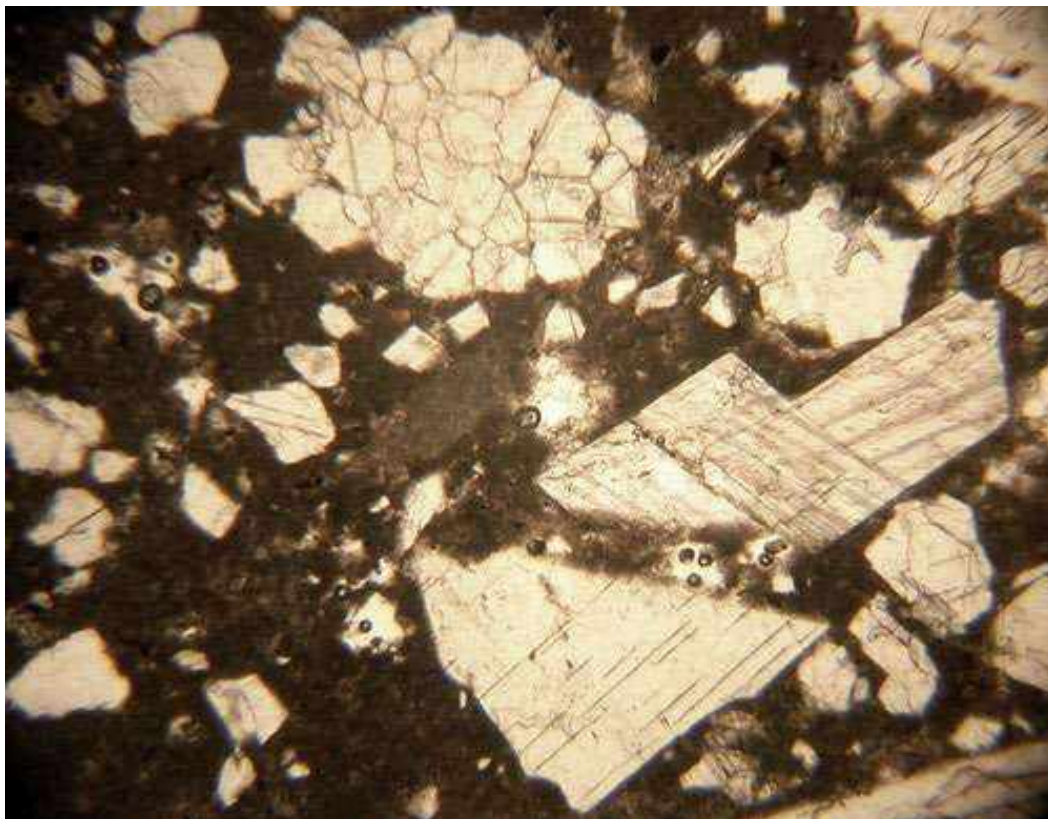


Foto23 – campione B1-2 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x



Foto24 – campione B1-2 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Il frammento di malta, considerato come aggregato, si presenta con un particolare colore bianco, piuttosto omogeneo: dal punto di vista della coesione, invece, appare in un avanzato grado di alterazione che si esplicita con un'estrema facilità nella sua disgregazione anche con una semplice pressione manuale.

E' costituito esclusivamente da granuli di calcite spatica eterometrici, di dimensioni comprese tra 100 µm e 4 mm (la dimensione massima raggiunge 1 cm).

I frammenti hanno spigoli vivi, fatto questo che fa propendere per una loro origine da una frantumazione meccanica.

Il legante è torbido, di un colore grigiastro marrone, probabilmente costituito da calce idraulica.

Il rapporto inerte/legante del frammento di malta antica riutilizzata, definita in sé come aggregato, può essere valutato pari a circa 2.

3.6 Campione M3 – legante carotaggio C3 – profondità 100÷150 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di M3

La sezione lucida (vedi foto 25) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 26 e 27) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

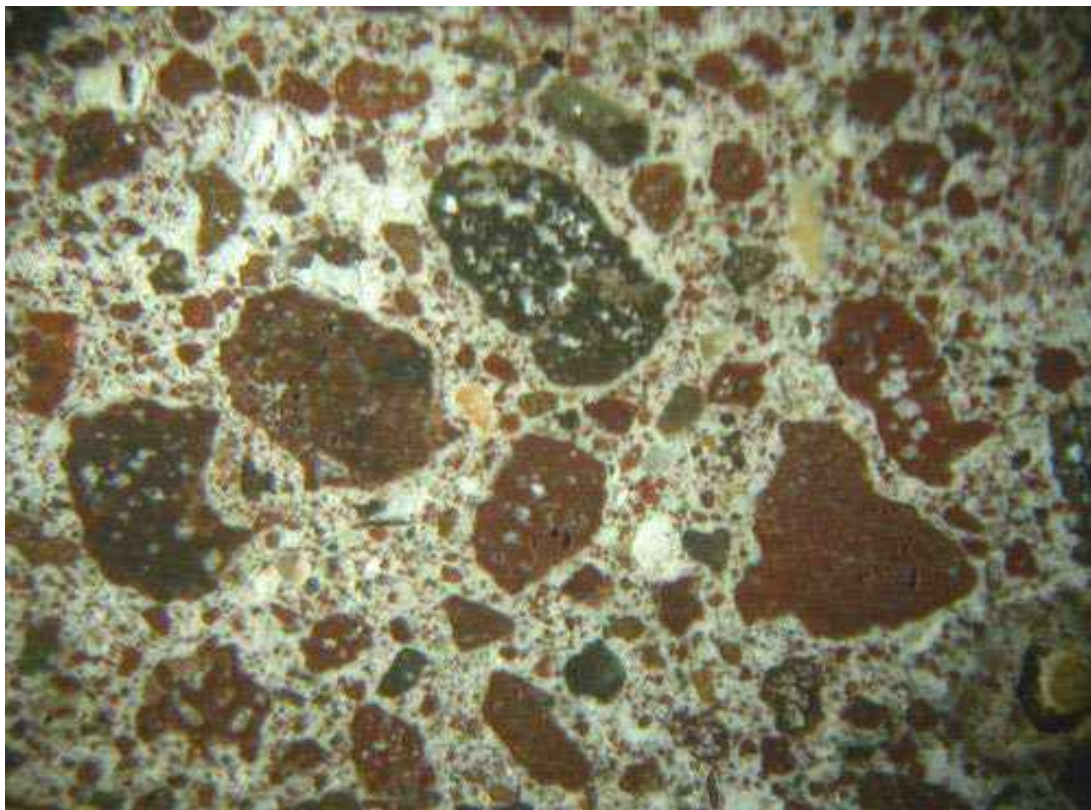


Foto25 – campione M3 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

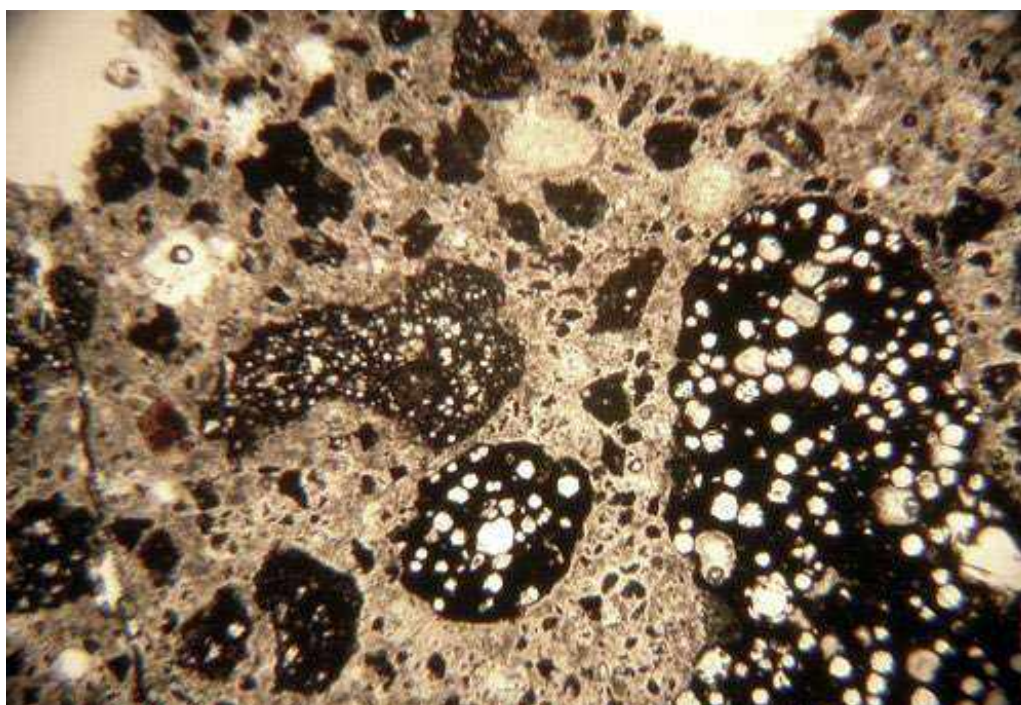


Foto26 – campione M3 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

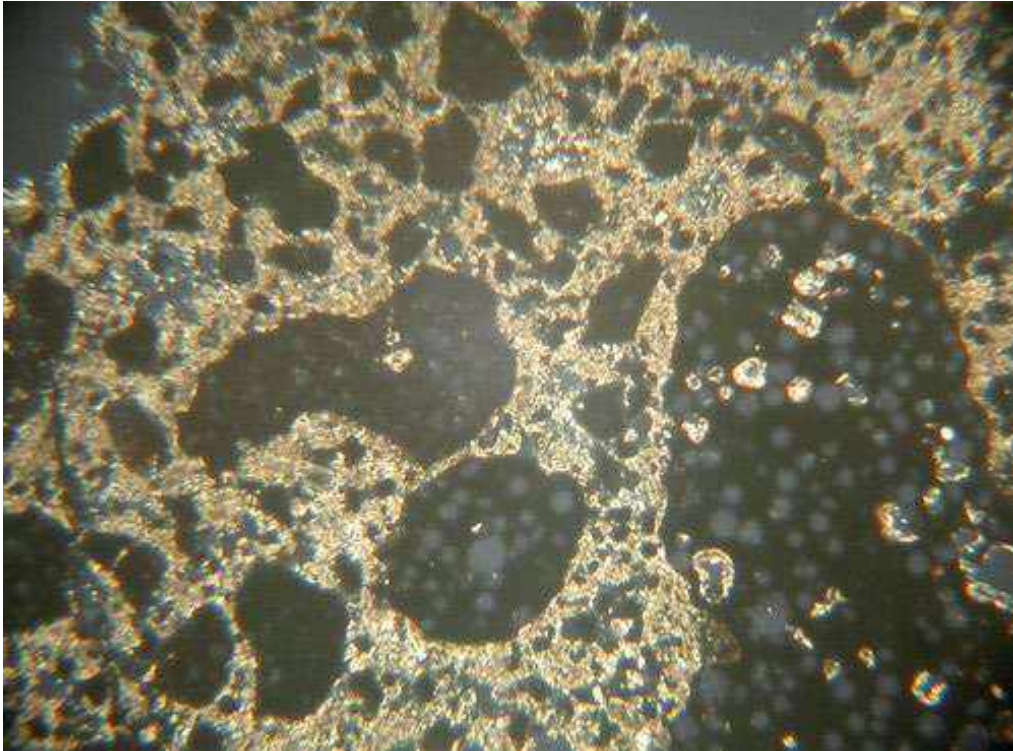


Foto27 – campione M3 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Aggregato di M3

La sezione lucida (vedi foto 28) mostra come l'aggregato sia rappresentato da un **frammento di laterizio**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 29 e 30) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.



Foto28 – campione M3 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x



Foto29 – campione M3 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x



Foto30 – campione M3 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'impasto che costituisce il laterizio si presenta omogeneo, costituito da una matrice fine e da un aggregato anch'esso fine, uniformemente distribuito al suo interno.

Lo scheletro è rappresentato da cristalli di quarzo di dimensioni sostanzialmente omogenee, non superiori a 100 μm : lo scheletro può definirsi come ben classato.

La porosità è prevalentemente di tipo primario, legata alla presenza di pori di forme e dimensioni eterogenee; a questa non si associa una porosità secondaria legata a fratture riconducibili alla fase di cottura dell'impasto.

La matrice appare di un colore giallo chiaro.

Sia lo scheletro che i vuoti non presentano un evidente isorientamento.

3.7 Campione M5 – legante carotaggio C2 – profondità 80÷130 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di M5

La sezione lucida (vedi foto 31) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 32 e 33) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

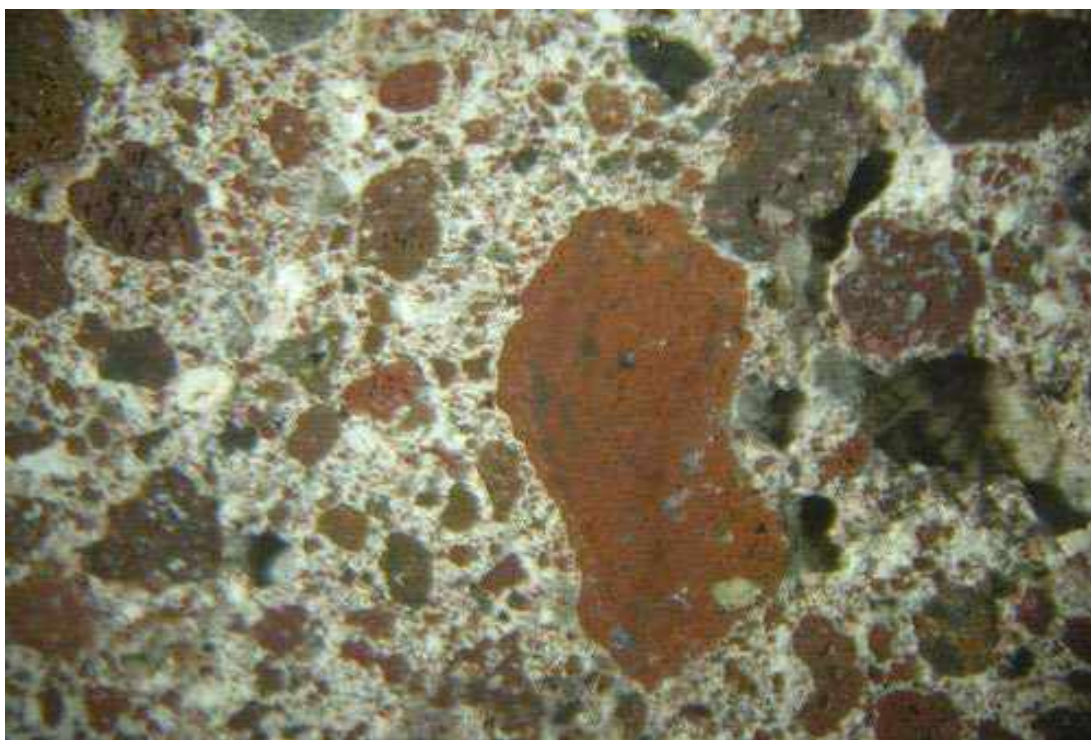


Foto31 – campione M5 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

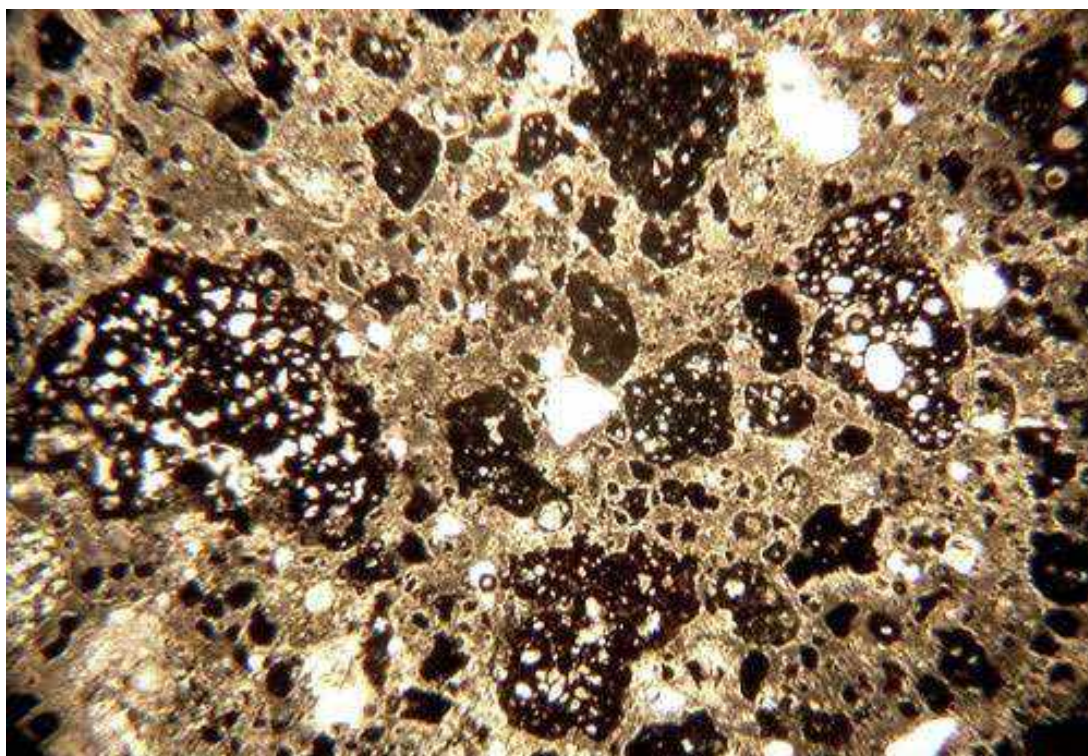


Foto32 – campione M5 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

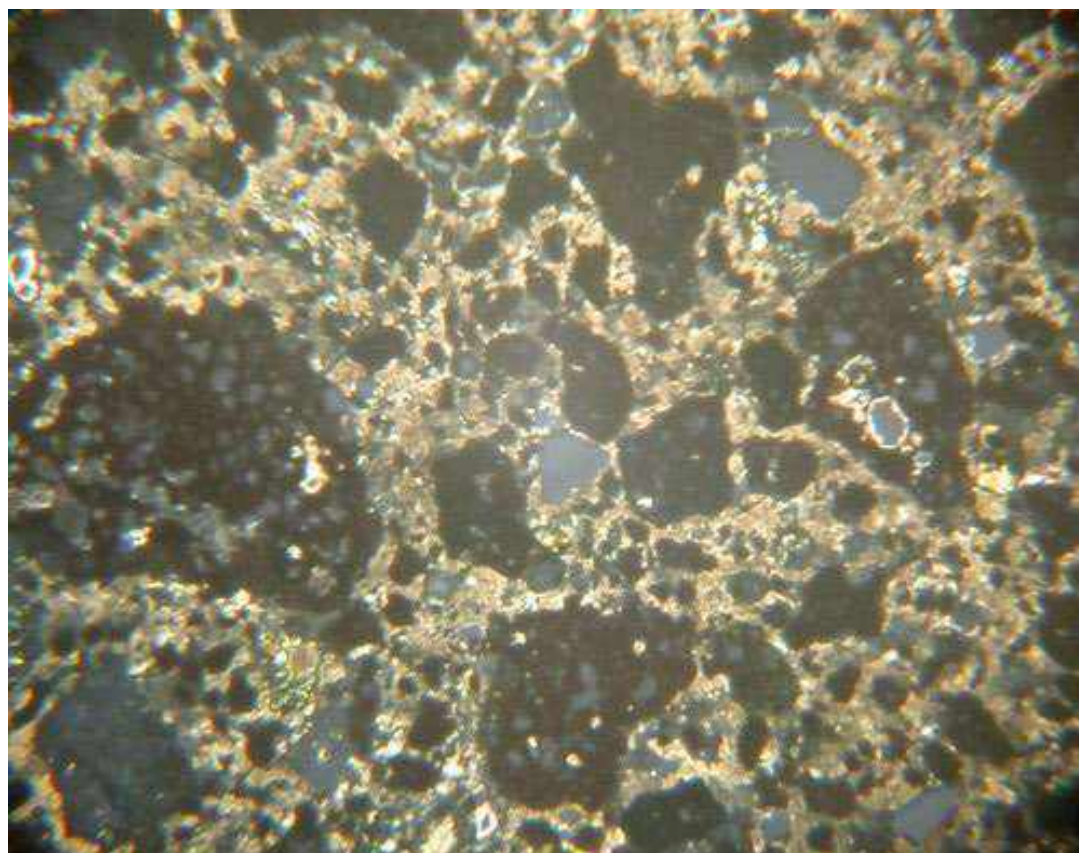
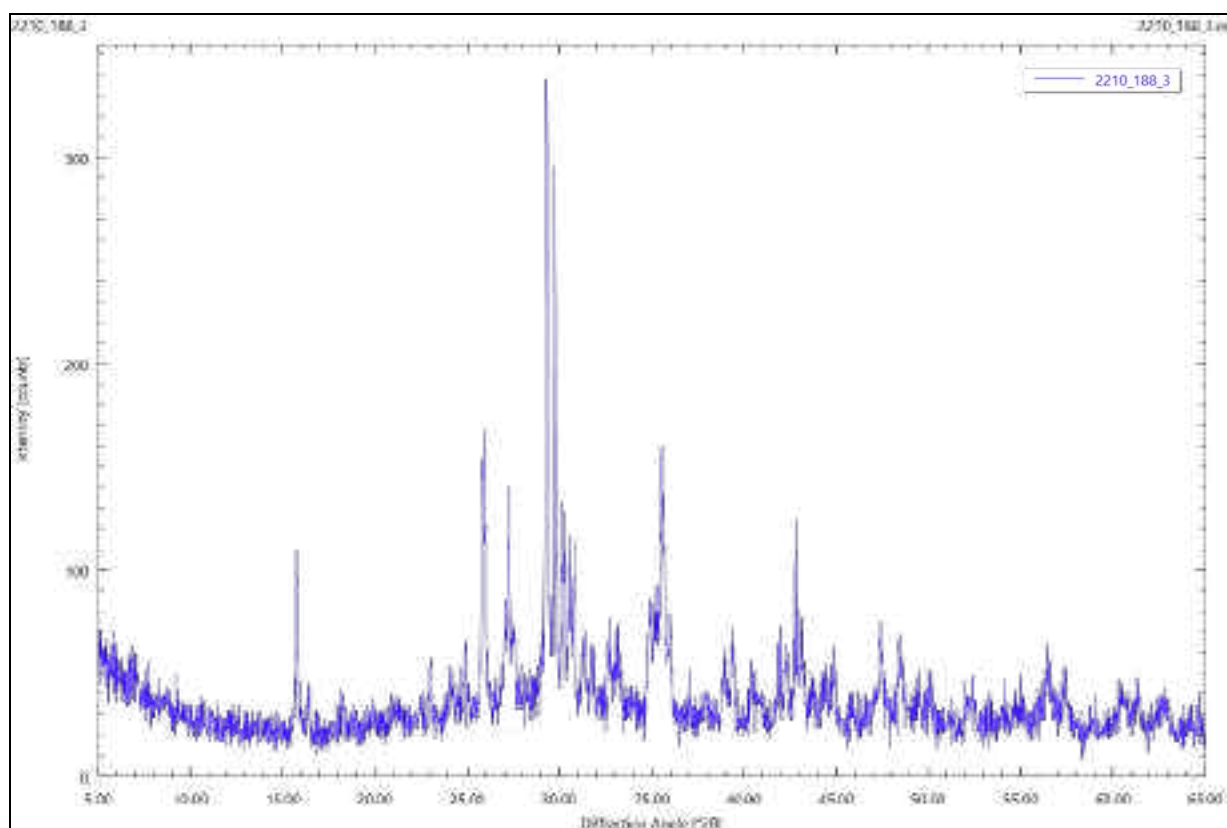


Foto33 – campione M5 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Un frammento del campione è stato finemente polverizzato e sottoposto ad analisi diffrattometrica (per il tracciato si veda lo spettro 3)

Fasi mineralogiche individuate (in ordine decrescente di quantità)
Calcite (CaCO ₃)
Clinopirosseno
Analcime/Leucite



Spettro 3 – campione M5

Aggregato di M5

La sezione lucida (vedi foto 34) mostra come l'aggregato sia rappresentato da **un frammento di calcestruzzo antico riutilizzato**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 35 e 36) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

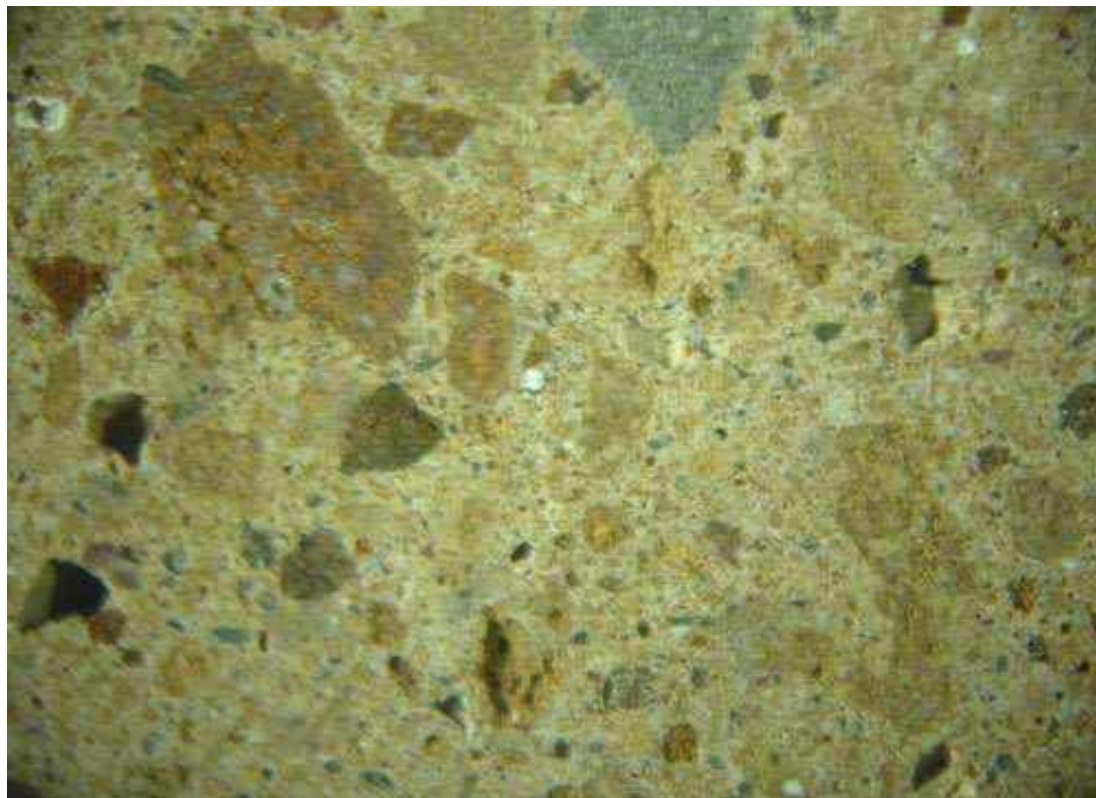


Foto34 – campione M5 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

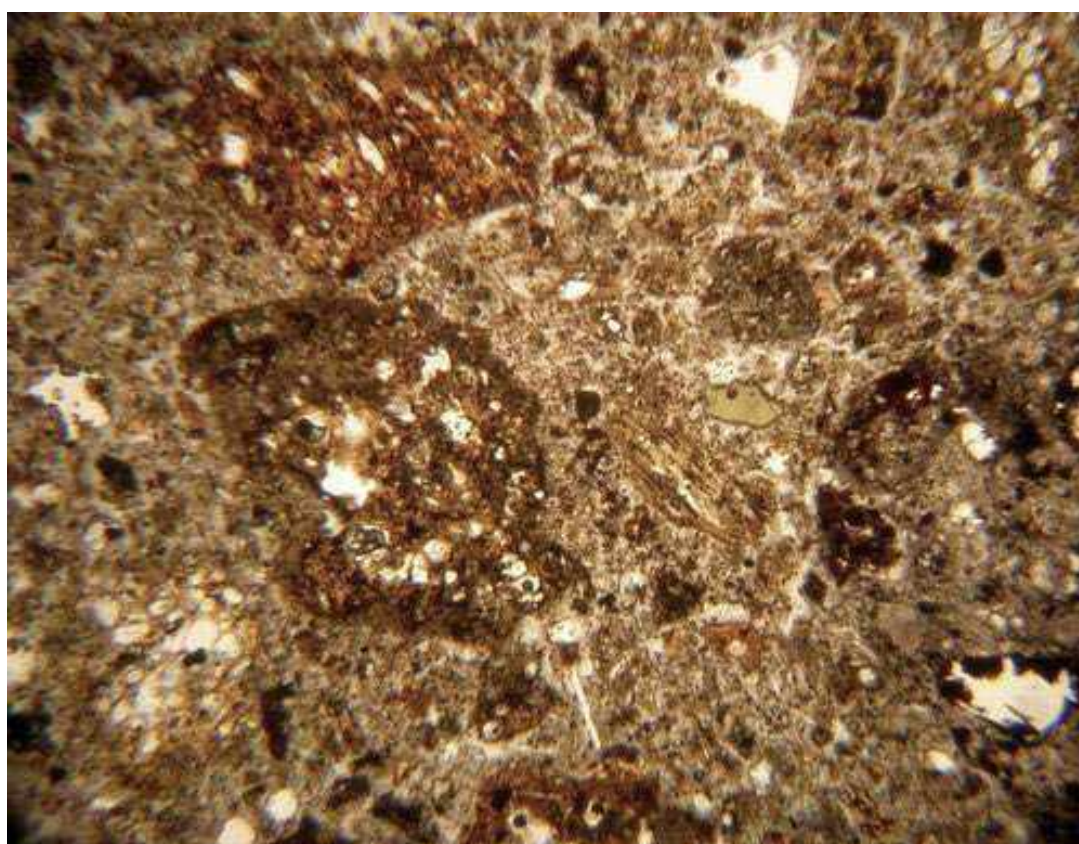


Foto35 – campione M5 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

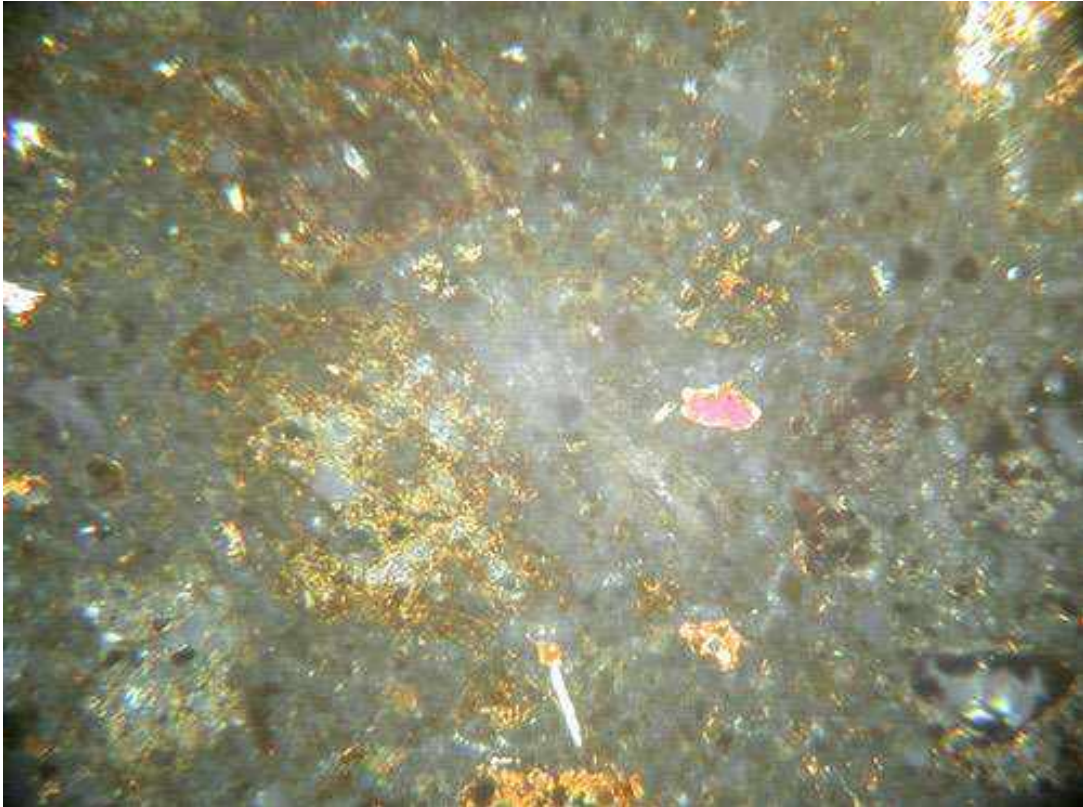


Foto36 – campione M5 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'associazione del legante di colore biancastro e degli aggregati dal colore prevalentemente giallo chiaro fornisce un tono cromatico all'impasto tendente al giallognolo con sfumature grigiastre.

Per quanto riguarda i granuli, questi sono rappresentati prevalentemente da frammenti di vulcaniti fortemente vescicolate: all'interno delle bollosità è avvenuta la cristallizzazione di zeoliti.

Le dimensioni di queste vulcaniti sono molto varie, comprese tra 100 μm e 4 mm.

Quali fasi accessorie si rinvencono sparsi clinopirosseni, quarzi e frammenti di scorie vulcaniche pozzolaniche: tutte queste fasi hanno dimensioni che sostanzialmente si mantengono al di sotto dei 500 μm .

Considerata l'estrema variabilità nella granulometria del componente principale, nell'insieme l'impasto ha comunque un aspetto complessivamente omogeneo, come è possibile apprezzare dalla Foto34.

Il grado di arrotondamento e la sfericità appaiono variabili ma nel complesso medi, più elevati nelle vulcaniti.

Nel complesso è possibile ipotizzare che gli aggregati provengano da un deposito naturale e non da un'attività di macinazione.

La porosità è di tipo primario, non particolarmente elevata, data da sparse bollosità di forma anche irregolare; nel complesso l'impasto si presenta molto tenace, privo di fratture al suo interno.

Il frammento si presenta ben resistente a sollecitazioni meccaniche manuali.

Il legante è torbido, di un colore giallastro, probabilmente costituito da calce spartica idraulica, considerata la presenza di numerose particelle micrometriche opache, probabilmente componenti argillose.

L'impasto non appare granosostenuto ed il rapporto inerte/legante può essere valutato pari a circa 2,5.

3.8 Campione M6 – legante carotaggio C1 – profondità 150÷200 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di M6

La sezione lucida (vedi foto 37) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le

foto 38 e 39) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

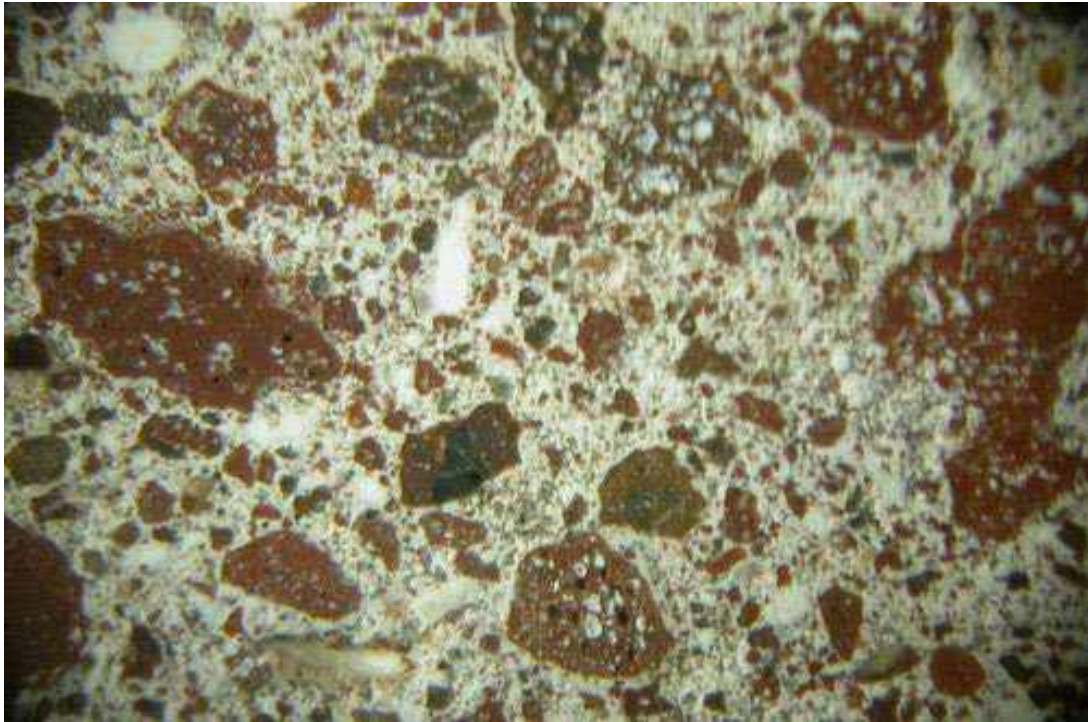


Foto37 – campione M6 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

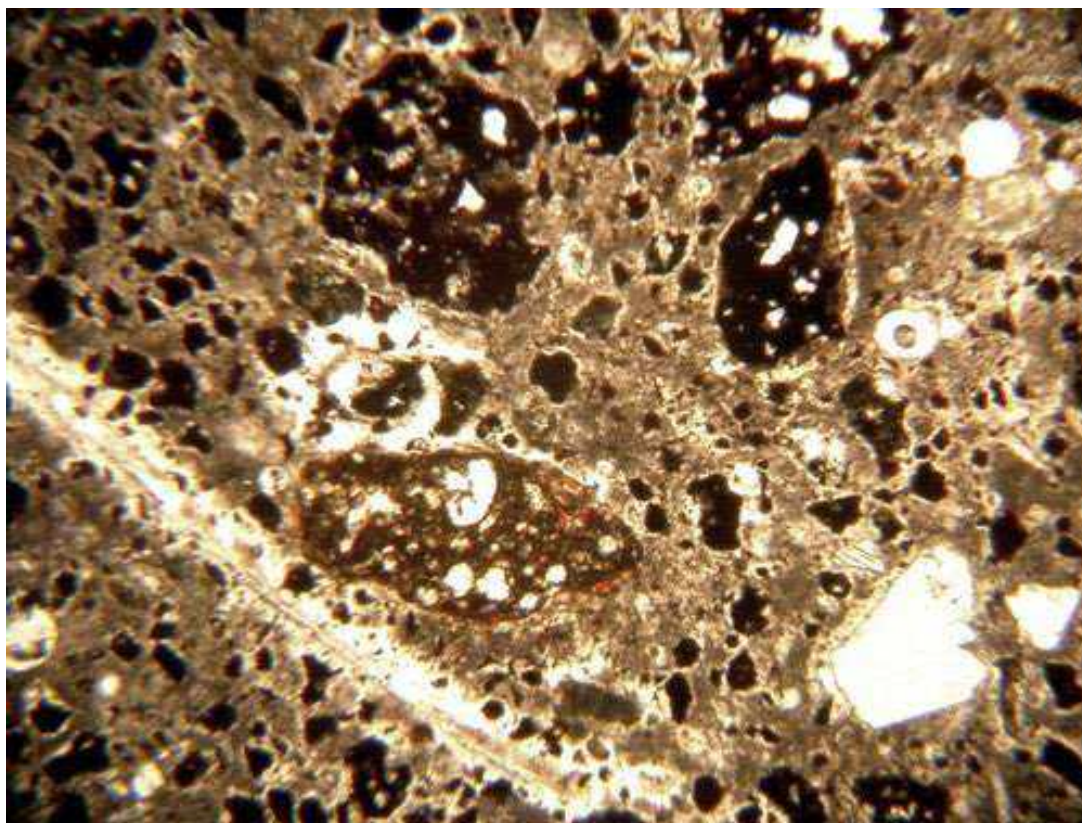


Foto38 – campione M6 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

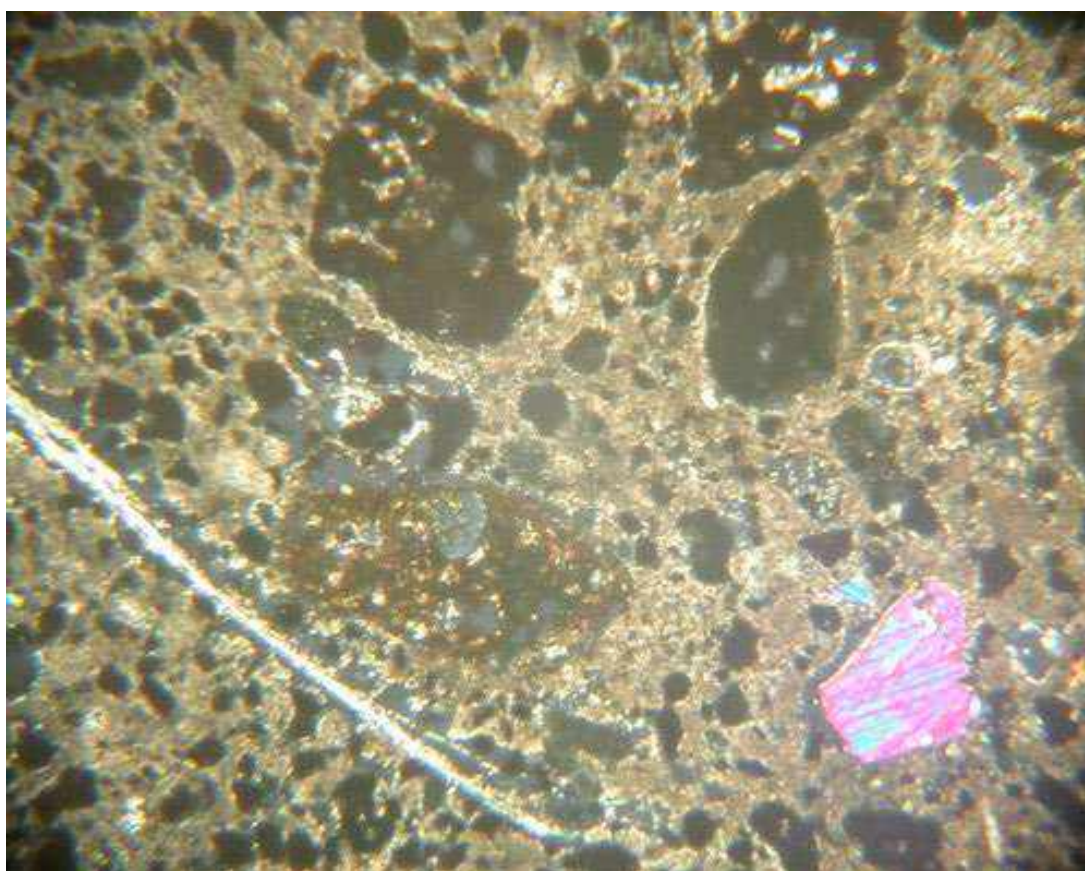


Foto39 – campione M6 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Aggregato di M6

La sezione lucida (vedi foto 40) mostra come l'aggregato sia rappresentato da un **frammento di calcestruzzo antico riutilizzato**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 41 e 42) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

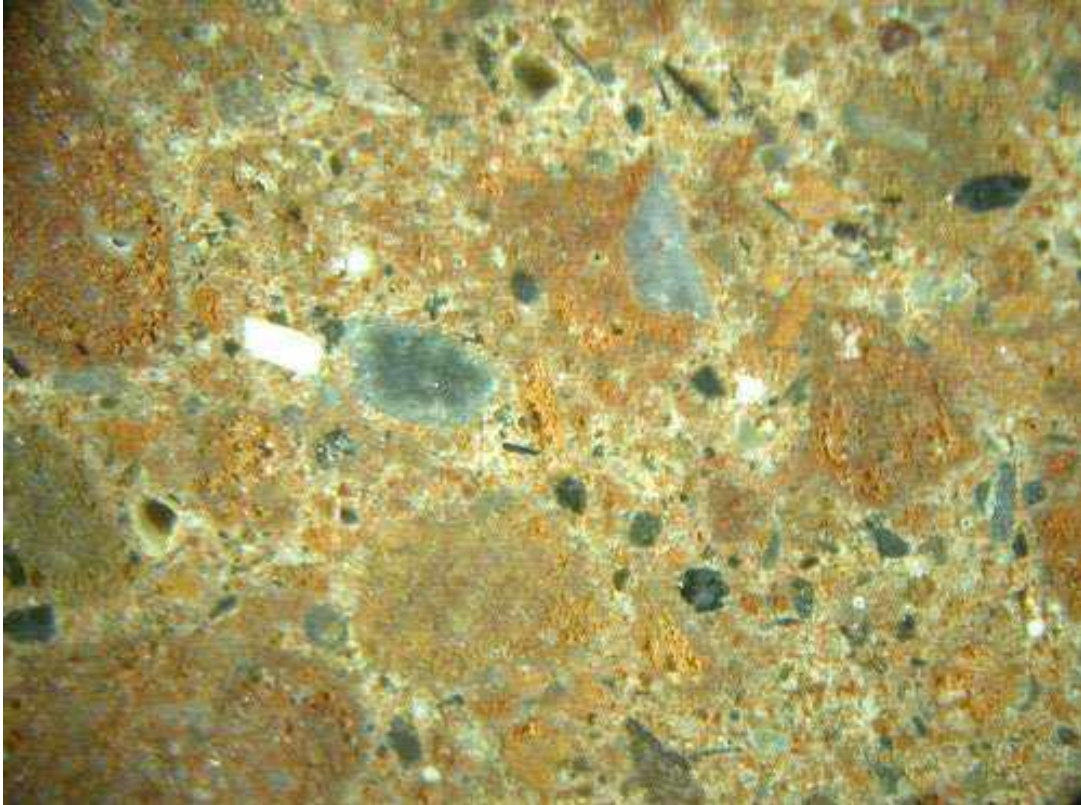


Foto40 – campione M6 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

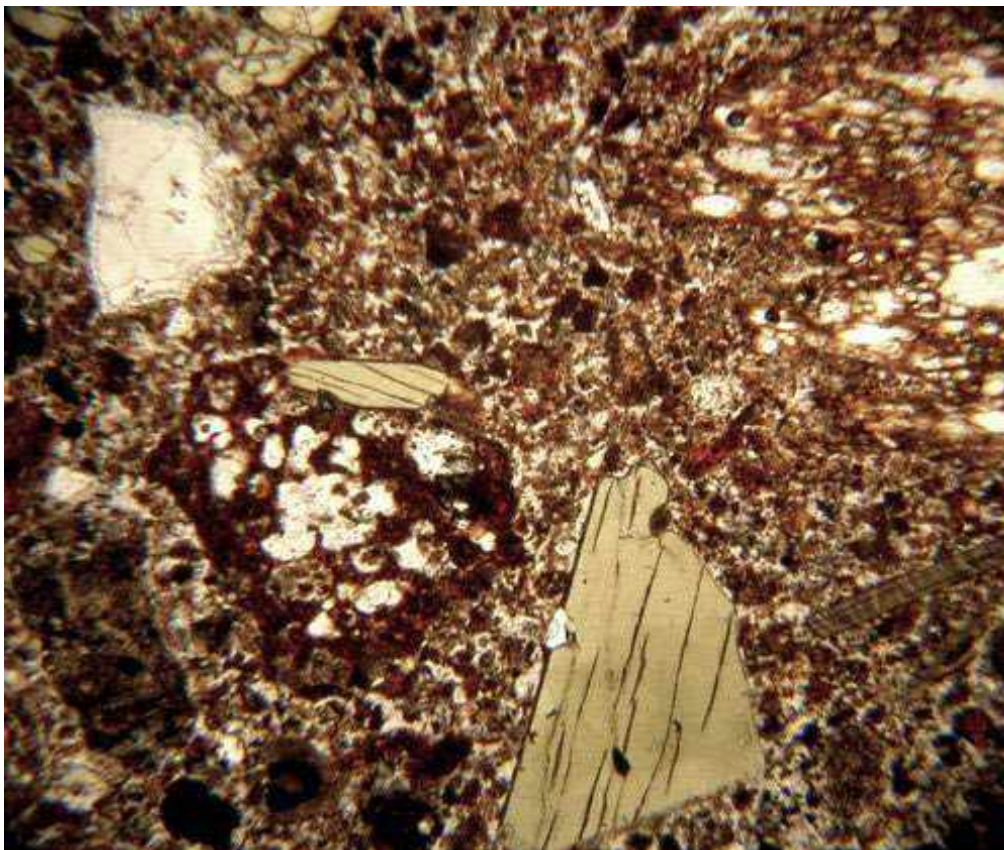


Foto41 – campione M6 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

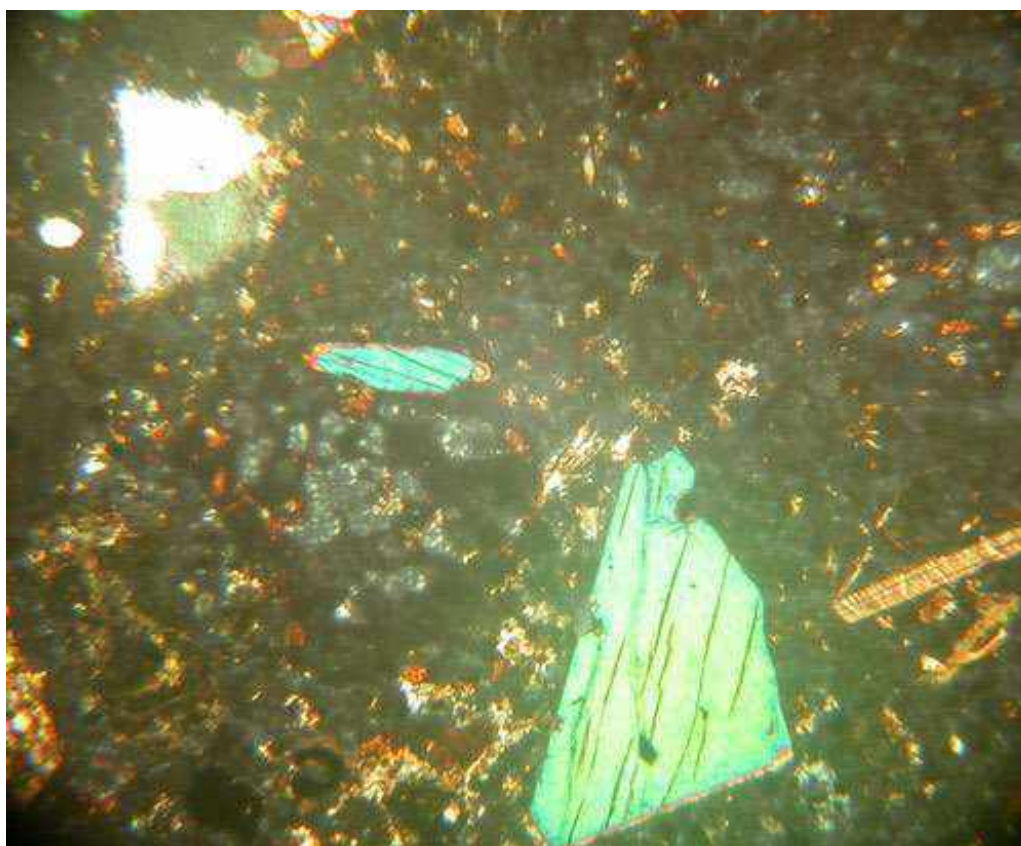


Foto42 – campione M6 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'associazione del legante di colore biancastro giallognolo e degli aggregati dal colore prevalentemente rossastro giallognolo scuro fornisce un tono cromatico complessivo dell'impasto tendente all'arancio scuro.

Per quanto riguarda i granuli, questi sono rappresentati prevalentemente da frammenti di vulcaniti vescicolate e da scorie pozzolaniche: rispetto all'aggregato descritto per il campione M5, in questo caso le vulcaniti appaiono fortemente ossidate.

Le dimensioni di queste vulcaniti sono molto varie, comprese tra 100 μm e 4 mm. Le scorie pozzolaniche, percentualmente meno abbondanti, possono raggiungere dimensioni fino a 1 cm.

Significativamente presenti sono i clinopirosseni, mentre quarzi e miche possono considerarsi come accessori.

Considerata l'estrema variabilità nella granulometria del componente principale, nell'insieme l'impasto ha comunque un aspetto complessivamente omogeneo, come è possibile apprezzare dalla Foto40.

Il grado di arrotondamento e la sfericità appaiono variabili ma nel complesso medi.

E' possibile ipotizzare che gli aggregati non provengano da un'attività di macinazione.

La porosità è di tipo primario, non particolarmente elevata, data da sparse bollosità di forma anche irregolare; nel complesso l'impasto si presenta molto tenace, privo di fratture al suo interno.

Il frammento si presenta ben resistente a sollecitazioni meccaniche manuali.

Il legante è torbido, di un colore giallastro, probabilmente costituito da calce spartita idraulica, considerata la presenza di numerose particelle micrometriche opache, probabilmente componenti argillose.

L'impasto non appare nell'insieme granosostenuto, anche se non mancano zone in cui i granuli sono a contatto tra loro. Il rapporto inerte/legante può essere valutato pari a circa 3.

3.9 Campione M7 – legante carotaggio C1 – profondità 100÷150 cm

Sul frammento inglobato da cui è stata ricavata la sezione sottile sono stati distinti due differenti componenti: un legante riconducibile alla malta che lega la struttura portante del pilastro ed un aggregato.

Di seguito vengono fornite le descrizioni distinte di ognuno dei due componenti che caratterizzano il frammento inglobato.

Legante di M7

La sezione lucida (vedi foto 43) mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 44 e 45) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

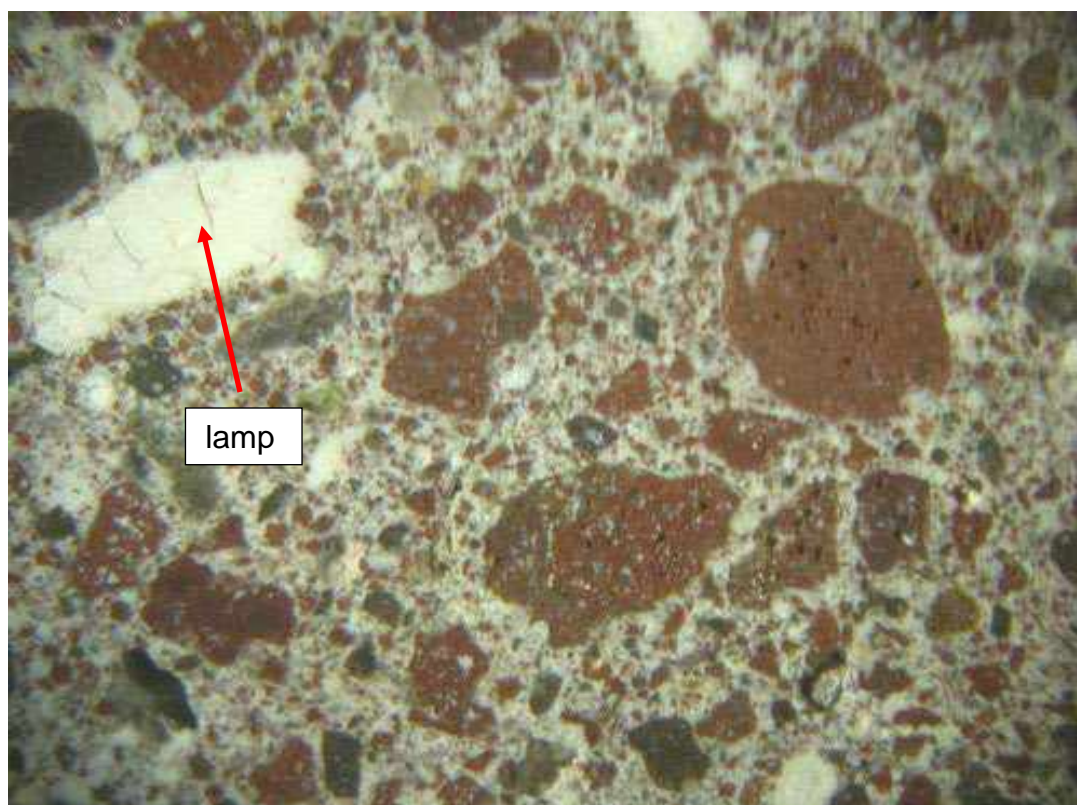


Foto43 – campione M7 – legante – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

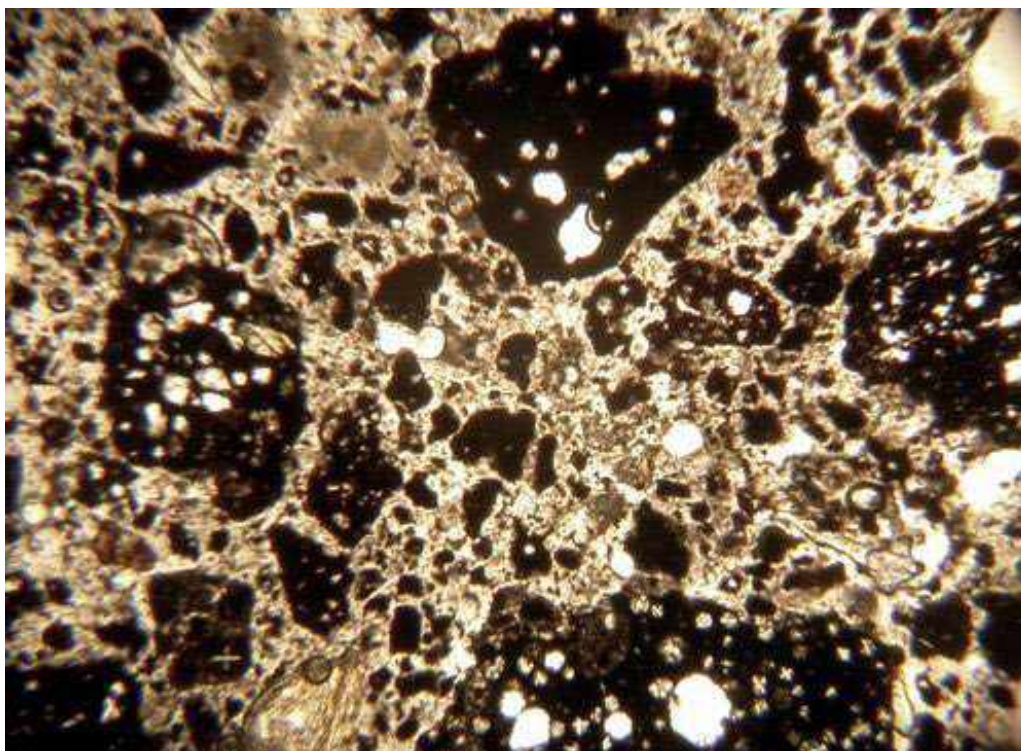


Foto44 – campione M7 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x

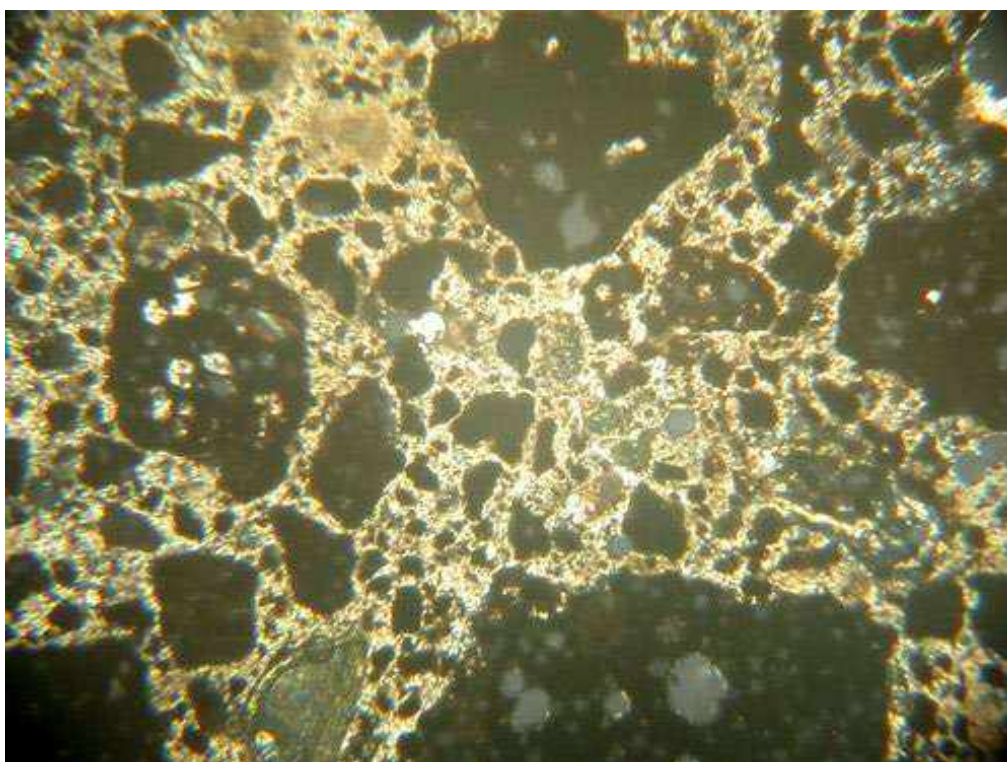


Foto45 – campione M7 – legante – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

Si tratta di un impasto avente caratteristiche composizionali e tessiturali del tutto **simili a** quelle descritte per il **campione A2**, a cui si rimanda.

Come per il campione A3, anche in questo frammento si riconosce la presenza di grumi di legante non ben amalgamato con il resto dell'impasto: questi particolari componenti (noti in letteratura come "lumps") sono la testimonianza di una non accurata preparazione dell'impasto stesso.

Aggregato di M7

La sezione lucida (vedi foto 46) mostra come l'aggregato sia rappresentato da un **frammento di laterizio**. Lo studio della sezione sottile (si vedano le foto 47 e 48) ha permesso di individuare la natura delle diverse componenti e le caratteristiche tessiturali dell'impasto.

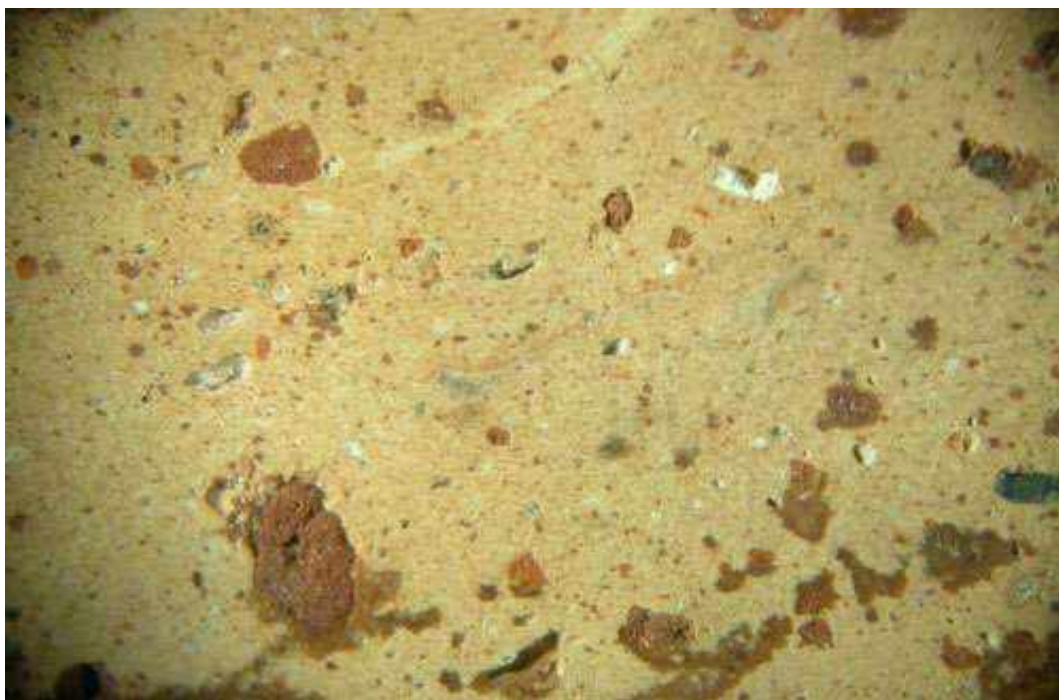


Foto46 – campione M7 – aggregato – sezione lucida – luce riflessa – 10 x

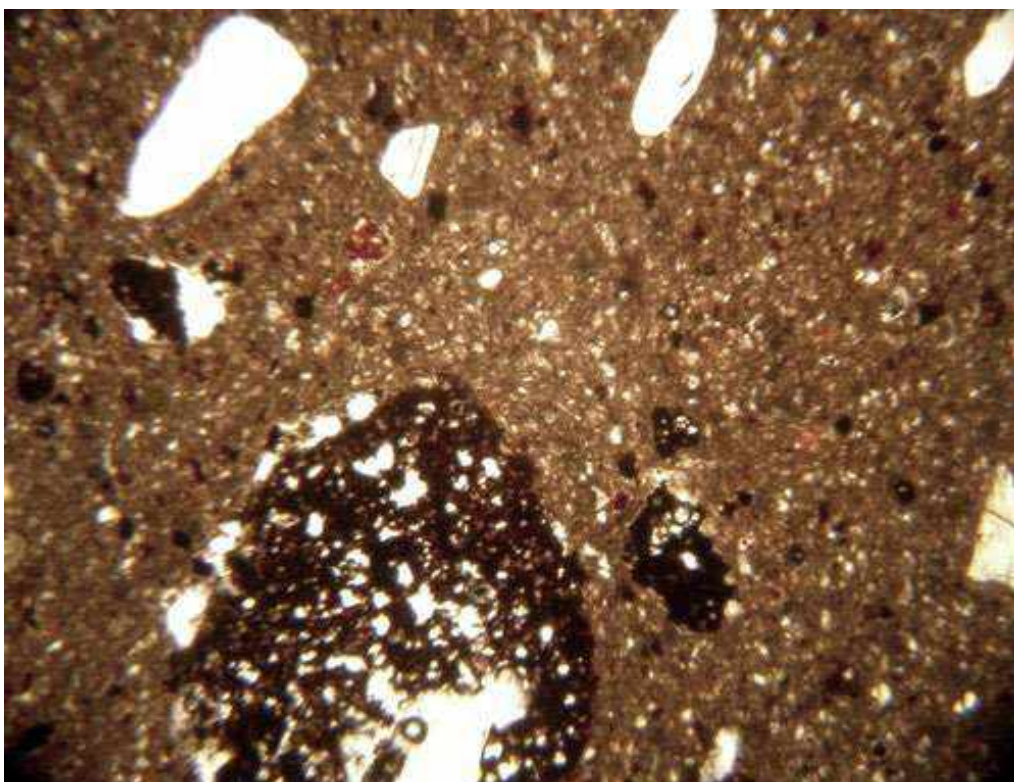


Foto47 – campione M7 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol// - 35 x



Foto48 – campione M7 – aggregato – sezione sottile – luce trasmessa – nicol+ - 35 x

L'impasto che costituisce il laterizio si presenta non particolarmente omogeneo, costituito da una matrice fine e da un aggregato non uniformemente distribuito al suo interno, eterogeneo anche per quanto riguarda la composizione e le dimensioni delle singole fasi.

Lo scheletro è rappresentato, per la parte più fine, da cristalli di quarzo di dimensioni sostanzialmente omogenee, non superiori a 100 μm ; associati a questi si rinvengono bioclasti rappresentati da gusci di foraminiferi, cristalli di clinopirosseno, miche bianche e in particolare frammenti di scorie utilizzate come sgrassanti. Queste ultime possono raggiungere dimensioni fino a 2,5 mm: lo scheletro può definirsi complessivamente come non ben classato. Si nota la presenza di alcuni granuli di matrice argillosa non amalgamata con il resto dell'impasto, in alcuni casi associata a grumi di una fase carbonatica micritica.

La porosità è prevalentemente di tipo primario, legata alla presenza di pori di forme e dimensioni eterogenee; a questa non si associa una porosità secondaria legata a fratture riconducibili alla fase di cottura dell'impasto.

La matrice appare di un colore arancio chiaro.

Nell'insieme si nota un blando isorientamento.

4. Conclusioni

I risultati delle analisi e delle osservazioni svolte sulle sezioni sottili e lucide fanno emergere una composizione di base della malta originale riscontrata sia nelle volte che nei pilastri, dettagliatamente descritta per il campione A2. In sostanza si osserva una corrispondenza nelle due tipologie di malte utilizzate per la realizzazione di questi elementi strutturali.

Si sottolinea che tra i campioni delle volte la malta originale si rinviene solo nell'aula II al di sotto delle reni, in quanto la parte superiore è stata sostituita con una volta in cemento armato (vedi Elaborato 1A1 di caratterizzazione delle volte).

Nel campione prelevato nell'aula VI (identificato dalla sigla A4) la composizione della malta fa presumere che si tratti di un intervento di conservazione della volta.

La sezione lucida del campione A2 mostra come il legante sia costituito da un insieme omogeneo di una matrice granulometricamente fine, che costituisce il legante fondamentale, e di granuli eterometrici distribuiti al suo interno.

L'associazione del legante di colore biancastro e degli aggregati dal colore rosso arancio scuro forniscono un tono cromatico all'impasto molto contrastato.

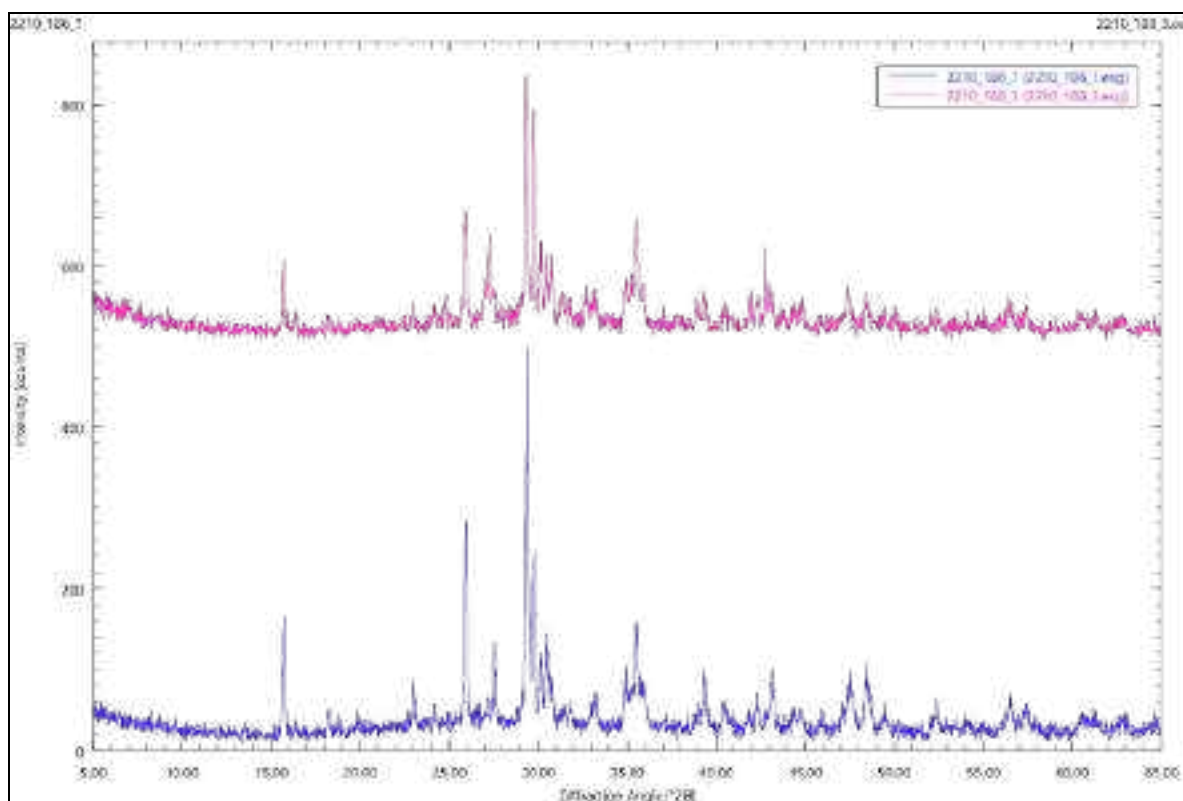
Per quanto riguarda i granuli, questi sono rappresentati da frammenti di scorie vetrose riconducibili a depositi tipici del vulcanismo laziale (noti come Pozzolane Rosse). Le scorie rappresentano più del 90% di tutti gli aggregati.

All'interno dell'impasto si nota la presenza di sparsi cristalli di Analcime e Leucite e di Clinopiroseni, con occasionali minerali di Miche e di Nefelina, del gruppo dei Feldspatoidi.

Il legante è di tipo carbonatico, di colore grigiastro marrone chiaro. Si tratta di una calce aerea micritica. La compattezza e la tenacità dell'impasto sono il risultato della reazione dell'idrossido di calcio con le scorie pozzolaniche, reazione che conferisce all'impasto un'elevata idraulicità.

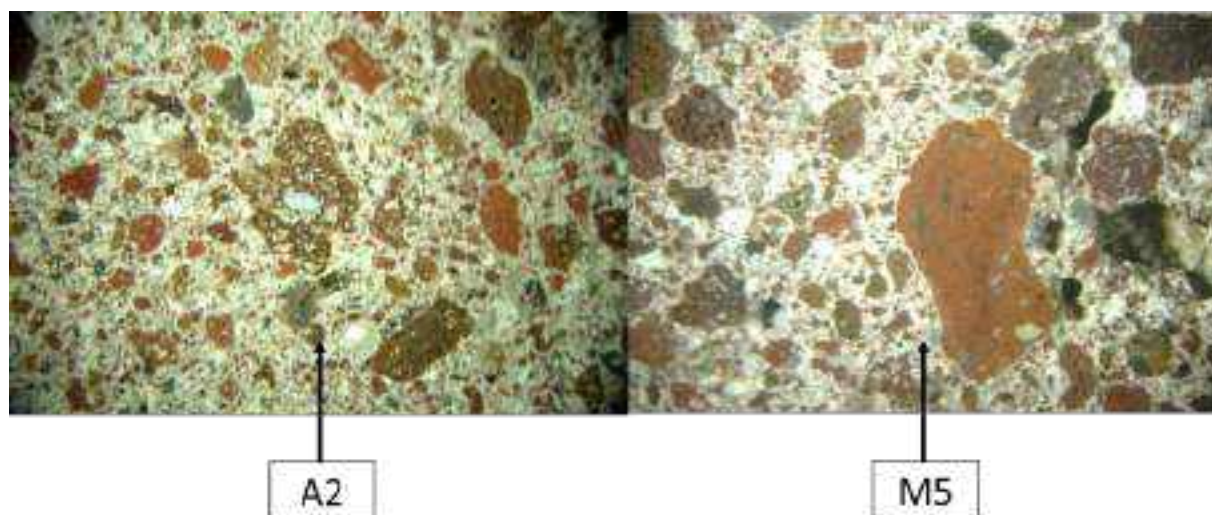
A supporto della riscontrata uniformità tra le malte dei pilastri e della volta si riporta la figura sottostante che mette a confronto gli spettri risultanti dall'analisi diffrattometrica del campione A2 rispetto a quella del campione M5.

I due spettri sono praticamente coincidenti.



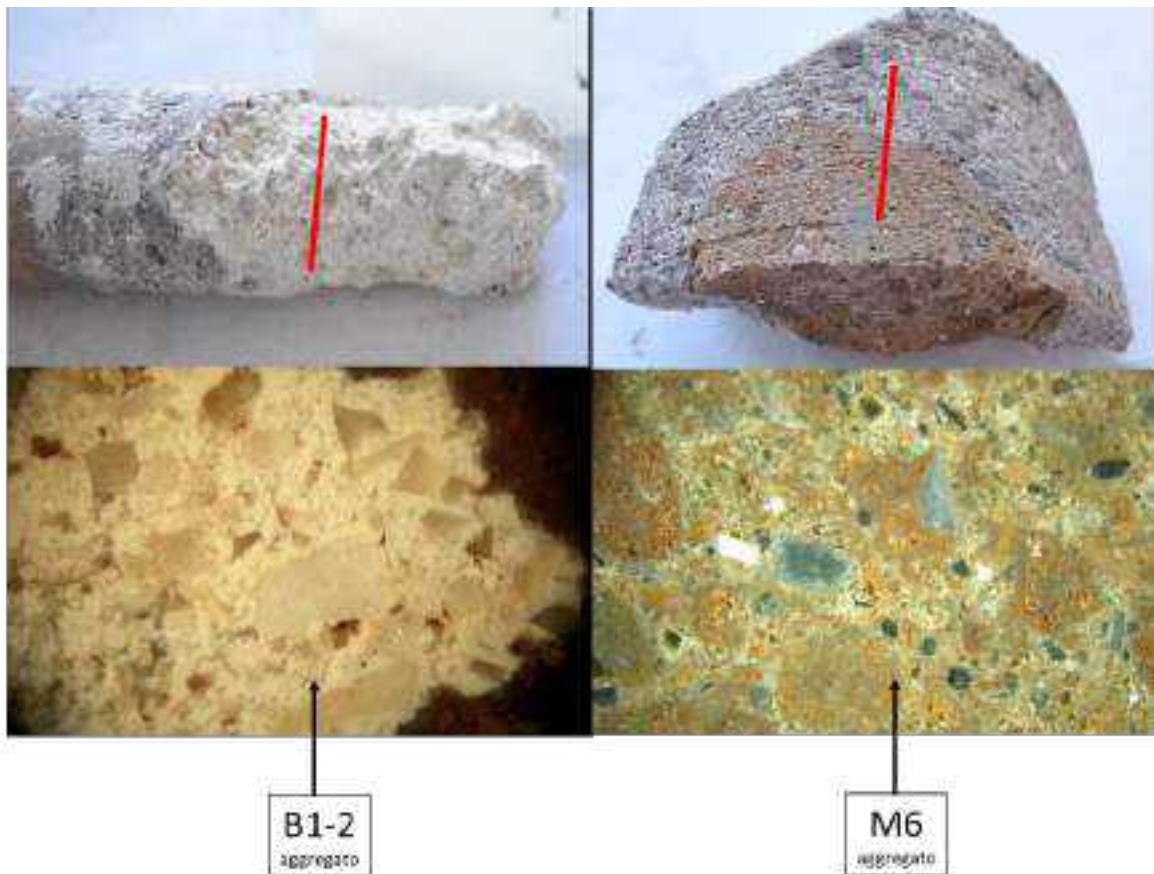
Spettro 4 – confronto A2/M5

Le medesime conclusioni si possono trarre confrontando l'aspetto macroscopico dei due impasti, affiancando le due sezioni lucide.



Per quanto riguarda i pilastri, sono stati analizzati e descritti diversi caementa, definiti aggregati, tra i quali:

- frammenti di laterizio
- frammenti di malta antica riutilizzata
- frammenti di calcestruzzo antico riutilizzato.



Il frammento di malta antica riutilizzata considerato come aggregato, ritrovato nel campione B1-2, si distingue dai due frammenti di calcestruzzi antichi riutilizzati in quanto si presenta con un particolare colore bianco, piuttosto omogeneo e caratteristico: un ulteriore aspetto degno di segnalazione è il suo avanzato stato di alterazione che si esplicita con una estrema facilità nella sua disgregazione, anche con una semplice pressione manuale. In questo caso l'aggregato è costituito esclusivamente da granuli di calcite spatica eterometrici, di dimensioni comprese tra 100 μm e 4 mm (la dimensione massima

raggiunge 1 cm), mentre il legante appare torbido, di un colore grigiastro marrone, probabilmente costituito da calce idraulica.

Il frammento di calcestruzzo antico riutilizzato, ritrovato nel campione M5, è caratterizzato da un legante di colore biancastro e da aggregati dal colore prevalentemente giallo chiaro che, nell'insieme, forniscono un tono cromatico all'impasto tendente al giallognolo con sfumature grigiastre. I granuli sono rappresentati prevalentemente da frammenti di vulcaniti fortemente vescicolate e si rinvengono sparsi clinopirosseni, quarzi e frammenti di scorie vulcaniche pozzolaniche.

L'aggregato analizzato nel campione M6, definito anch'esso come il precedente, cioè come un frammento di calcestruzzo antico riutilizzato, si differenzia dal campione M5 soprattutto per il tono cromatico dell'insieme, che per M6 si presenta come arancio scuro a causa della intensa ossidazione dei suoi granuli costituenti.

**Terme di Diocleziano - Grandi Aule
INDAGINI DIAGNOSTICHE**

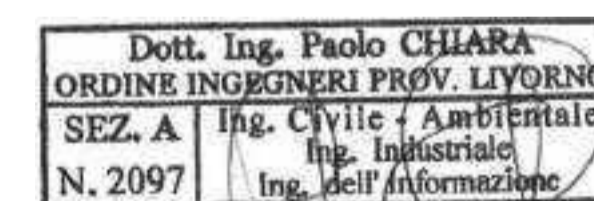
CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Elaborato 3F_Codice prova Ma_Prelievo di malta per analisi petrografiche dai pilastri (materiale selezionato dai carotaggi e dai microcarotaggi)

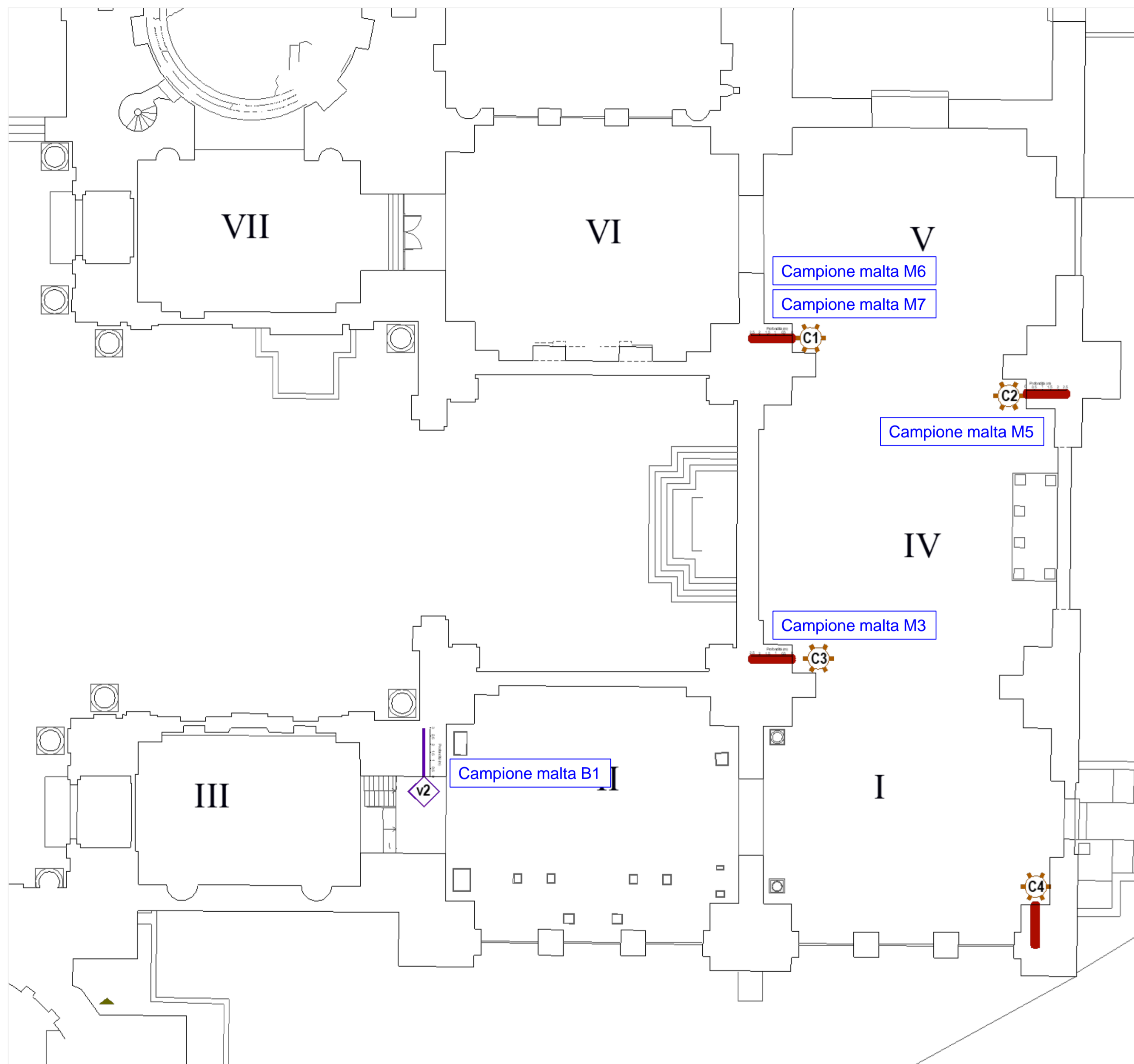


Redazione in data Ottobre 2022
Rif. Interno:CO:049_22

Elaborazione: Nicola Ardito
Verifica: Annalisa Morelli
Approvazione: Paolo Chiara



Ubicazione dei campioni di malta prelevati nelle Grandi Aule e analizzati dal punto di vista petrografico



Codice prova	Nome campione	Ubicazione
MA	B1	Prelevato in V2
	M3	Prelevato in C3
	M5	Prelevato in C2
	M6	Prelevato in C1
	M7	Prelevato in C1



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

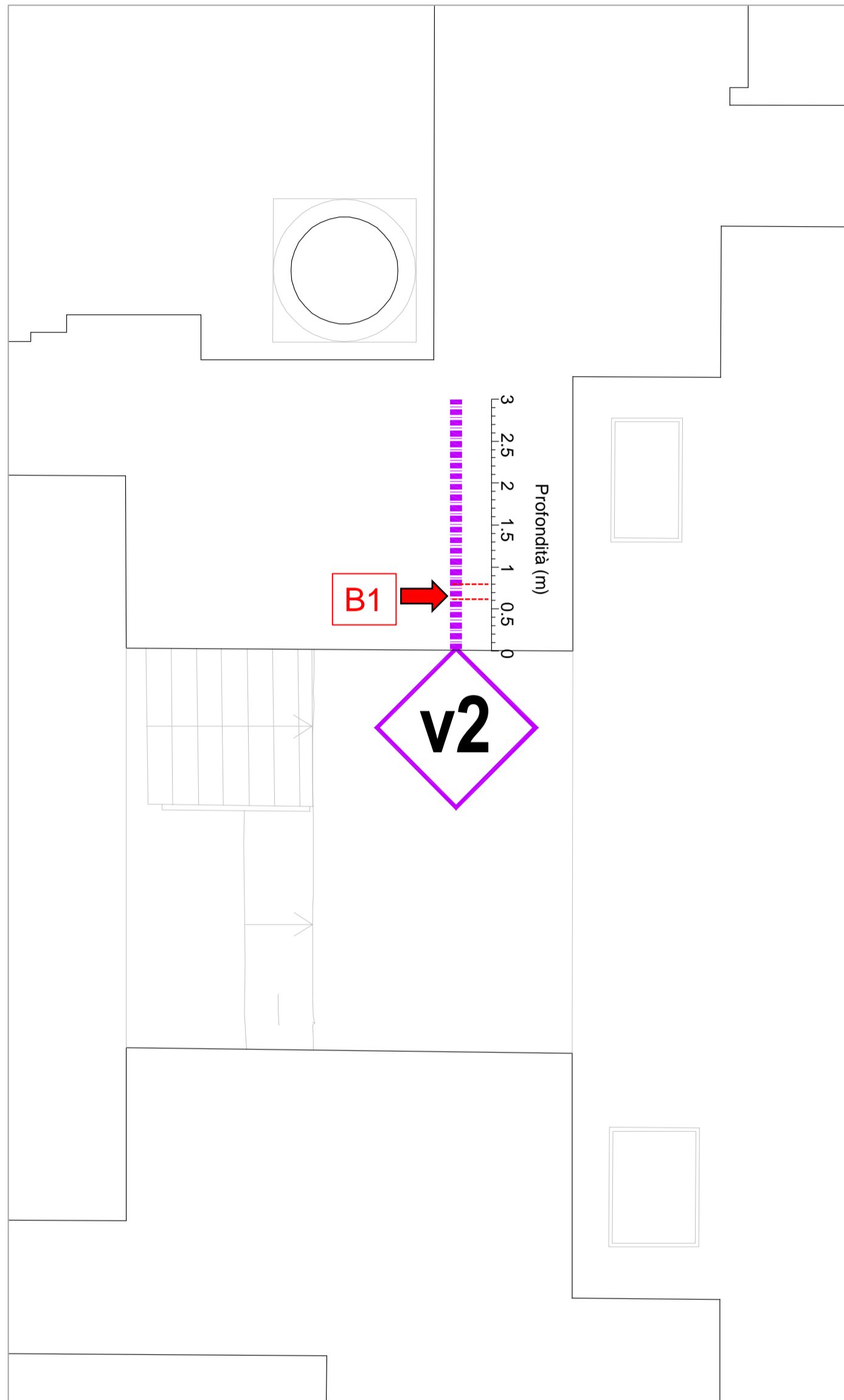
RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato 3F_Codice prova Ma_Prelievo di malta per analisi petrografiche dai pilastri (materiale selezionato dai carotaggi e dai microcarotaggi)

1

Prelievo malta_ Codice prova Ma_Pilastro V2 - campione B1



Campione B1

- ❖ Ubicato nel pilastro tra le Aule II e III
- ❖ Prelevato nel foro V2 tra 60 e 80 cm dall'inizio foro, le analisi petrografiche sono state eseguite in due punti dello stesso campione



Campione B1



Particolare del campione B1



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

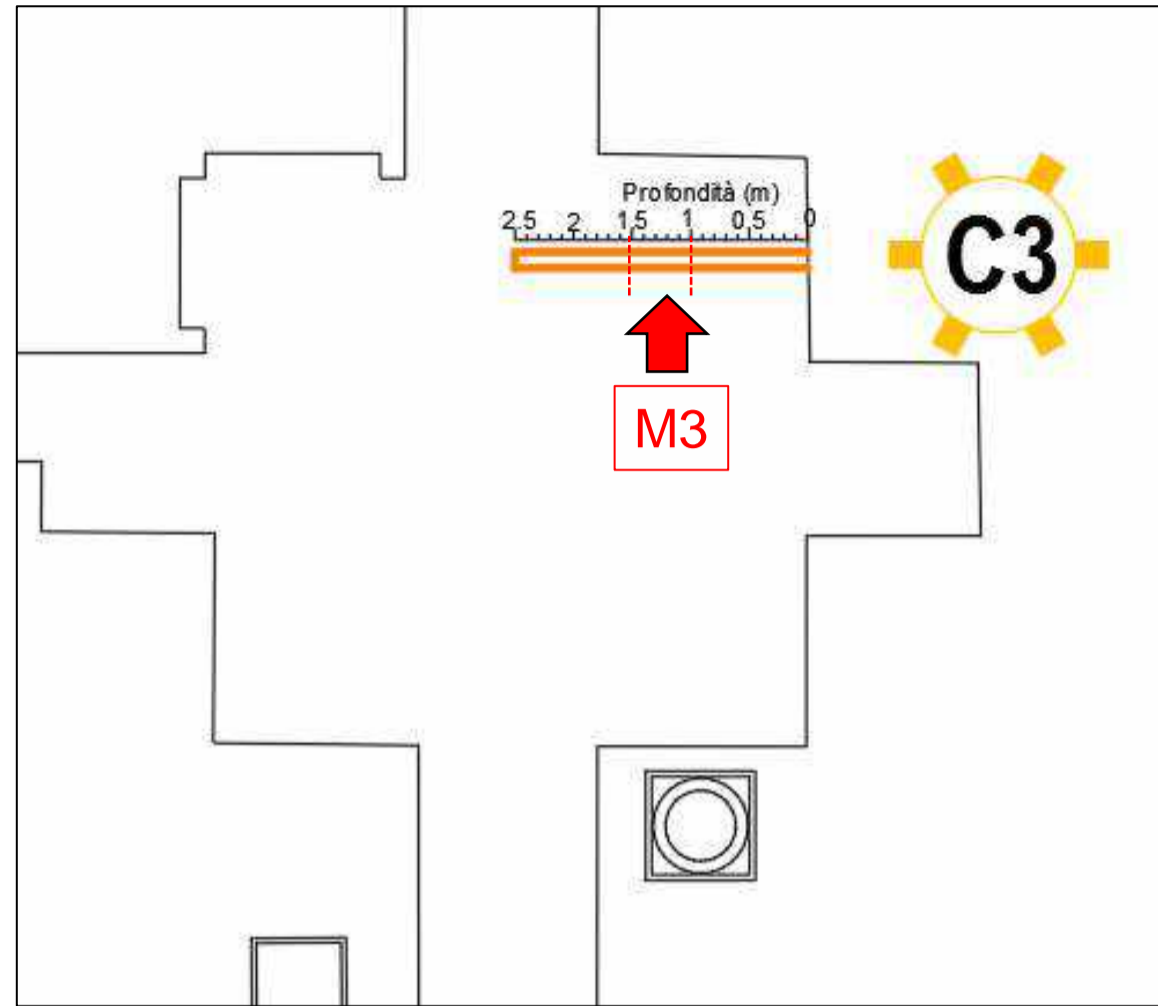
RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO **INDAGINI DIAGNOSTICHE**
Elaborato 3F_Codice prova Ma_Prelievo di malta per analisi petrografiche dai pilastri (materiale selezionato dai carotaggi e dai microcarotaggi)

2

Prelievo malta_ Codice prova Ma_Pilastro C3 - campione M3

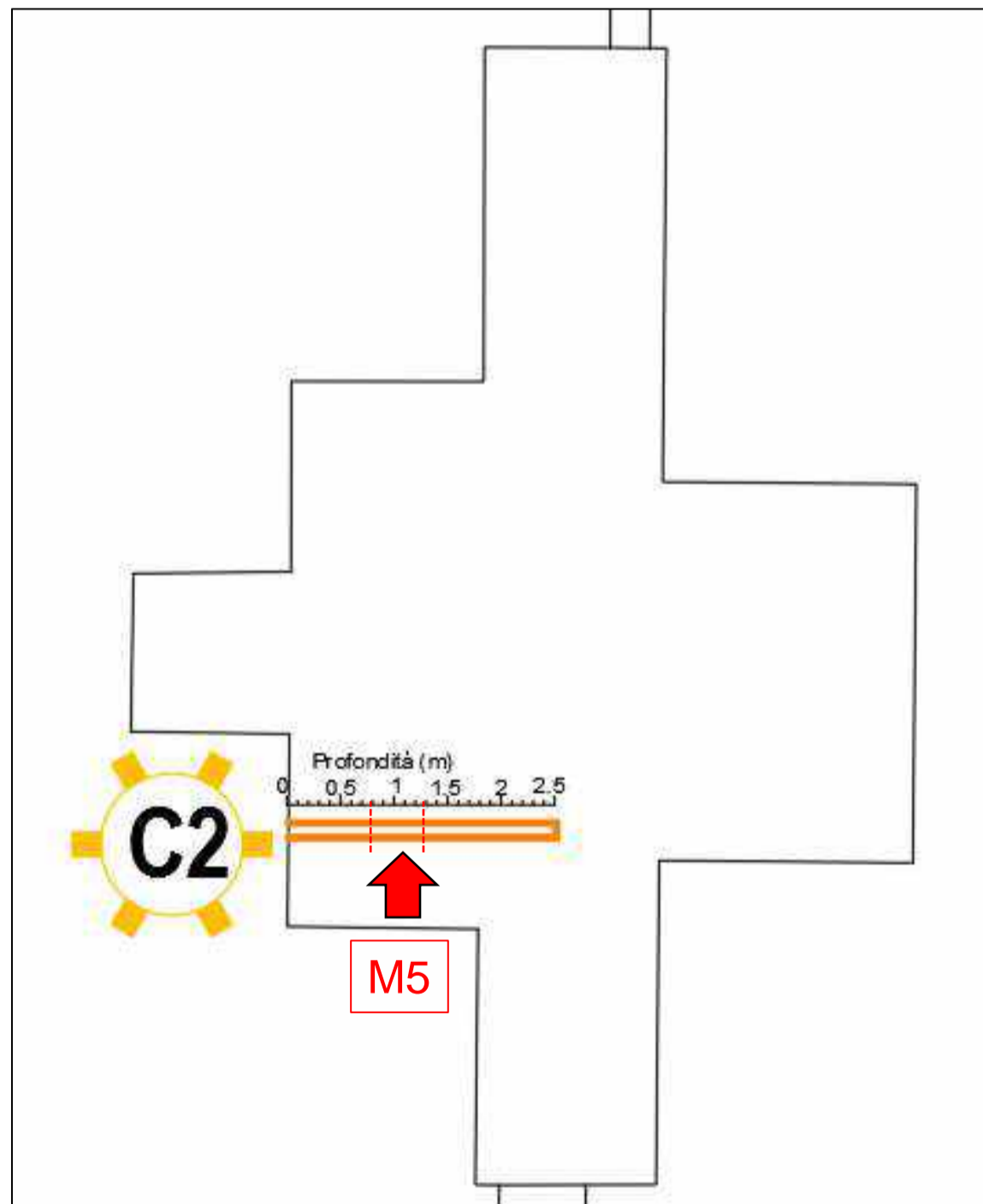


Campione M3

- ❖ Ubicato nel pilastro tra le Aule II e III
- ❖ Prelevato nel foro C3 tra 100 e 150 cm da inizio foro

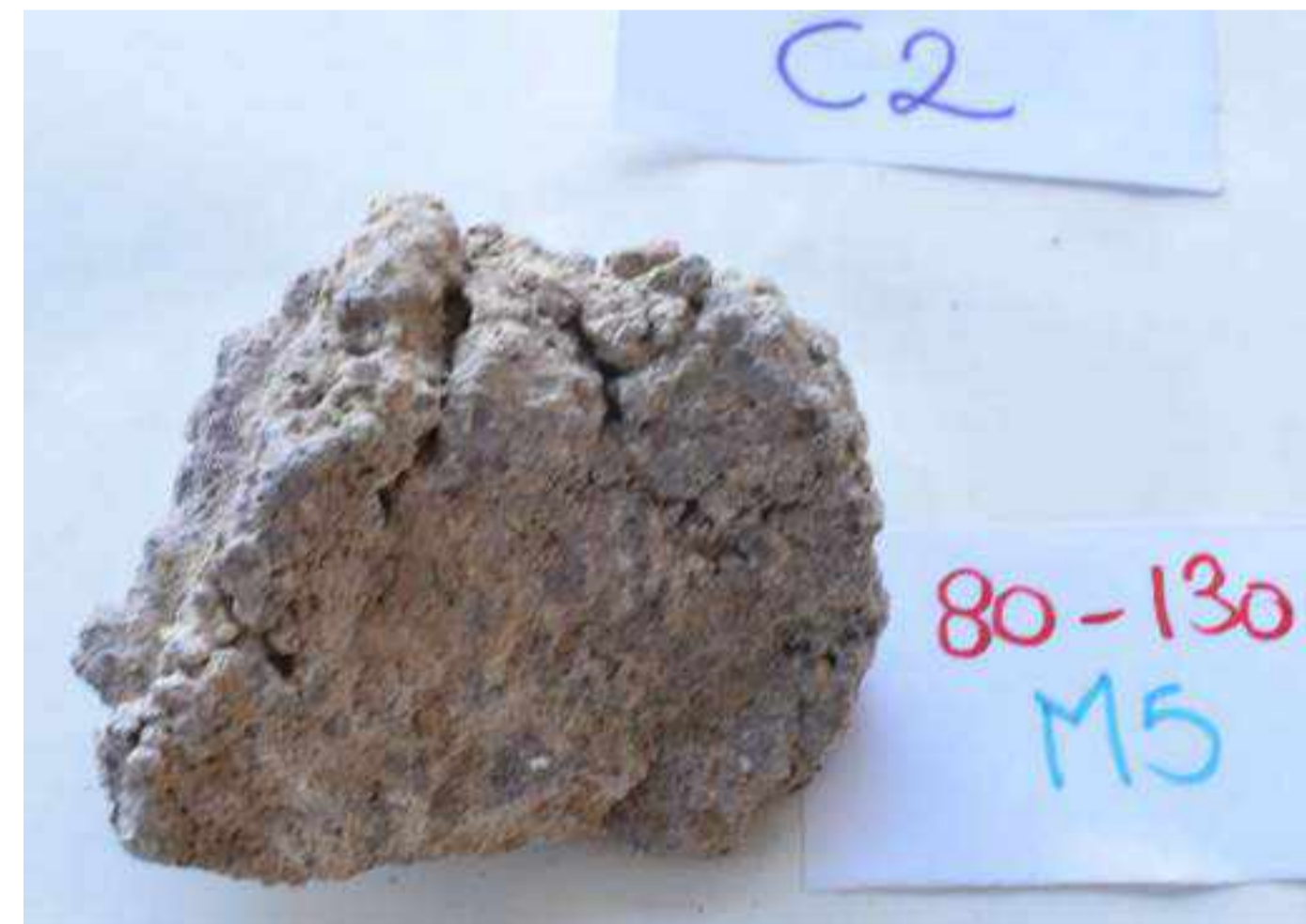


Prelievo malta_ Codice prova Ma_Pilastro C2-campione M5



Campione M5

- ❖ Ubicato nel pilastro tra le Aule IV e V
- ❖ Prelevato nel foro C2 tra 80 e 130 cm da inizio foro



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

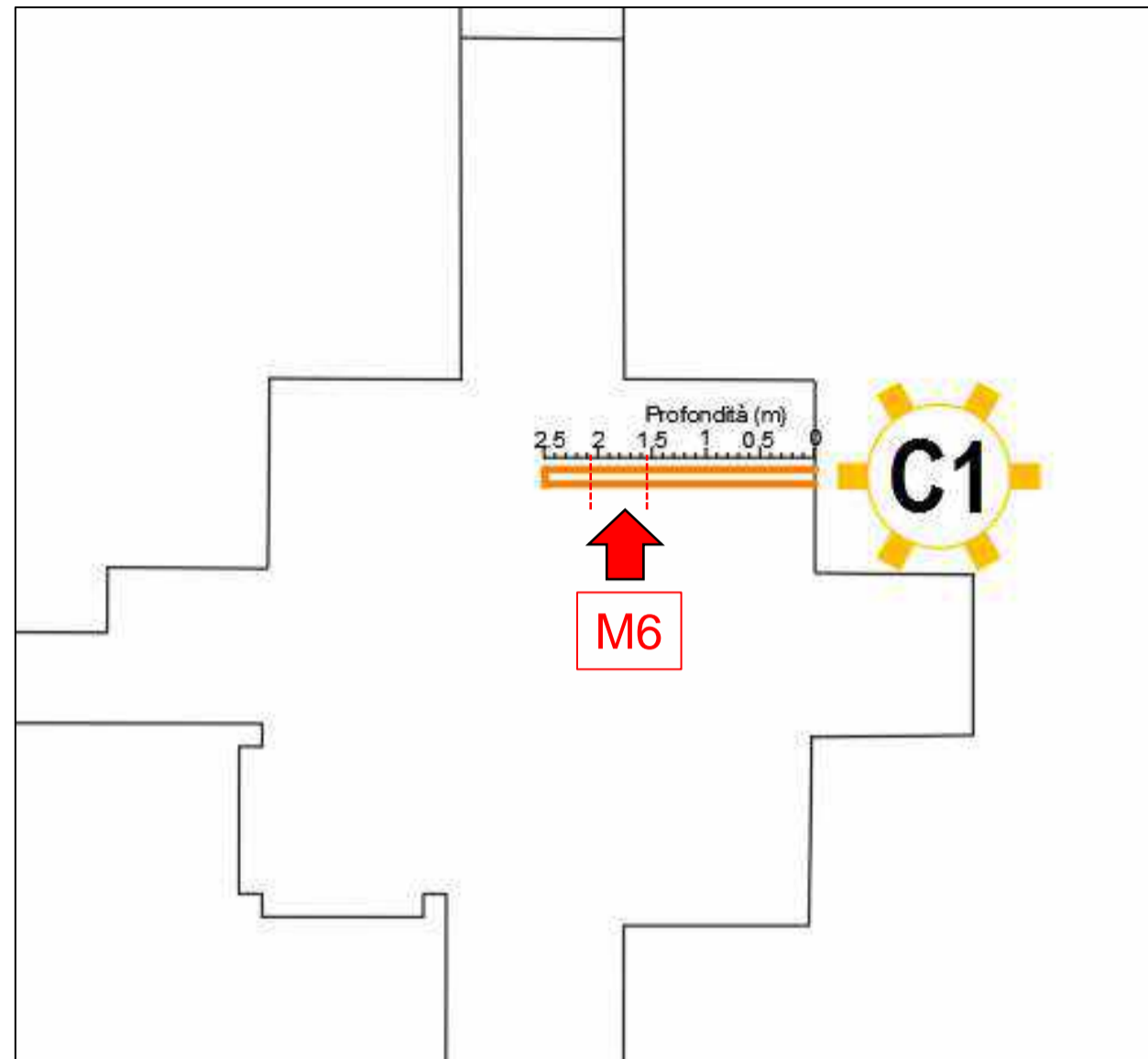
RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO **INDAGINI DIAGNOSTICHE**
Elaborato 3F_Codice prova Ma_Prelievo di malta per analisi petrografiche dai pilastri (materiale selezionato dai carotaggi) e dei microcarotaggi

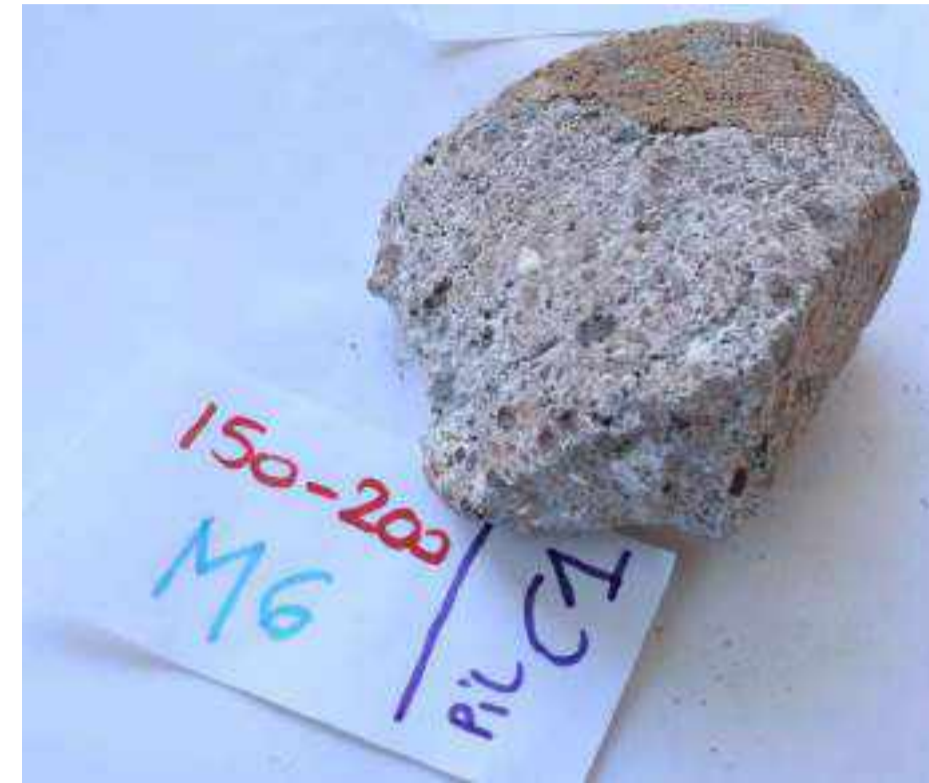
3

Prelievo malta_ Codice prova Ma_Pilastro C1-campione M6

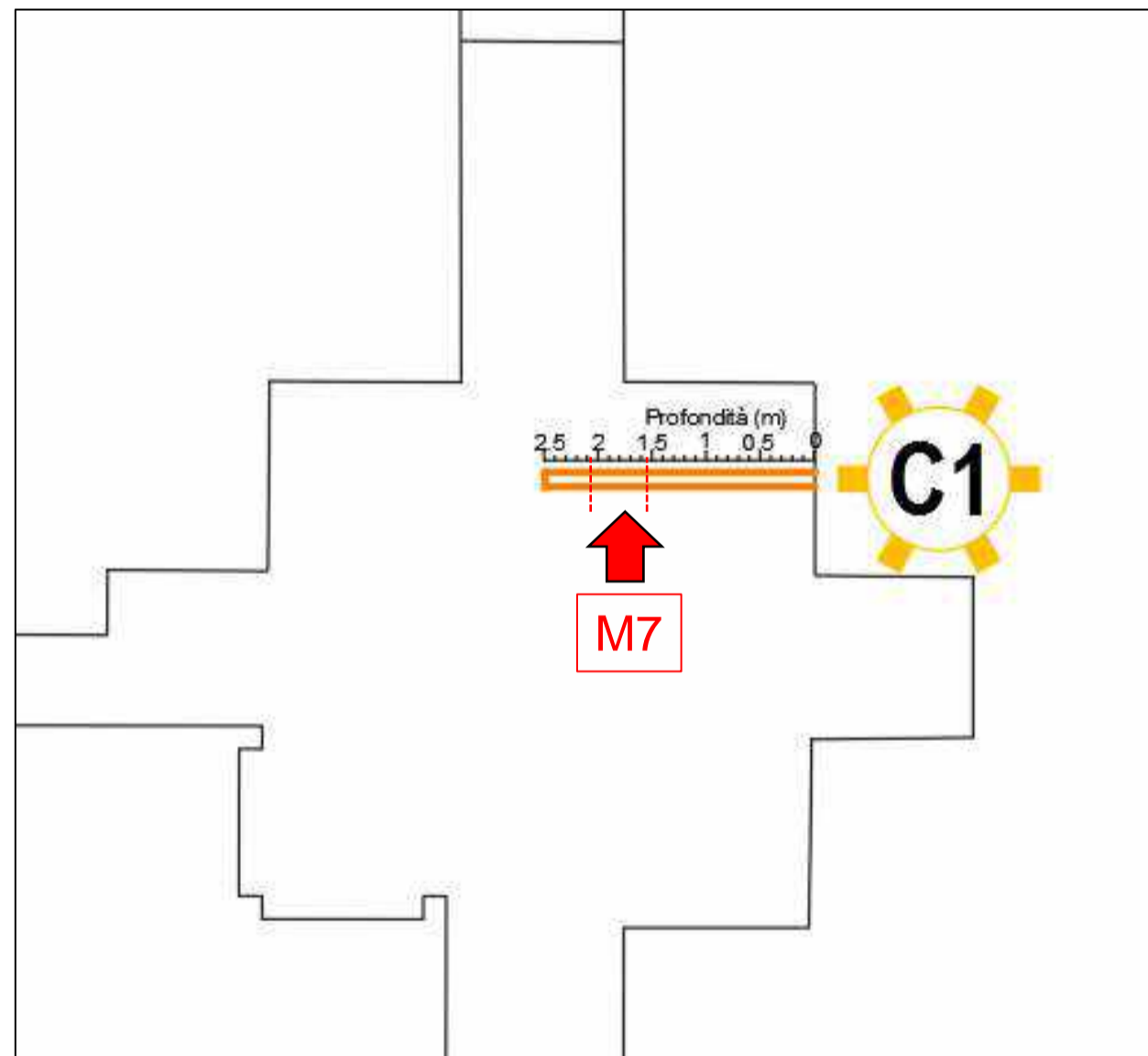


Campione M6

- ❖ Ubicato nel pilastro tra le Aule V e VI
- ❖ Prelevato nel foro C1 tra 150 e 200 cm da inizio foro



Prelievo malta_ Codice prova Ma_Pilastro C1-campione M7



Campione M7

- ❖ Ubicato nel pilastro tra le Aule V e VI
- ❖ Prelevato nel foro C1 tra 150 e 200 cm da inizio foro



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. **Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale**



SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO **INDAGINI DIAGNOSTICHE**
Elaborato 3F_Codice prova Ma_Prelievo di malta per analisi petrografiche dai pilastri (materiale selezionato dai carotaggi) e dai microcarotaggi

4

Committente:



Terme di Diocleziano - Grandi Aule

Oggetto:

INDAGINI DIAGNOSTICHE Campagna di indagini, prove e rilievi


CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Prove non invasive per la caratterizzazione delle fondazioni delle Grandi Aule e la ricerca dei cunicoli interrati, riconducibili agli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano

Tecniche: Georadar (con una verifica videoendoscopica) e Tomografia elettrica 2D e 3D

RELAZIONE TECNICA INTEGRATA

Ns. Rif.: CO-049_22_4A_codice prova GprC, 3Df e 2Df

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
1					
Ø	Ottobre 2022	Dott.Maria Giovanna Idili Dott.Agathe Crespin Dott. Nicola Ardito Dott.Geol.Enrico Benvenuti Dott.Geol.Giacomo Luciani	arch. Conservatore BCA Annalisa Morelli 	Direttore tecnico Ing. Paolo Chiara 	Emissione

INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DELLE TECNICHE UTILIZZATE	3
2.1.	Indagine Georadar GPR	3
2.1.1.	Principi di funzionamento e cenni sul metodo	3
2.2.	Indagine tomografica elettrica - ERT 2D e ERT 3D	6
2.2.1.	Principi di funzionamento e cenni sul metodo	6
2.2.2.	Configurazione delle misure per l'acquisizione dei dati 2D e 3D..	10
3.	INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO E TARATURA.....	11
4.	DESCRIZIONE DEI RISULTATI ORGANIZZATI NELLE TAVOLE GRAFICHE	15
4.1.	Sintesi e organizzazione delle tavole.....	15
4.2.	Risultati Indagine Georadar eseguite a terra (Codice prova GprC)	16
4.3.	Risultati Indagine ERT eseguite a terra (Codice prova 2Df)	33
4.4.	Risultati Indagine ERT eseguite a terra (Codice prova 3Df)	40
5.	CONCLUSIONI.....	46

1. PREMESSA

La scrivente società di ingegneria e laboratorio autorizzato per le prove sui materiali di strutture esistenti, SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l. (di seguito SOING) è stata incaricata dal Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano, di condurre una campagna di indagini, prove e rilievi per le strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano.

Il piano delle indagini è stato redatto dallo Studio SM Ingegneria S.r.l. del Prof. Claudio Modena, sulla base di quanto previsto al paragrafo C8.5.4 della Circolare n. 7 21/01/2019 per l'applicazione delle Norme Tecniche 2018, relativo ai livelli di conoscenza per le strutture in muratura. La tipologia di prove rientra nelle “**prove estese**” che prevedono *indagini visive, diffuse e sistematiche, accompagnate da approfondimenti locali. Si prevedono saggi estesi, sia in superficie che nello spessore murario (anche con endoscopie), mirati alla conoscenza dei materiali e della morfologia interna della muratura, all'individuazione delle zone omogenee per materiali e tessitura muraria, dei dispositivi di collegamento trasversale, oltre che dei fenomeni di degrado. E' inoltre prevista l'esecuzione di analisi delle malte e, se significative, degli elementi costituenti, accompagnate da tecniche diagnostiche non distruttive (penetrometriche, sclerometriche, soniche, termografiche, radar ecc) ed eventualmente integrate da tecniche moderatamente distruttive (ad esempio martinetti piatti), finalizzate a classificare in modo più accurato la tipologia muraria e la sua qualità.*

L'esecuzione delle prove ha lo scopo di fornire una accurata conoscenza a supporto della valutazione e al miglioramento delle condizioni di sicurezza strutturale delle Grandi Aule per le quali è stato incaricato il suddetto Studio.

Il complesso piano diagnostico è stato organizzato e distribuito per parti strutturali quali:

- Volte delle Aule e Copertura con capriate metalliche della Aula IV
- Catene metalliche
- Pilastrini in muratura
- Fondazioni e cunicoli sotterranei

Rispetto al piano di indagine di partenza sono state apportate alcune modifiche in corso d'opera a causa della impossibilità di accesso di alcune parti, non emersa in fase di progetto delle indagini, alla richiesta di ridurre al massimo l'impatto sulle strutture e sfruttare la massimo il materiale campionato per aumentare la quantità di prove e risultati di laboratorio sia meccanico che petrografico.

La presente relazione tecnica descrive i risultati ottenuti dalle indagini non invasive eseguite sul piano di calpestio, in particolare Georadar e Tomografia elettrica 3D e 2D. La finalità delle indagini di seguito descritte è, da una parte quella di localizzare e

verificare la presenza dei cunicoli degli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano descritti dal testo di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci, e dall'altra quella di rilevare le caratteristiche della struttura di fondazione del prospetto principale lato Stazione Termini.

La distribuzione finale delle prove eseguite è descritta nell'elaborato grafico "0_Planimetrie con posizione di tutte le prove eseguite".

Gli elaborati grafici correlati alle tecniche citate sono stati denominati:

- 4A_Codice prova GprC_Indagine Georadar a terra
- 4B_Codice prova 3Df e 3Df_indagine tomografica elettrica 3D e 2D eseguita dal piano di calpestio

In particolare le misure non invasive di tomografia elettrica 2D e 3D (ERT 2D e 3D) sono state realizzate all'interno e all'esterno delle Grandi Aule delle Terme per l'identificazione del sistema di fondazione dei grandi pilastri, il rilievo di eventuali anomalie al loro intorno e l'intersezione con i possibili cunicoli già mappati.

Mentre l'indagine non invasiva eseguita con la tecnica georadar dalla superficie di calpestio verso il sottofondo pavimentale, è stata utilizzata per l'individuazione di cunicoli e altre possibili strutture relative agli impianti tecnici delle antiche terme.

Per una opportuna taratura dei risultati sono state utilizzate le ricostruzioni stratigrafiche di sondaggi pregressi.

Con la presente relazione tecnica di sintesi si raccolgono tutte le fasi delle indagini Gpr ed ERT 2D e 3D in termini di principi di funzionamento e risultati raggiunti.

2. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO DELLE TECNICHE UTILIZZATE

2.1. Indagine Georadar GPR

2.1.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Il sistema Georadar (GPR) utilizza la riflessione delle onde elettromagnetiche per l'esplorazione degli strati superficiali nel mezzo oggetto di indagine. L'antenna emittente introduce nel volume da indagare impulsi di energia elettromagnetica di brevissima durata (nanosecondi). Quando questi impulsi incontrano un contatto tra materiali di diversa composizione, una parte dell'energia viene riflessa verso la superficie, dove viene captata tramite l'antenna ricevente, amplificata e registrata per essere visibile in tempo reale e successivamente analizzata. Nel caso dell'antenna utilizzata (v. Figura 2.1.1.1) la parte emittente e quella ricevente sono entrambe contenute nella stessa "scatola".



Figura 2.1.1.1. – Acquisizione con antenna radar da 400 MHz.

Il sistema radar può essere normalmente corredato da antenne con frequenza centrale da 40 a 2000 MHz e banda di acquisizione da 10 a 3000 MHz, raggiungendo profondità variabili a seconda del tipo di suolo/terreno/struttura e dell'antenna specifica impiegata. All'aumentare della frequenza aumenta notevolmente il potere di risoluzione verticale e orizzontale del segnale radar dentro i materiali attraversati, diminuendo la capacità di penetrazione (profondità raggiungibili).

La risoluzione verticale rappresenta la capacità di distinguere due oggetti riflettenti posti a profondità diverse ed è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda del segnale immesso nel mezzo, risultando in generale limitata dall'aumento della conducibilità elettrica del mezzo medesimo.

Utilizzando la frequenza di 2.0 GHz, la risoluzione orizzontale e quella verticale sono generalmente comprese tra 1 e 2 cm e la profondità di esplorazione massima è di 80

cm dalla superficie di trascinamento. Con frequenze minori (tipo 400-600 MHz) aumenta la profondità raggiungibile, utile in applicazioni diverse dallo studio di sezioni murarie, ma diminuisce la risoluzione orizzontale e verticale, da 4 a 10 cm.

Le antenne radar, grazie al trasduttore di posizione (encoder ottico) permettono di ubicare con estrema precisione le anomalie rilevate nelle strutture indagate.

Il risultato dell'indagine radar 2D è una sezione continua del volume di struttura/suolo indagato in cui l'ascissa corrisponde al percorso dell'antenna e l'ordinata ai tempi andata-ritorno necessari alle onde elettromagnetiche per raggiungere nel mezzo gli orizzonti o gli oggetti riflettenti; le intensità di riflessione del segnale sono rese con una "palette" di colori la cui gradazione è proporzionale all'intensità di riflessione del segnale stesso.

L'interpretazione qualitativa è normalmente facile: la correlazione tra le anomalie della sezione radar e le anomalie ricercate è immediata nella maggioranza dei casi. L'interpretazione quantitativa (l'individuazione della profondità e della esatta localizzazione in mappa a scala adeguata) richiede la determinazione della velocità media di trasmissione delle onde elettromagnetiche nel mezzo in fase di studio e della normalizzazione delle scansioni rispetto ai metri orizzontali percorsi lungo le linee.

La costante dielettrica o permittività elettrica di un mezzo è una grandezza fisica che descrive il comportamento di un materiale dielettrico in presenza di un campo elettrico. In particolare quantifica la tendenza del materiale a contrastare l'intensità del campo elettrico presente al suo interno, che semplificando in termini di applicazione alla indagine georadar, quantifica la capacità di un mezzo dielettrico di farsi attraversare da un'onda elettromagnetica. A costante dielettrica elevata corrisponde una bassa velocità di trasmissione delle onde elettromagnetiche nel mezzo e viceversa. La costante dielettrica dell'aria è 1 e la costante dielettrica dell'acqua è 81, che sono due estremi.

La rappresentazione delle ampiezze dell'impulso radar (siano esse positive o negative rispetto all'asse dei tempi) avviene per mezzo di una scala di visualizzazione secondo intensità di colori adeguata (sia per le ampiezze negative, sia per le positive). Per evidenziare i valori di ampiezza di riflessione più elevati, in questo caso è stata usata una scala come indicato nello schema A seguente:



Schema A di visualizzazione delle ampiezze radar.

Dalla acquisizione per singole sezioni 2D, secondo un sistema cartesiano XY è possibile ricostruire tutti i dati in 3D e visualizzare i dettagli delle anomalie presenti

nel terreno nelle tre direzioni, X, Y e Z, dove con Z viene indicata la profondità dal piano di calpestio.

Le indagini eseguite alle terme, a causa degli ingombri non rimovibili, sono state acquisite in 2D senza la possibilità di ripetere le sezioni secondo un passo fisso e stretto, tale da poter essere elaborati in 3D.

La profondità di ogni sezione acquisita dal piano di calpestio è riferita al piano di calpestio stesso, ovvero alla superficie sulla quale è stata spinta l'antenna collegata alla unità centrale e montata sul carrello a due ruote. Il piano di calpestio (p.c) varia da un'area all'altra, seppur di poco.

In linea generale, oltre all'utilizzo per gli scopi connessi al presente lavoro, il georadar si utilizza sia per scopi di mappatura di sottoservizi che per identificare, tra gli orizzonti, gli oggetti riflettenti individuabili all'interno del terreno o di un mezzo quale una parete di materiale lapideo o altro manufatto o muratura, tra cui:

- contatti geologici e piani di stratificazione,
- livelli di asfalto e relativi spessori; diversi strati di un rivestimento,
- piani di fratturazione,
- vuoti naturali (cavità carsiche o artificiali (condotte, gallerie etc:)),
- reperti archeologici,
- terreni di riporto (discariche, servizi interrati etc.),
- bidoni metallici e contenitori di materiali vari, mine o oggetti metallici in genere,
- tubazioni sotterranee di plastica, metallo o cemento,
- tondini di ferro in cemento armato,
- strutture archeologiche.

Una forte limitazione all'uso del georadar è dovuta alla presenza di formazioni geologiche o materiali con alta costante dielettrica e attenuazione (conducibilità elettrica elevata), le quali tendono ad assorbire, anche totalmente, gli impulsi elettromagnetici. In corrispondenza quindi, di falde acquifere superficiali o terreni ad alto contenuto di argilla, o murature molto umide, l'uso di questa tecnologia non permette di ottenere risultati adeguati oppure ne permette la loro individuazione proprio per il contrasto esistente con zone diverse da queste ultime, ma ad esse adiacenti.

Nel progetto in oggetto, l'indagine Georadar è stata realizzata su 3 tipologie di strutture: a terra, su pilastri e sulle volte.

Avendo scopi e profondità da raggiungere distinte, per ogni parte strutturale sono state usate antenne a frequenza diversa. Per i pilastri è stata usata l'antenna a doppia frequenza 300-800MHz, per le volte l'antenna da 1GHz e per il piano di calpestio 400MHz. Si tratta di antenne di produzione americana, casa costruttrice G.S.S.I. Gli strumenti di acquisizione dei dati sono stati due vista la contemporaneità di alcune fasi di indagine, SIR 3000 e SIR 4000, sempre G.S.S.I -USA.

Mediamente all'interno delle Aule, la profondità raggiunta con buona leggibilità è limitata a circa 2,2-2,5 m dal p.c.

2.2. Indagine tomografica elettrica - ERT 2D e ERT 3D

2.2.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Il metodo della tomografia elettrica si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale (ΔV) connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica "I", immessa in una diversa coppia di elettrodi, detti AB. I valori di resistività elettrica misurati (resistività apparenti ρ_a) dipendono pertanto da " ΔV " e "I" secondo la seguente relazione generale:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è in funzione, oltre che della posizione reciproca dei quattro elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K , detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica dei materiali nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente "I". In caso di utilizzo di configurazioni di misura polo-dipolo, uno degli elettrodi di corrente è fisso ed è posto ad una distanza tale da essere considerato con buona approssimazione all'infinito.

La resistività dei sedimenti è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori,
- porosità,
- salinità del fluido, se presente nei pori,
- temperatura,
- eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.),
- presenza di argilla,
- presenza di minerali particolari (ad esempio metalli pesanti, miche),
- grado di compattazione.

La relazione empirica proposta da Archie è valida per suoli avente scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s : resistività (espressa in Ohm•m) del suolo parzialmente saturo di fluido,
- ρ_f : resistività (W•m) del fluido presente nei pori,

- **S**: frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- **m**: coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- **a**: costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia: 0,62)
- **n**: coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
- **ϕ**: porosità del suolo .

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula:

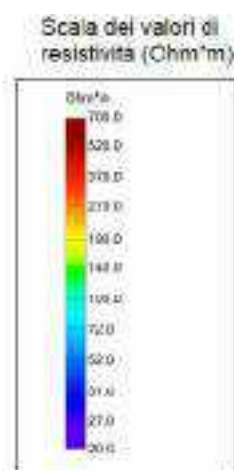
$$\rho_f = 0.0123 + 10^{(3.562 - 0.955 \log_{10} C)}$$

dove **C** è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascuno ione) di tutti gli ioni presenti.

Nel caso di presenza di argilla, i cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale sostanza offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti. Esistono relazioni semi-empiriche valide per il calcolo della resistività di sedimenti con componente argillosa non trascurabile, che non riporteremo in questo contesto.

La restituzione dei risultati avviene mettendo in evidenza settori di suolo con particolari anomalie o strutture bidimensionali e tridimensionali d'interesse. La visualizzazione con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della variazione dei valori di resistività elettrica incontrati (espressi in $\text{Ohm}\cdot\text{m}$), consente di identificare aree o volumi omogenei, caratterizzati da un medesimo colore.

Per la rappresentazione dei valori di resistività elettrica, ottenuti con metodo tomografico elettrico, è stata scelta una scala cromatica tipo "rainbow".



Schema di visualizzazione della scala di resistività ($\text{Ohm}\cdot\text{m}$) utilizzata.

Per ottenere la distribuzione reale delle resistività elettriche nel volume di sottosuolo indagato, i dati sono stati elaborati mediante un programma alle differenze finite e sottoposti ad un processo di filtraggio e inversione; per effettuare l'elaborazione, il volume di indagine è discretizzato, attraverso una modellizzazione agli elementi finiti, in celle tetraedriche con lato di larghezza pari alla metà della distanza elettrodica.

La rappresentazione dei dati consiste in immagini tomografiche bidimensionali e tridimensionali del parametro di resistività elettrica (espresso in $\text{Ohm}\cdot\text{m}$); l'inversione bidimensionale e tridimensionale è stata ottenuta mediante il sistema ERTLab Solver™ ed ERTLab Viewer™ mentre la visualizzazione definitiva dei dati è stata realizzata con software EVS™ (C-Tech, USA).

Nel caso in oggetto, per l'esecuzione delle indagini sono stati utilizzati opportuni cavi multiconduttori a 24 elettrodi assemblati tra loro secondo geometrie a 72 elettrodi (n.3 cavi) o a 96 elettrodi (n. 4 cavi). Nelle aree pavimentate interne alla struttura (v. Foto 2.2.1.1. a sinistra) sono stati utilizzati come elettrodi dei chiodi in acciaio del diametro 2 mm e di 4 cm di lunghezza, alloggiati previa realizzazione sulla pavimentazione di piccoli fori di diametro 3 o 4 mm.

Nelle aree esterne adibite a verde (v. Foto 2.1.1.1. a destra), ogni elettrodo (picchetto in acciaio inox di 25 cm di lunghezza e del diametro da 6 mm) è stato infisso nello strato superficiale per una profondità media di 10-15 cm dal piano campagna.



Figura 2.2.1.1.: Elettrodi, morsetti e cavi conduttori utilizzati per la realizzazione della tomografia elettrica 3D (a sinistra) e 2D (a destra) alle Terme di Diocleziano.



Figura 2.2.1.2.: Dettaglio della grandezza dei chiodi usati all'interno delle Aule

La strumentazione adottata (Syscal Pro switch 96 a commutazione concentrata, prodotto da IRIS Instruments, Francia), permette di eseguire misure di alta precisione, con correnti indotte fino ad oltre 2 Ampere, con automatica compensazione del potenziale spontaneo (caduta di tensione esistente tra due poli in assenza di trasmissione, e spesso fortemente variabile nel breve tempo).

Il Syscal-Pro, rispetto ai resistivimetri di più classica concezione, ha la possibilità di ricevere su 10 coppie di elettrodi contemporaneamente, abbattendo di un ordine di grandezza il tempo necessario per l'acquisizione.

Nella Foto 2.2.1.3., oltre al Resistivimetro digitale Syscal-Pro96, è visibile la stazione totale robotizzata Leica modello TS15 utilizzata per il rilievo degli elettrodi di misura impiegati nelle fasi di acquisizione dei dati di tomografia elettrica 2D e 3D.



Figura 2.2.1.3: Resistivimetro digitale Syscal-Pro96 e stazione totale TS15 in fase di acquisizione dati di tomografia elettrica 2D.

2.2.2. Configurazione delle misure per l'acquisizione dei dati 2D e 3D

Al fine di valutare al meglio l'ubicazione e la profondità di posa del sistema di fondazioni della struttura, comprese le eventuali anomalie presenti, sono stati acquisiti n. 3 profili 2D ed un blocco 3D di tomografia elettrica.

Le geometrie di acquisizione 2D utilizzate sono state diverse, studiate e mirate per avere sia il dettaglio in superficie che in profondità. I dati di resistività così raccolti sono stati invertiti ed elaborati per ogni linea in un unico processo che ha consentito di indagare fino a 15 m e 12 m dal piano di calpestio rispettivamente a mezzo delle linee ERT2D "A" e le ERT2D "B" e "C".

I profili 2D sono stati disposti in modo da abbracciare sia le zone di fondazione della struttura che buona parte del parco alberato circostante.

La Linea A, eseguita a 96 elettrodi, attraversa le Aule III, II ed I e si protrae all'esterno del lato Sud-Est nei giardini.

La Linea B attraversa le Aule V e IV, interseca la Linea A nell'Aula I e fuoriesce anch'essa nei giardini in direzione Sud-Ovest.

La Linea C è stata allestita in modo da attraversare le Aule VII, VI, V ed uscire all'esterno anch'essa in direzione Sud-Est.

Per l'indagine ERT 3D a terra, gli elettrodi sono stati posizionati, sia all'interno che all'esterno, nell'intorno dei tre pilastri situati lungo il lato Sud-Est, tra le Aule I, IV e V del complesso monumentale.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE DI RIFERIMENTO E TARATURA

Nei giardini delle Terme di Diocleziano prospicienti Piazza della Repubblica sono stati eseguiti in passato n.3 sondaggi a carotaggio continuo denominati S1, S2 ed S3.

Da quanto si evince dal documento redatto dal Dott. Geol. Carlo Rosa, intitolato "indagini geologiche al complesso termale di Diocleziano" i sondaggi S2 ed S3 realizzati nel 2015 hanno raggiunto rispettivamente le profondità di 20 m e 10 m dal piano campagna. L'SG1 eseguito nel 2010 è stato spinto fino alla profondità di 50 m dal piano campagna.

Le posizioni dei tre punti di sondaggio rispetto alle indagini elettriche eseguite sono riportate nella Figura 3.1.

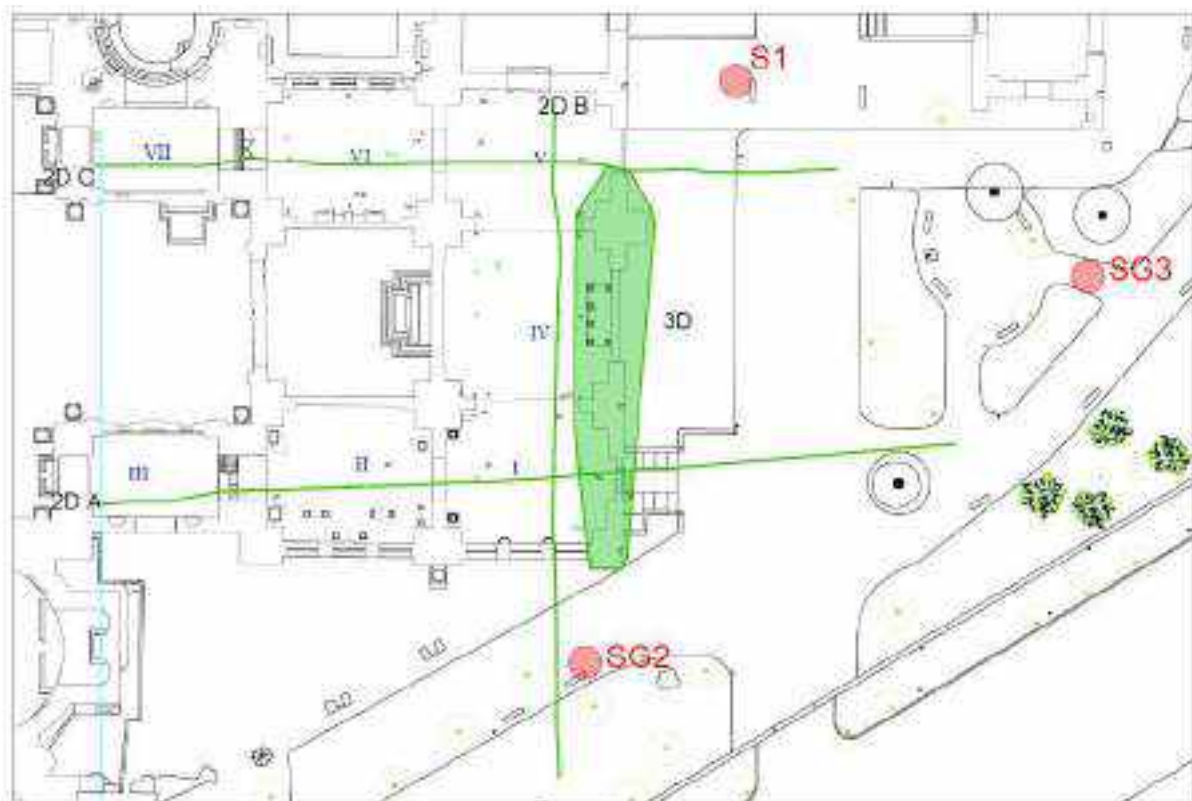


Figura. 3.1: Ubicazione dei sondaggi di taratura S1, SG2 ed SG3 e delle indagini ERT 2D e 3D.

Nelle Figura 3.2, 3.3 e 3.4 sono riportati gli estratti delle ricostruzioni stratigrafiche ottenute dai tre sondaggi, relativi ai primi 10-12 metri di profondità dal piano campagna.

STRATIGRAFIA

SCALA 1:50 Pagina 1/5

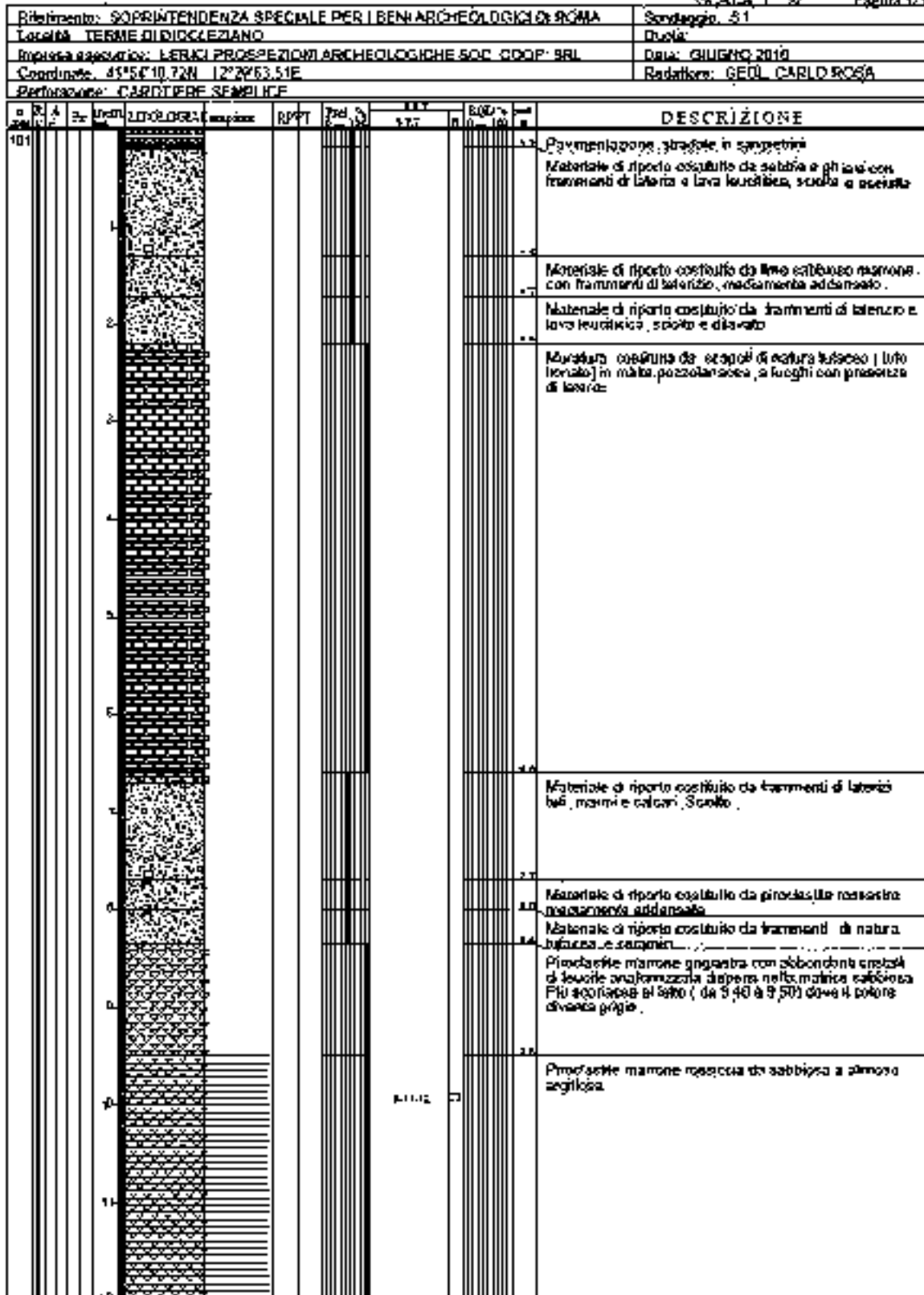


Figura. 3.2: Stratigrafia del sondaggio S1 entro i primi 12 m dal piano campagna.

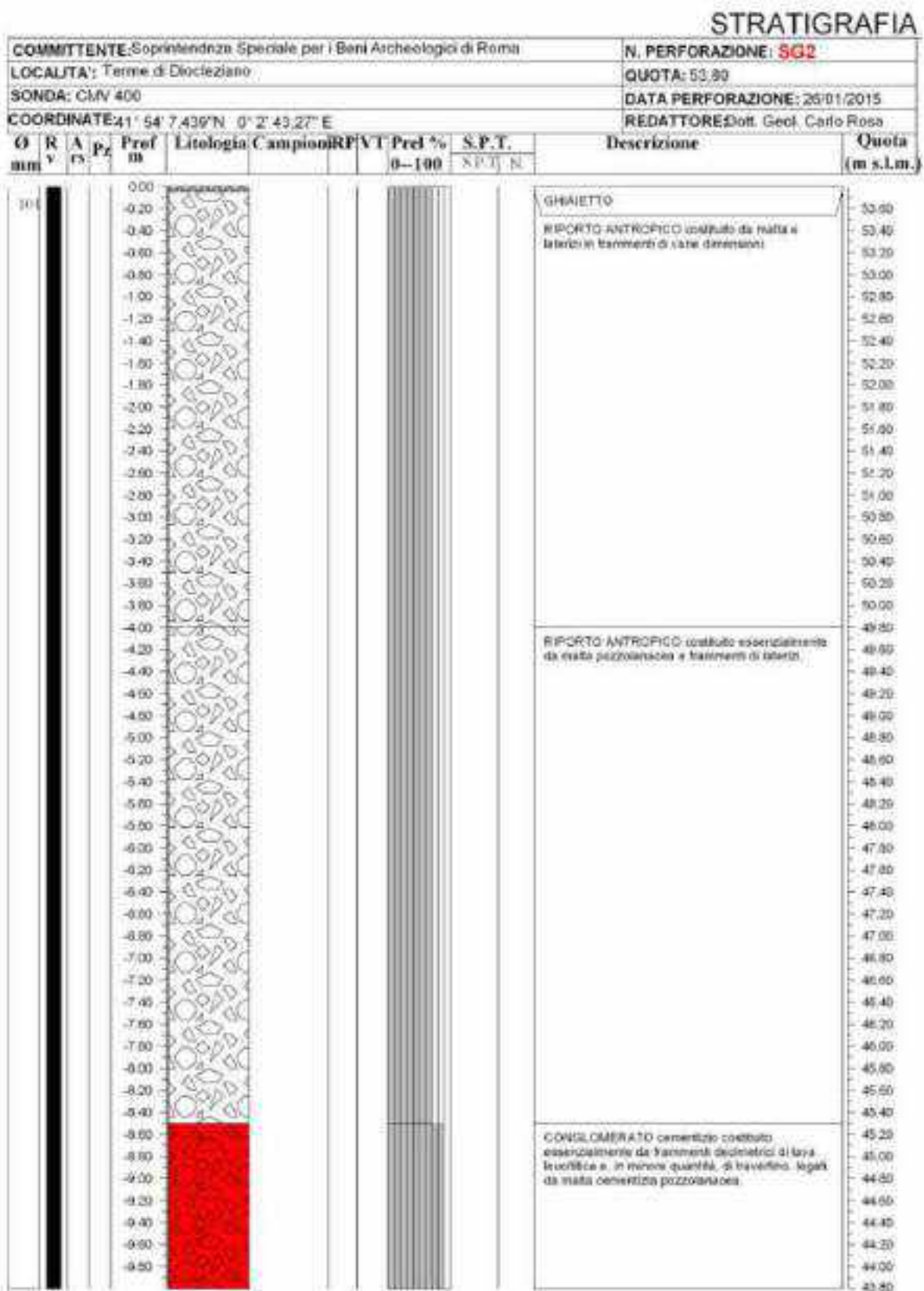


Figura. 3.3: Stratigrafia del sondaggio SG2 entro i primi 10 m dal piano campagna.

STRATIGRAFIA

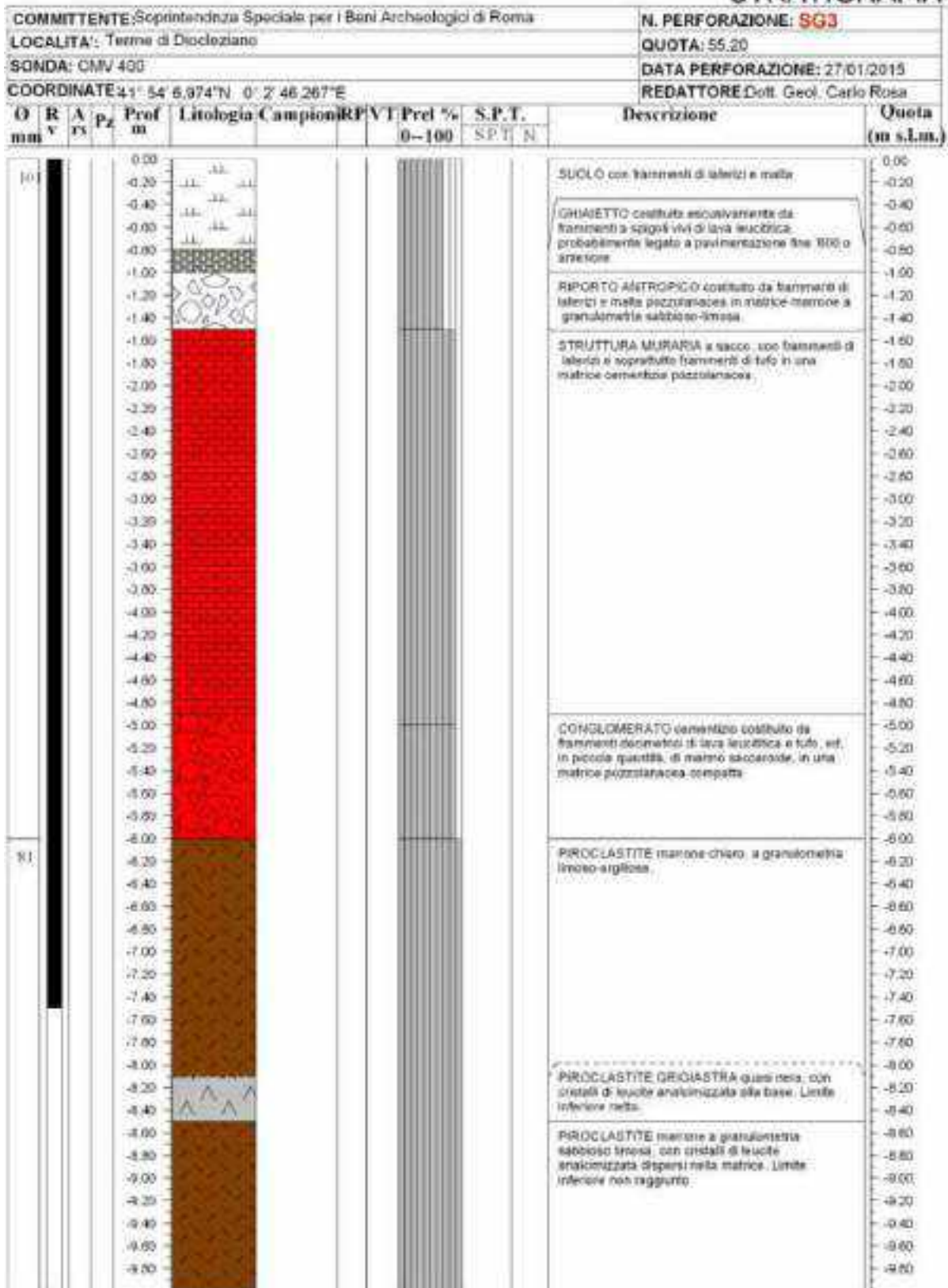


Figura. 3.4: Stratigrafia del sondaggio SG3 entro i primi 10 m dal piano campagna.

4. DESCRIZIONE DEI RISULTATI ORGANIZZATI NELLE TAVOLE GRAFICHE

I risultati delle indagini diagnostiche eseguite sono descritti nelle tavole grafiche degli Elaborato 4A_Codice prova GprC_Indagine Georadar e 4B_ Codice prova 3Df-2Df_Indagine ERT e riassunti nel presente documento tecnico.

L'Allegato 4A_Codice prova GprC_Indagine Georadar è composto da n.8 Tavole in formato A2 mentre l'Allegato 4B_ Codice prova 3Df2Df_Indagine ERT contiene n.4 Tavole anch'esse in formato A2.

4.1. Sintesi e organizzazione delle tavole

All'interno dell'Elaborato grafico 4A_Codice prova GprC_Indagine Georadar, le Tavole da 1 a 7 sintetizzano i risultati dell'indagine radar rispettivamente eseguite nelle 7 Aule. Nella Tavola 8 viene riportata una sintesi delle anomalie individuate poste in correlazione con i cunicoli di scarico e di adduzione noti sulla base dell'articolo "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci.

All'interno dell'Elaborato grafico 4B_ Codice prova 3Df-2Df_Indagine ERT, le Tavole 1 e 2 sintetizzano i risultati dell'indagine ERT 2D mentre nelle Tavole 3 e 4 sono riportati i risultati delle indagini ERT 3D.

4.2. Risultati Indagine Georadar eseguite a terra (Codice prova GprC)

I dati radar sono stati acquisiti su diverse aree di indagine corrispondenti alle 7 Aule delle Terme di Diocleziano.

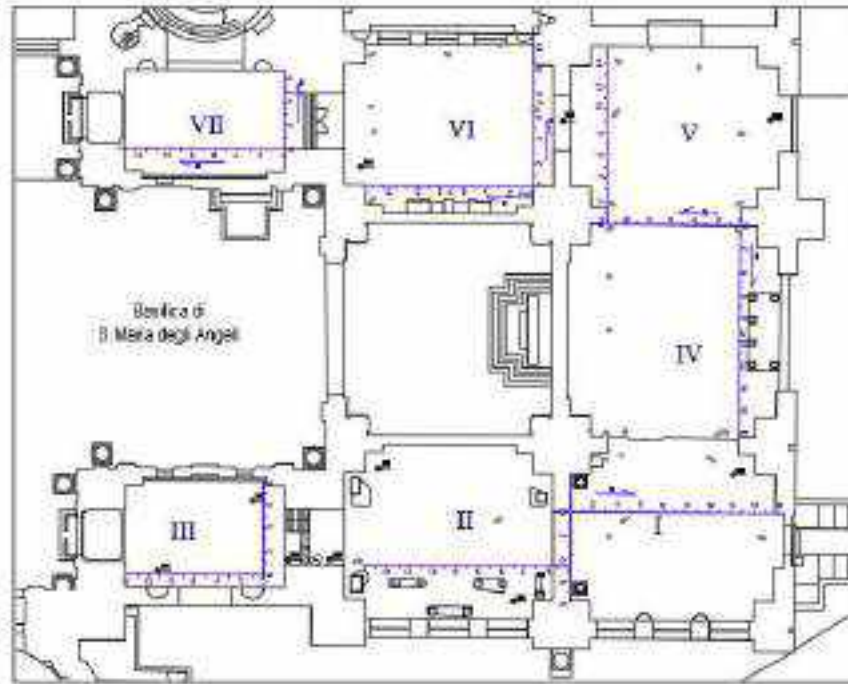


Figura 4.2.1 – Planimetria con ubicazione delle aree di indagine. Per ognuna è stato creato un sistema di riferimento cartesiano per la localizzazione delle singole sezioni. Ogni sezione ha una posizione data da coordinate X, Y rispetto al proprio sistema interno Aula per Aula.

Nelle Aule essendo presenti numerosi ingombri a terra, non è stato possibile eseguire una copertura radar totale tale da poter elaborare i dati in 3D.

Per ogni area nell'Allegato sono riportate alcune fotografie in cui si possono apprezzare i vari ingombri che hanno impedito il passaggio della strumentazione GPR. In generale sono state quindi acquisite sezioni GPR 2D seguendo un sistema cartesiano XY necessario per un riposizionamento corretto delle sezioni (v. Figure 4.2.1 e 4.2.2). Ciascuna area (dalla Aula I alla Aula VII) ha il suo proprio sistema di riferimento sul piano di calpestio.

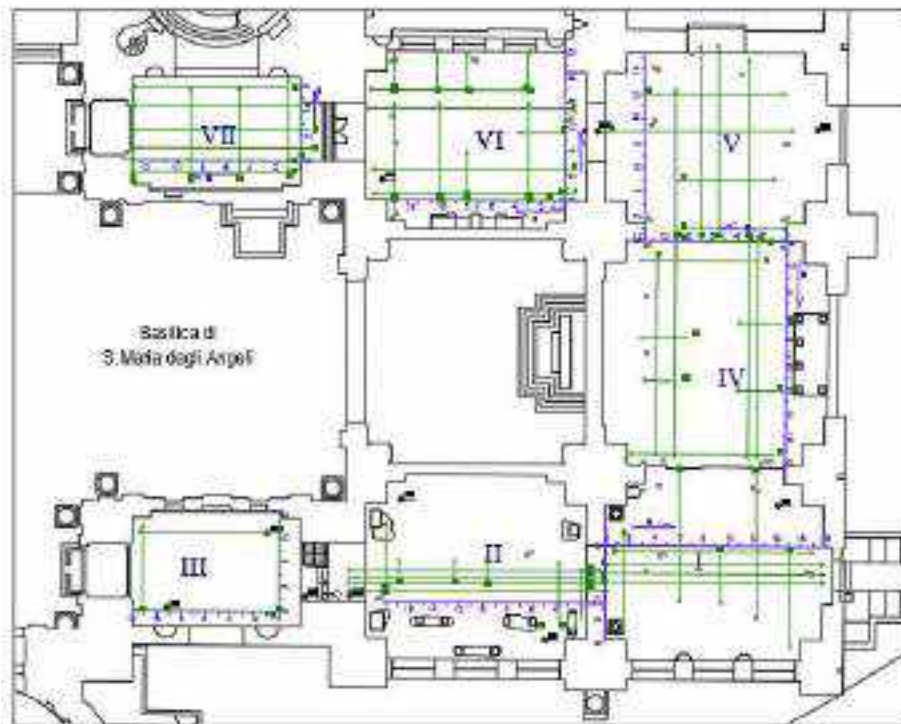


Figura 4.2.2 – Planimetria con ubicazione all'interno delle aree di indagine delle sezioni GPR acquisite (in verde).

Lo scopo principale dell'indagine GPR è stato quello di verificare e mappare i cunicoli di scarico e di adduzione presenti nel sottosuolo, descritti nel testo "Gli Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" (di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci); I cunicoli descritti dai due autori sono suddivisi in 3 tipologie: accertati, probabili e dubbi.

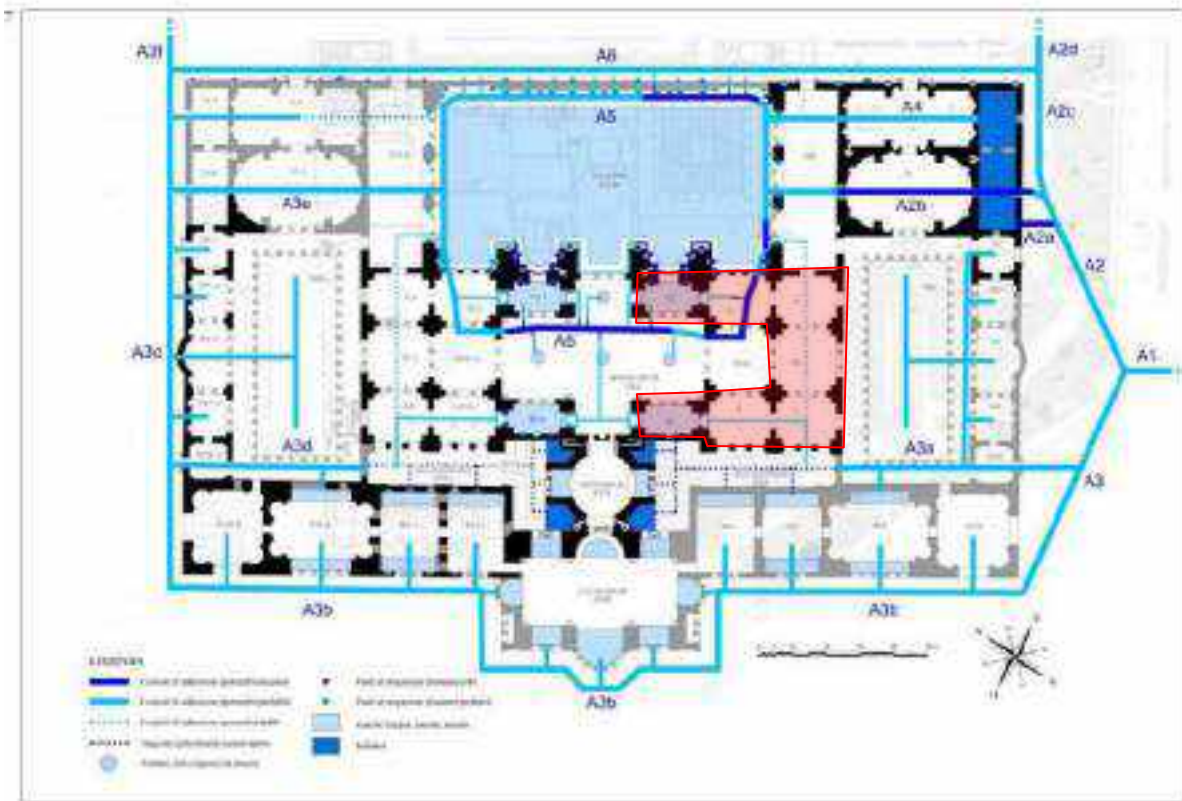


Figura 4.2.3 – Mappa dei cunicoli di adduzione delle Terme di Diocleziano con l'impronta della zona di indagine
(Fonte "Gli Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci)

Gli autori, nell'articolo, asseriscono che ulteriori cunicoli, differenti da quelli idrici, sono presenti al di sotto del piano calpestabile ma non hanno fornito alcuna planimetria.

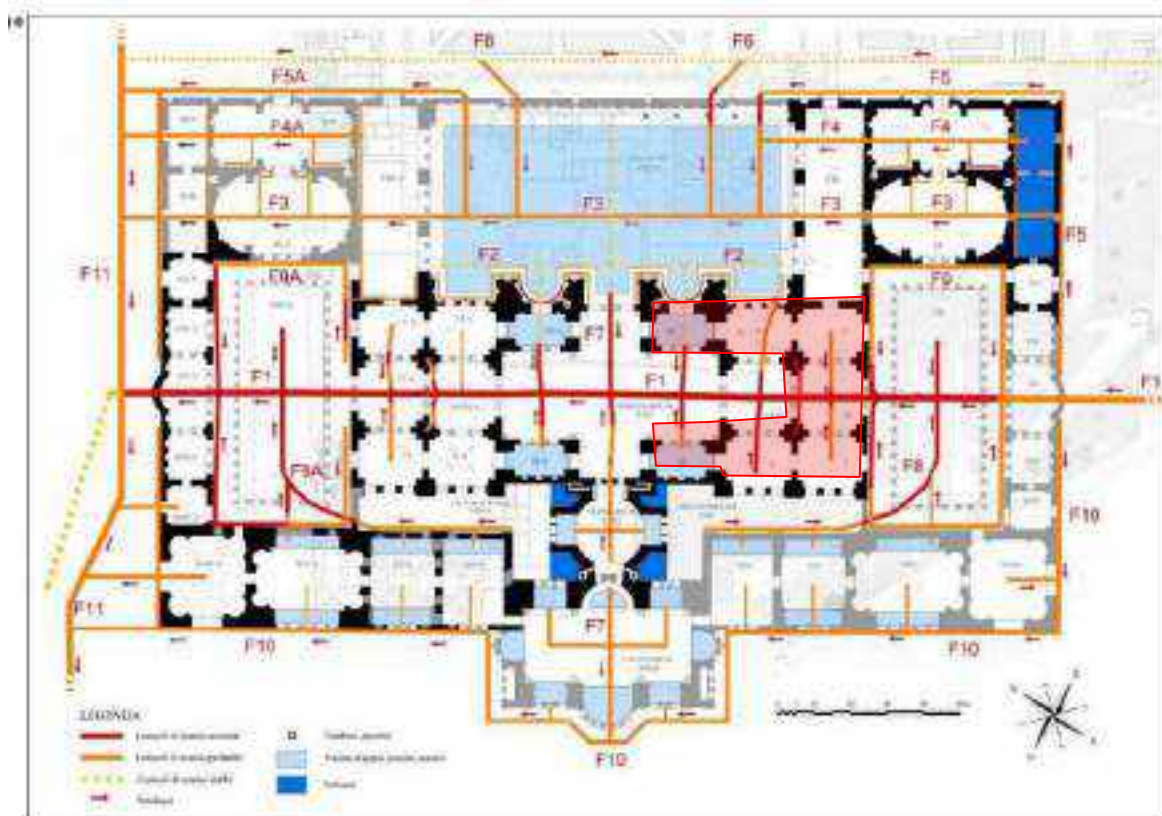


Figura 4.2.4 – Mappa dei cunicoli di scarico delle Terme di Diocleziano con l'impronta della zona di indagine
(Fonte "Gli Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci)

Dall'articolo si evince che alcuni di questi cunicoli presentano un intradosso a circa - 1.2 m dal p.c., con un intradosso a doppio spiovente o voltato.

Non ci sono profondità note per la zona di nostro interesse.

Le due mappe dei cunicoli di adduzione e scarico sono state digitalizzate usando lo stesso codice colore dell'articolo al fine di poter confrontare i risultati dell'indagine Georadar con i dati storici.

<u>cunicoli di scarico</u>	<u>cunicoli di adduzione</u>
— accertati	— accertati
— probabili	— probabili
- - - dubbiosi	- - - dubbiosi

Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano"
di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

Figura 4.2.5 – legenda utilizzata per digitalizzare i cunicoli tratti dal testo Lombardi, Santucci.

Per ogni area indagata le anomalie individuate sono state sovrapposte a queste planimetrie ed in ogni Tavola sono state riportate esclusivamente le sezioni 2D di interesse, perché contenenti anomalie utili al raggiungimento dell'obiettivo richiesto.

Le principali anomalie rilevate sono state analizzate e suddivise in diverse categorie in base alla riflessione del segnale Georadar, come descritto in legenda negli allegati e riportato di seguito.

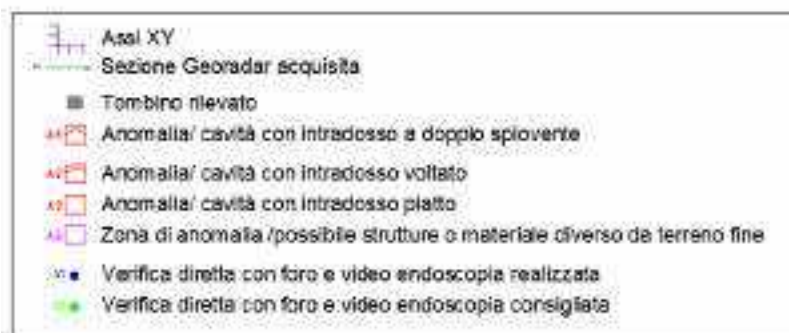


Figura 4.2.6 – Legenda per la distinzione delle anomalie rilevate

I sottoservizi di recente realizzazione sono stati indicati sulle sezioni 2D GPR ma non facendo parte dello scopo del lavoro, non è stata riportata in planimetria la loro posizione.

Le anomalie principali sono di due tipologie, distinte in base alla riflessione del segnale Georadar.

Le anomalie segnate di rosso sono da attribuire a zone di cavità, che, in base alla forma dell'intradosso, sono state suddivise in 3 categorie:

- Cavità / struttura vuota con intradosso a doppio spiovente
- Cavità / struttura vuota con intradosso voltato
- Cavità / struttura vuota con intradosso piatto

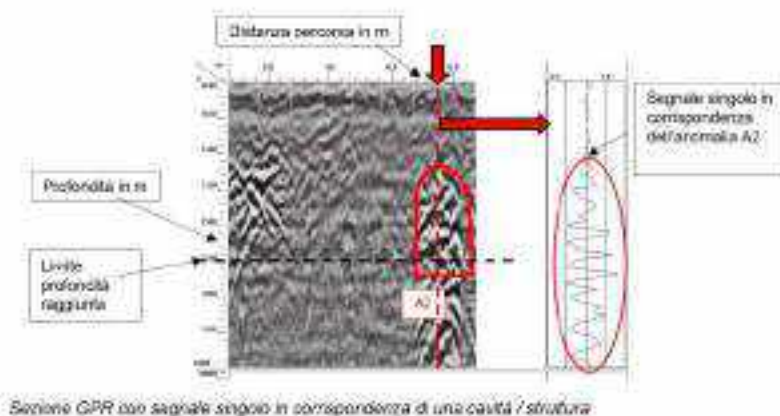


Figura 4.2.7 – Esempio di sezione 2D con passaggio su anomalia riconducibile ad una cavità

Al fine di ubicare le anomalie individuate in profondità, si fa riferimento alla profondità dell'intradosso, ovvero della zona di contrasto tra la fine della volta e il vuoto sottostante, che corrisponde al punto di maggiore riflessione, generalmente ben riconoscibile.

Le anomalie segnate di colore magenta corrispondono a zone di interpretazione più incerta. Potrebbero essere strutture parzialmente crollate oppure zone caratterizzate da un materiale di riporto diverso dal terreno fine.

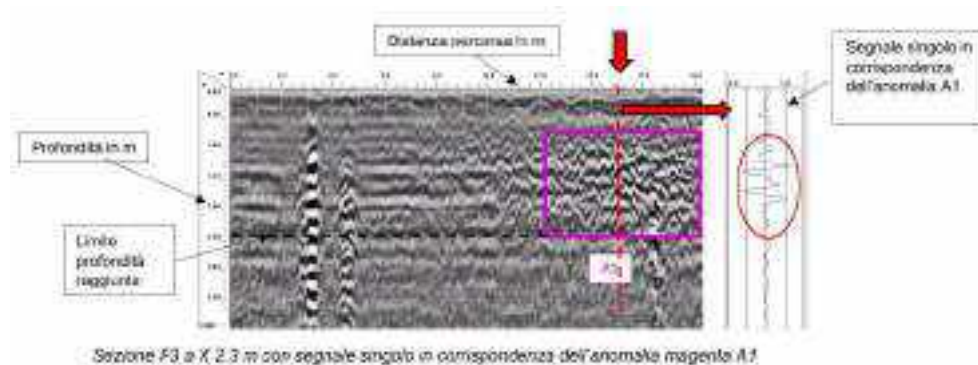


Figura 4.2.8 – Esempio di sezione 2D con individuata una anomalia non interpretabile come cavità ma probabilmente come discontinuità nel riporto o come struttura localizzata non vuota

Nella Figura 4.2.9, estratta dalla Tavola 1 dell'allegato grafico e riportata di seguito, la planimetria dell'Aula I riporta le tracce delle sezioni radar con linee di colore verde e le anomalie A1 e A2 individuate dall'elaborazione dei dati acquisiti.

Nella medesima figura sono inoltre riportate le tracce dei cunicoli noti sulla base di quanto riportato nell'articolo "Gli Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci, mantenendo i colori per distinguere adduzione e scarico (sempre più profondo e non rilevato dalle indagini radar).

Nella Figura 4.2.10 sulle Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m sono evidenziate le anomalie A1 e A2.

L'anomalia A1 corrisponde ad una zona di dimensioni 6 m x 3.8 m in cui il sottosuolo appare disomogeneo e riflettente rispetto ad una situazione di "normalità" con materiale fine e umido. Potrebbe trattarsi di una struttura antica oppure semplicemente di una zona caratterizzata da un materiale di riporto o riempimento diverso da quello dominante.

L'anomalia A2 indica una zona di cavità o struttura voltata. A causa degli ingombri presenti nell'Aula I, un'unica sezione GPR ha intercettato questa zona. Perciò, non è possibile stimarne la lunghezza, ma al contrario, la larghezza è stimata in 1.8 m.

L'intradosso, ovvero il contatto tra volta e vuoto, è stimato a 1 m dal piano di calpestio.

Dalla mappa dei cunicoli, quest'anomalia non ricade su nessuno dei passaggi noti e cartografati. Non avendo l'estensione totale della struttura, potrebbe trattarsi di un ulteriore canale -condotto oppure di un'eventuale sepoltura.

Nell'Aula I sono presenti due cunicoli, uno probabilmente di scarico (segnato in arancione) e uno di probabile adduzione (segnato in ciano). In corrispondenza di essi, sebbene siano state acquisite sezioni GPR sia longitudinali che ortogonali, non è stata individuata alcuna struttura. Salvo che l'area denominata A1 possa essere collegata ad una zona di proseguimento di uno dei due condotti e risultare riempita di terra e fango, oltre magari ad avere magari la volta crollata. Nella stessa posizione sono inoltre di interesse le anomalie della indagine ERT in seguito descritte.



Figura 4.2.9 – Planimetria dell'Aula I con sezioni GPR, anomalie di interesse e le tracce dei cunicoli noti.

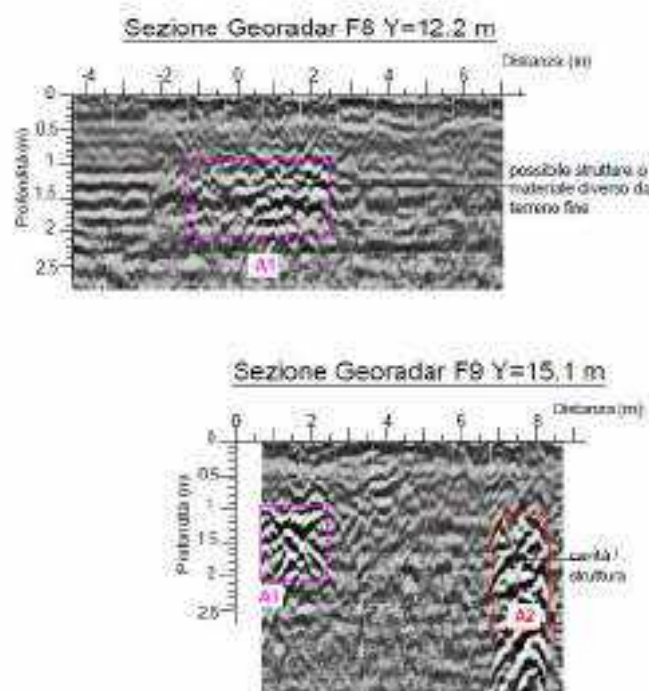


Figura 4.2.10 – Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m con evidenziate le anomalie A1 ed A2.



Figura 4.2.11 – Planimetria dell'Aula II con sezioni GPR e con sovrapposte le anomalie di interesse e le tracce dei cunicoli noti, in ciano e rosso.

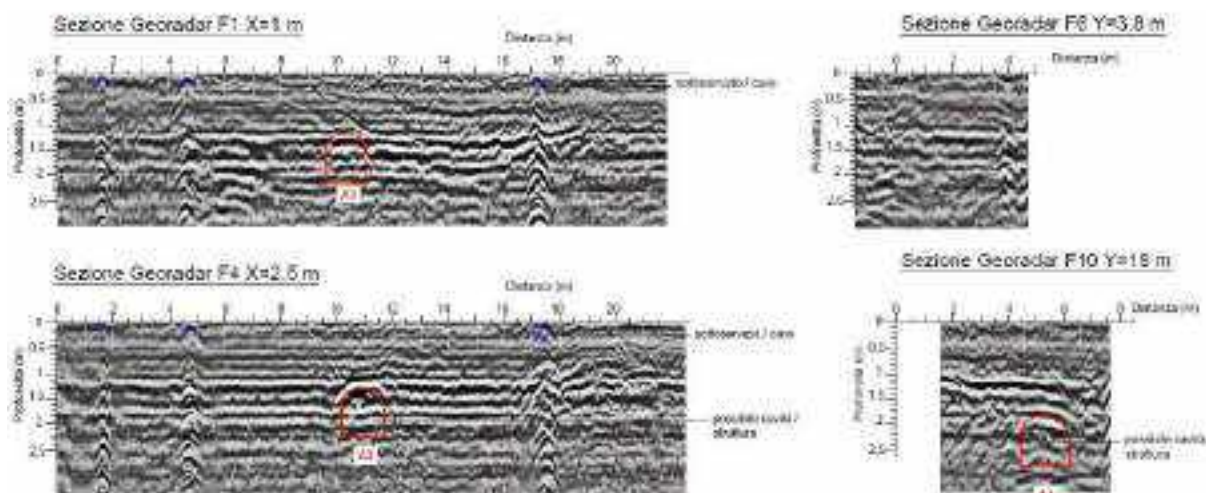


Figura 4.2.12 – Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m con evidenziate le anomalie A3 ed A4.

Nella Figura 4.2.11, estratta dalla Tavola 2 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula II, sono riportate le tracce delle sezioni radar con linee di colore verde e le anomalie A3 ed A4 poste nuovamente a confronto con le tracce dei cunicoli noti.

A causa dei numerosi reperti antichi presenti è stato possibile analizzare solo una ridotta porzione della Aula II.

Nella Figura 4.2.12 le Sezioni Georadar F1 X=1 m, F4 X=2,5 m e F10 Y= 18 m riportano sopra l'indicazione delle anomalie A3 ed A4.

L'anomalia A3 ha un intradosso a circa 1.3 m dal p.c. Essa è stata individuata su tutte le sezioni 2D parallele all'asse Y; la sua estensione non è nota in tutte le direzioni ma eventualmente valutabile in quanto ricade su un cunicolo di scarico noto.

La A4 è più profonda della A3 avendo un intradosso a 1.8 m dal p.c. Essa è ubicata nella zona di incrocio tra il cunicolo di scarico accertato ed il cunicolo di adduzione probabile in mappa. L'anomalia A4 è stata intercettata da un'unica sezione 2D quindi anche in questo caso non è possibile valutare l'estensione della struttura vuota. Presenta una larghezza di circa 1.3 m e non ricade su nessun cunicolo noto.

Le due anomalie individuate A3 e A4 sono della stessa natura e dimensioni ma non presentano lo stesso orientamento.

Lungo le Sezioni Georadar F1 X=1 m e F4 X=2,5 m, in superficie sono state inoltre individuate anomalie indicanti la presenza di sottoservizi o cavidotti.

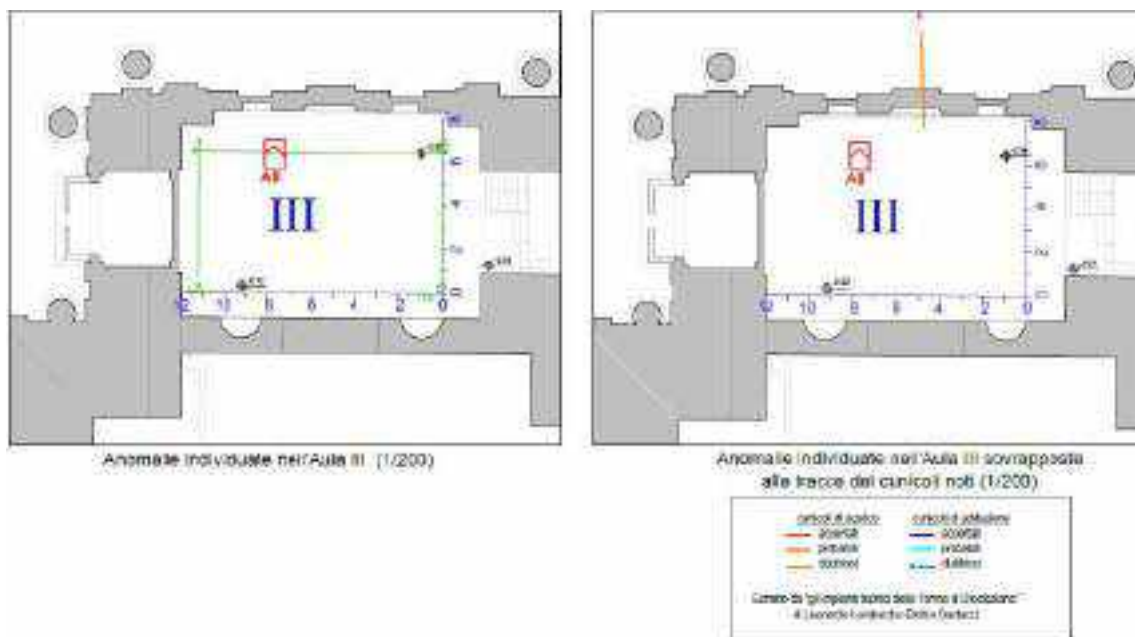


Figura 4.2.13 – Planimetria dell'Aula III con sezioni GPR, le zone di anomalia di interesse e le tracce dei cunicoli noti.

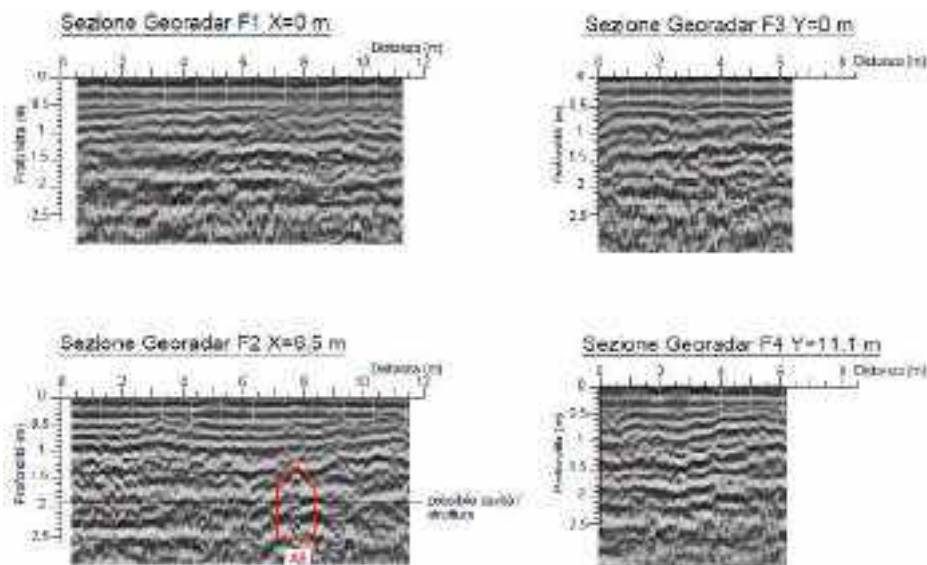


Figura 4.2.14 – Sezioni Georadar F1 X=0 m, F3 Y=0 m ed F4 Y=11,1 m con evidenziata l'anomalia A8.

Nella Figura 4.2.13, estratta dalla Tavola 3 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula III, oltre alle tracce delle sezioni radar con linee di colore verde è riportata una unica anomalia individuata denominata A8. La medesima non trova corrispondenza con le tracce dei cunicoli noti.

Nell'Aula III a causa della presenza di numerosi ingombri, sono state acquisite soltanto 4 linee Georadar parallele alle pareti.

Nella Figura 4.2.14 sulle Sezioni Georadar F1 X=0 m, F3 Y=0 m ed F4 Y=11,1 m non sono state individuate anomalie. Al contrario, lungo la Sezione F2 X=6,5 m è presente una zona anomala denominata A8 non facente parte delle strutture o cunicoli noti. Si tratta di una piccola zona di cavità con probabilmente un intradesso a doppio spiovente a circa 1.3 m dal p.c. Anche in questo caso, solo la larghezza (pari a 1.3 m) è ben stimabile.

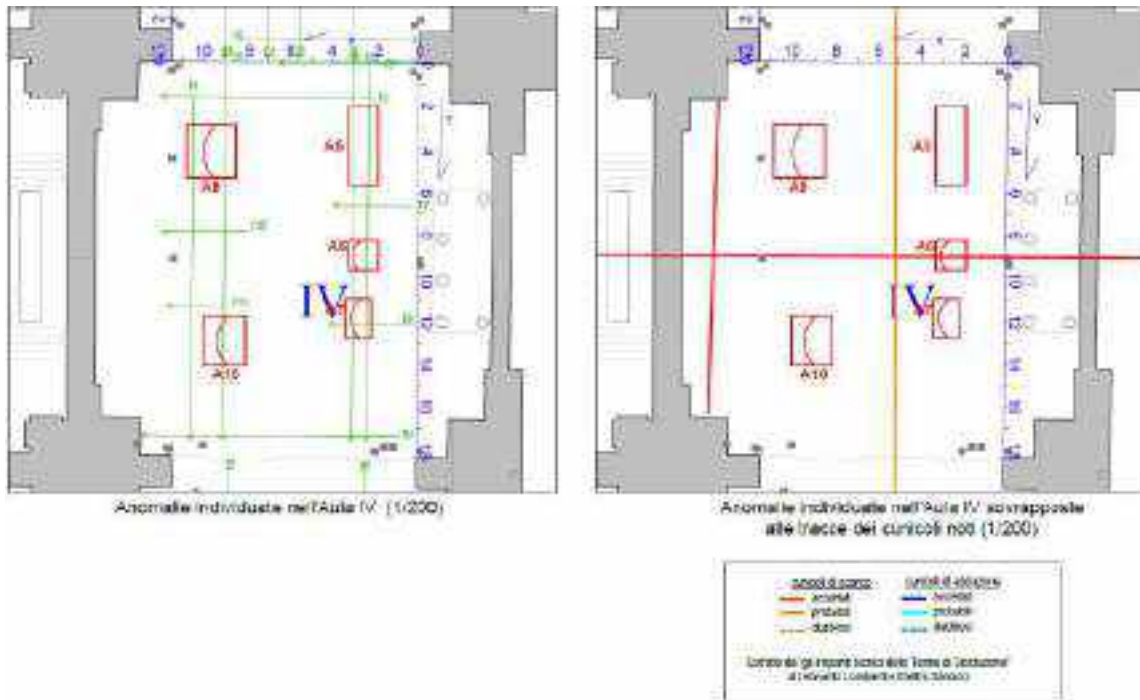


Figura 4.2.15 – Planimetria dell'Aula IV con sezioni GPR e con sovrapposte le anomalie rilevate e le tracce dei cunicoli noti.

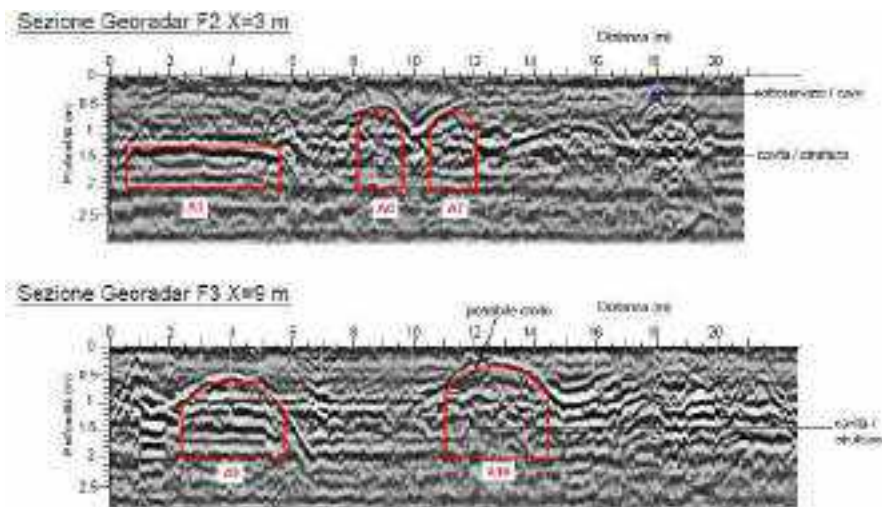


Figura 4.2.16 – Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m con evidenziate anomalie di interesse A5, A6, A7, A9 ed A10.

Nella Figura 4.2.15, estratta dalla Tavola 4 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula IV, sono riportate le tracce delle sezioni radar opportunamente numerate. Non è stato possibile caratterizzare il sottosuolo nella parte centrale dell'Aula a causa degli ingombri presenti. Sebbene non sia stato possibile effettuare una copertura totale della stanza sono state evidenziate n.5 anomalie, denominate A5, A6, A7, A9 e A10, associabili a strutture vuote o semi vuote.

L'anomalia A5 molto estesa è più incerta rispetto alle altre individuate in quanto la sua forma appare meno definita. Presenta un intradosso a -1.2 m dal p.c.

Le anomalie A6 e A7 sono molto simili sia in termini di forma che di dimensioni (larghezza 1.5-1.8 m); la profondità dell'intradosso è a -0.65 m dal p.c.

L'anomalia A6 ricade in corrispondenza del cunicolo principale di scarico accertato (chiamato F1 in planimetria). Vista la profondità dell'intradosso dell'anomalia A6, stimata a -0.65 m dal p.c., è molto probabile che si tratti di un ulteriore canale sovrastante al "F1". Dall'articolo citato sembrerebbe che il cunicolo chiamato F1 sia più profondo. Nelle indagini di tomografia elettrica comunque questo condotto F1 è stato ben rilevato e in seguito sarà descritto.

L'anomalia A9 si presenta con una volta di maggiori dimensioni rispetto alle strutture individuate fino ad ora; la sua larghezza è stimata a circa 2.5 m. Vista la sua ubicazione potrebbe essere collegata all'anomalia A5 anche se presentano profondità di intradosso ben diverse.

Infine, L'anomalia A10 individuata, relativamente superficiale e con intradosso a -0.25 m, non sembra proseguire in quanto è stata individuata esclusivamente sulla sezione F3 e non sulla parallela F4. La A10 potrebbe essere collegata all'anomalia A7. Osservando la sezione F3, la forma incompleta dell'intradosso potrebbe essere spiegata con la presenza di un crollo.

Nella Figura 4.2.16 sulle Sezioni Georadar F2 X=3 m, F3 X=9 m, oltre ai sottoservizi superficiali, sono evidenziate le anomalie sopradette, ognuna con la rispettiva forma, attribuita a cavità/strutture.

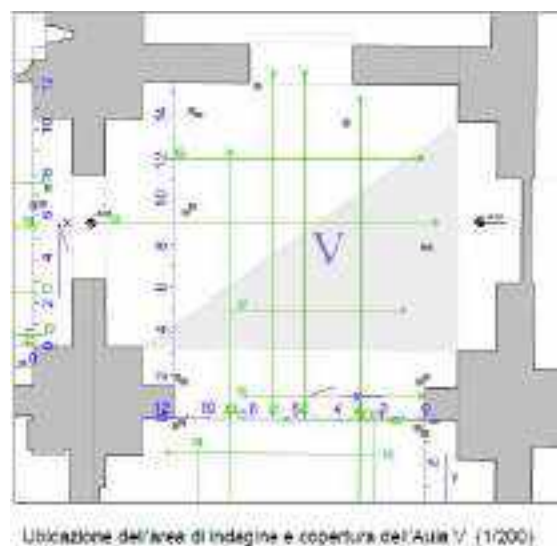


Figura 4.2.17 – Planimetria dell'Aula IV con sezioni GPR.

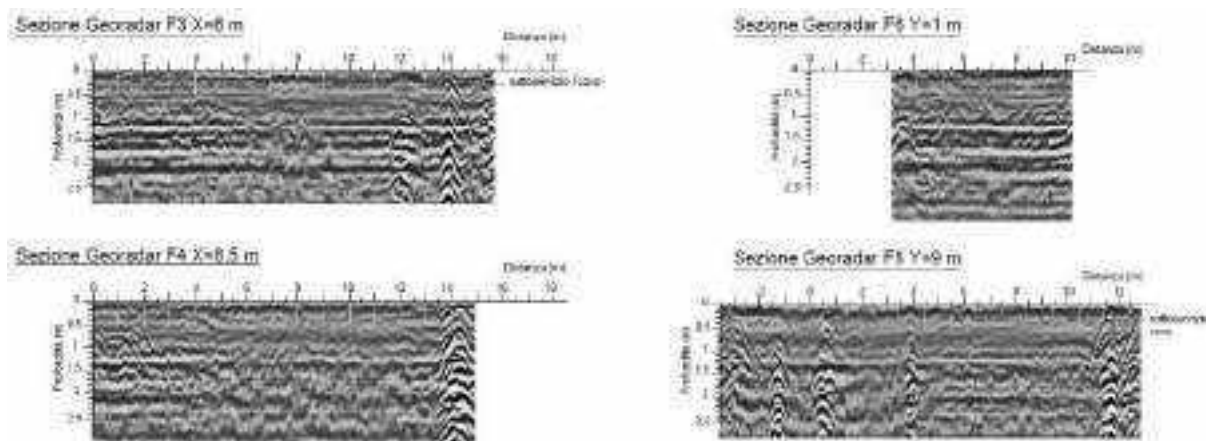


Figura 4.1.18– Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m con evidenziate le riflessioni superficiali.

Nella Figura 4.2.17, estratta dalla Tavola 5 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula V sono rappresentate le tracce delle sezioni radar opportunamente numerate ed evidenziate con linee di colore verde. Nel caso dell'Aula V la copertura delle indagini è stata quasi totale.

Nella Figura 4.2.18 sulle Sezioni Georadar F3 X=6 m, F4 X=8,5, F6 Y=1 m e F8 Y=9 m sono individuati esclusivamente riflessioni associabili a sottoservizi o cavi.

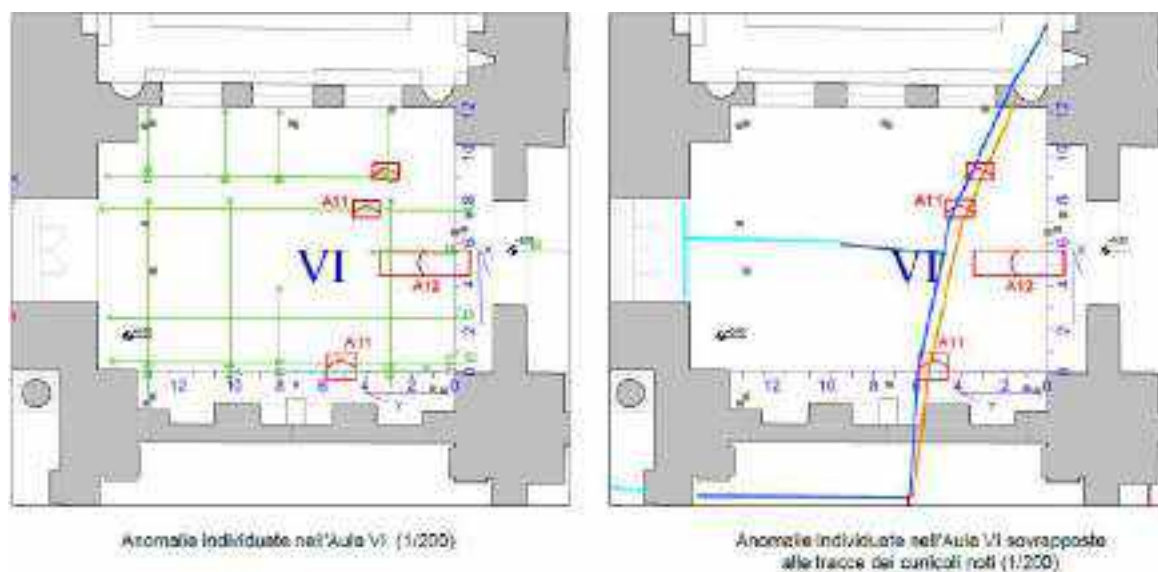


Figura 4.2.19 – Planimetria dell'Aula VI con sezioni GPR e con sovrapposte le tracce dei cunicoli di scarico probabili (colore arancione), di adduzione accertati (colore blu) e di adduzione probabili (colore celeste).

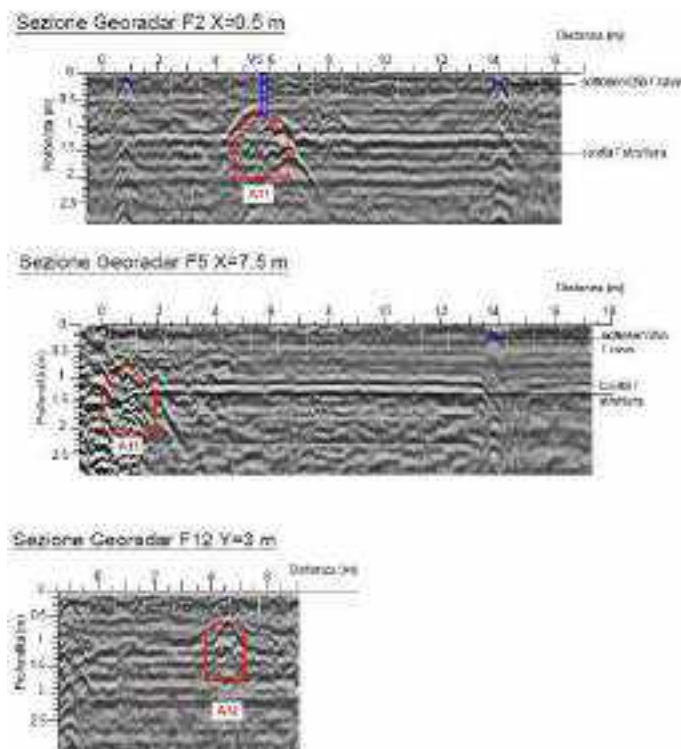


Figura 4.2.20 – Sezioni Georadar F8 Y=12,2 m e F9 Y=15,1 m con evidenziate le anomalie A11 ed A12.

Nella Figura 4.2.19, estratta dalla Tavola 6 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula VI, oltre alle tracce delle sezioni radar opportunamente numerate ed evidenziate con linee di colore verde, sono riportate le anomalie A11 e A12 rilevate dalla indagine.

Le tre anomalie denominate "A11" sono allineate secondo le tracce dei cunicoli di scarico e di adduzione. La A11, in particolare quella individuata lungo la Sezioni Georadar F2 X=0,5 m, è stata oggetto di accertamento tramite la realizzazione di un foro necessario per l'esecuzione di una video endoscopia che ha consentito di tarare il segnale.

La video endoscopia denominata V5, di cui nella Figura 4.2.21 si riportano le immagini con relativa descrizione, ha consentito di ricostruire il profilo stratigrafico monodimensionale. Il medesimo, a partire dal piano di calpestio, è costituito da 0,8 m di materiale di riporto. Il vuoto di cavità (cunicolo a doppio spiovente) è compreso tra 0,8 m da p.c. e 1,9 m dal p.c. ed alla base presenta uno strato di melma. Le pareti del cunicolo sono costituite da mattoni, mentre l'intradosso appare costituito da un materiale simile all'Opus Caementicium.

L'anomalia A12 individuata si allinea sul cunicolo di adduzione accertato e potrebbe trattarsi di un proseguimento ad oggi non noto. Essa presenta un intradosso a circa 0,6 m dal piano di calpestio.

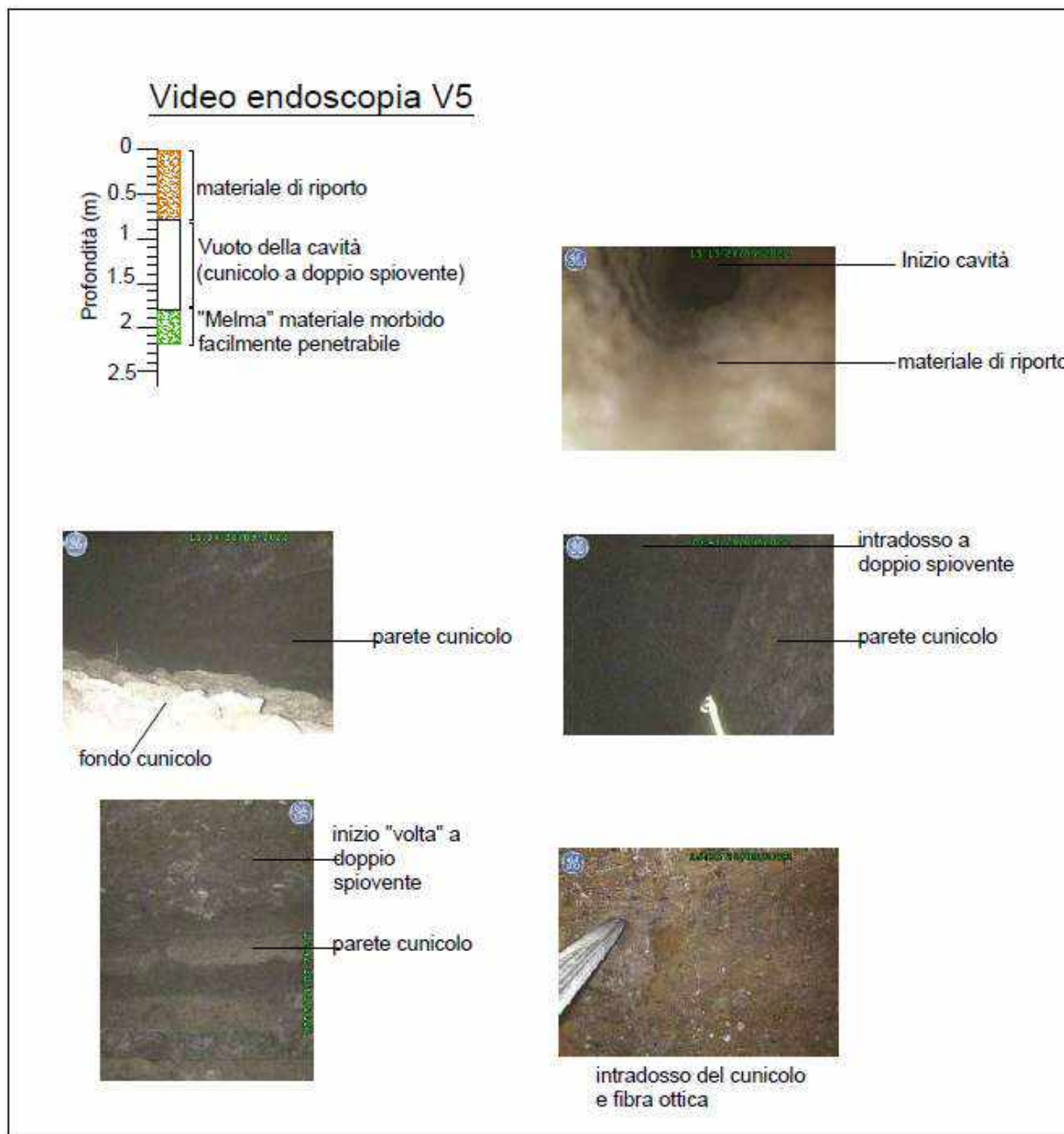


Figura 4.2.21 – Profilo stratigrafico ricostruito a mezzo della video endoscopia V5.

Nella Figura 4.2.22, estratta dalla Tavola 7 dell'allegato grafico, sulla planimetria dell'Aula VII, oltre alle tracce delle sezioni radar opportunamente numerate ed evidenziate con linee di colore verde, sono riportate le anomalie A13, A14, A15 e A16 individuate dalla indagine radar.

Come nel caso dell'Aula III, l'Aula VII è stata caratterizzata dall'articolo citato come una vasca d'acqua; per tale motivazione non viene attraversata da alcun cunicolo noto.

Come ben visibile dalla planimetria e dalle Sezioni Georadar (v. Figura 4.2.23.) le quattro anomalie paiono di natura identica per dimensioni, forma, profondità e

riflessione del segnale Georadar. Si tratta di anomalie molto riflettenti rispetto a quelle individuate fino ad ora e potrebbero essere di natura metallica.

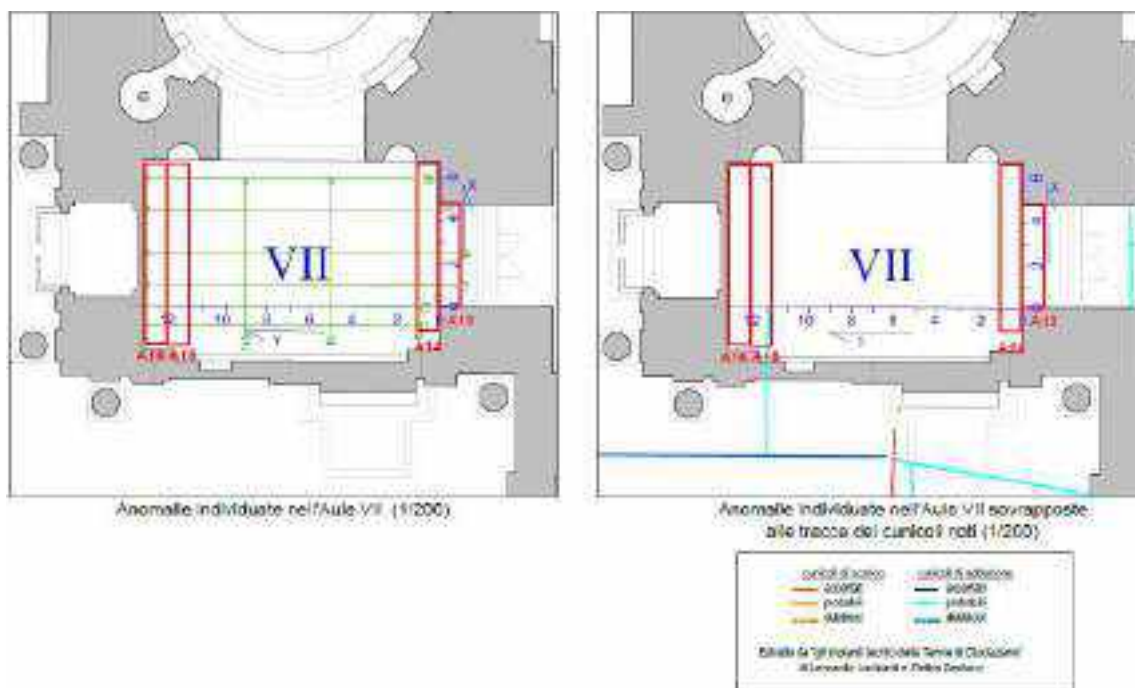


Figura 4.2.22 – Planimetria dell'Aula IV con sezioni GPR e con sovrapposte le tracce dei cunicoli noti.

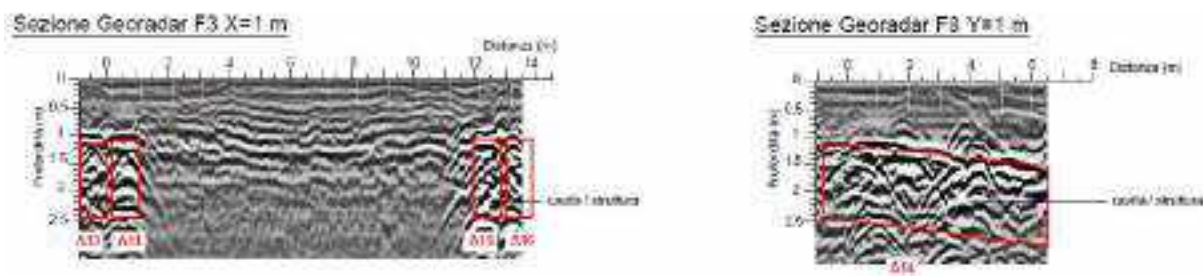


Figura 4.2.23 – Sezioni Georadar F3 X=1 m e F8 Y=1 m con evidenziate le anomalie A13, A14, A15 ed A16.

Una sintesi di tutte le anomalie intercettate è riportata nella Figura 4.2.24 del presente documento.

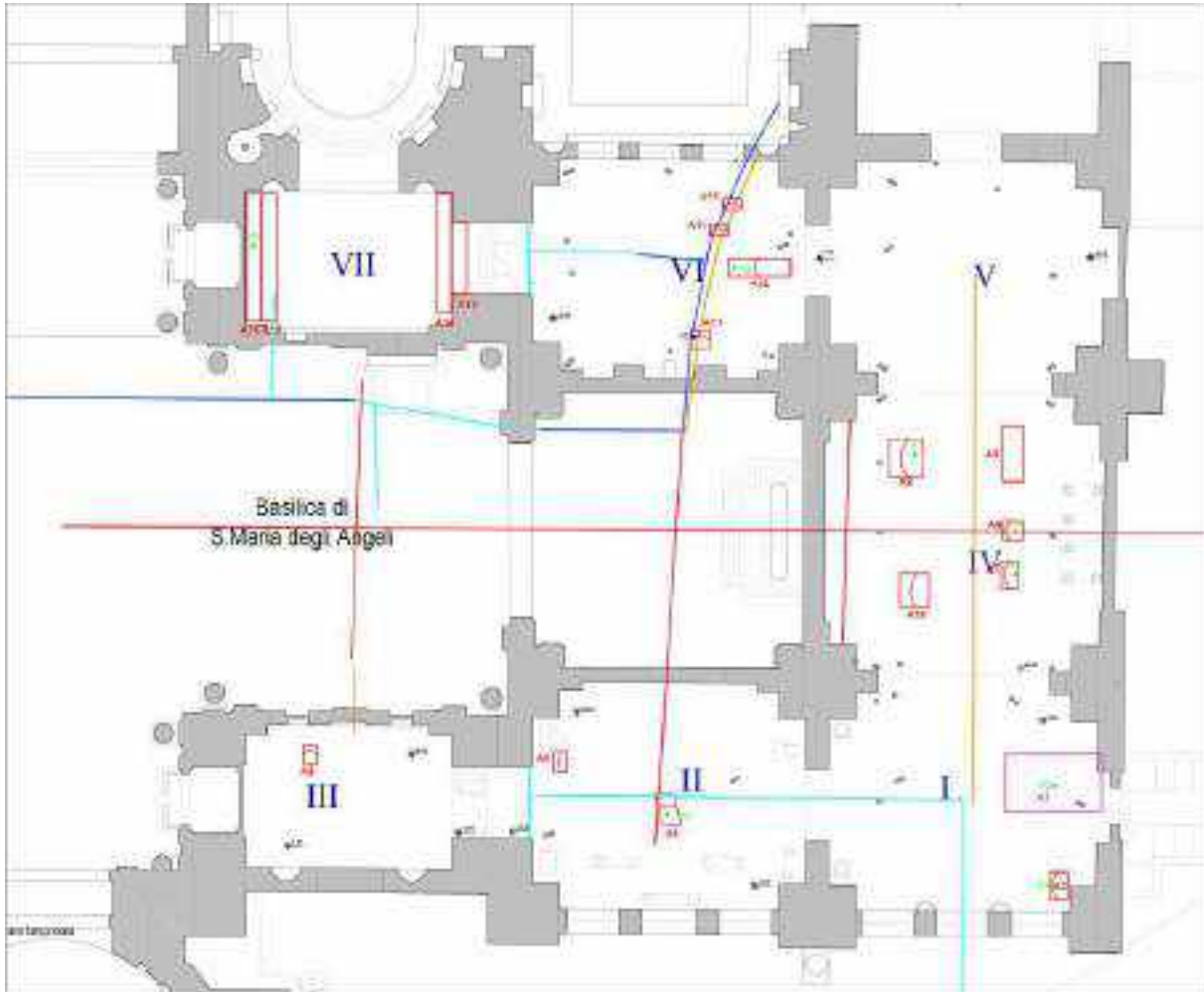


Figura 4.2.24 – Planimetria dell'area con anomalie individuate e sovrapposte le tracce dei cunicoli noti.

Dato che la maggior parte delle anomalie individuate a mezzo del georadar non trova corrispondenza con le strutture note e che nella maggior parte dei casi non è stato possibile capirne l'estensione a causa degli ingombri presenti a terra, si consiglia la realizzazione di fori di profondità variabile al fine di eseguire delle video endoscopie di verifica.

Nella Tavola 8 dell'Allegato è riportata una tabella con le profondità da raggiungere a mezzo di utensile leggero (trapano) per consentire l'esecuzione di video endoscopie che permetterebbero di capire sia le dimensioni che la natura delle anomalie individuate.

4.3. Risultati Indagine ERT eseguite a terra (Codice prova 2Df)

Le tomografie elettriche 2D e 3D (ERT 2D e 3D), come anticipato nella premessa, sono state eseguite all'interno e all'esterno delle grandi aule, per l'identificazione del sistema delle fondazioni e per rilevare eventuali anomalie quali ad esempio i cunicoli già in parte affrontati con l'indagine georadar (v. Figura 4.3.1).

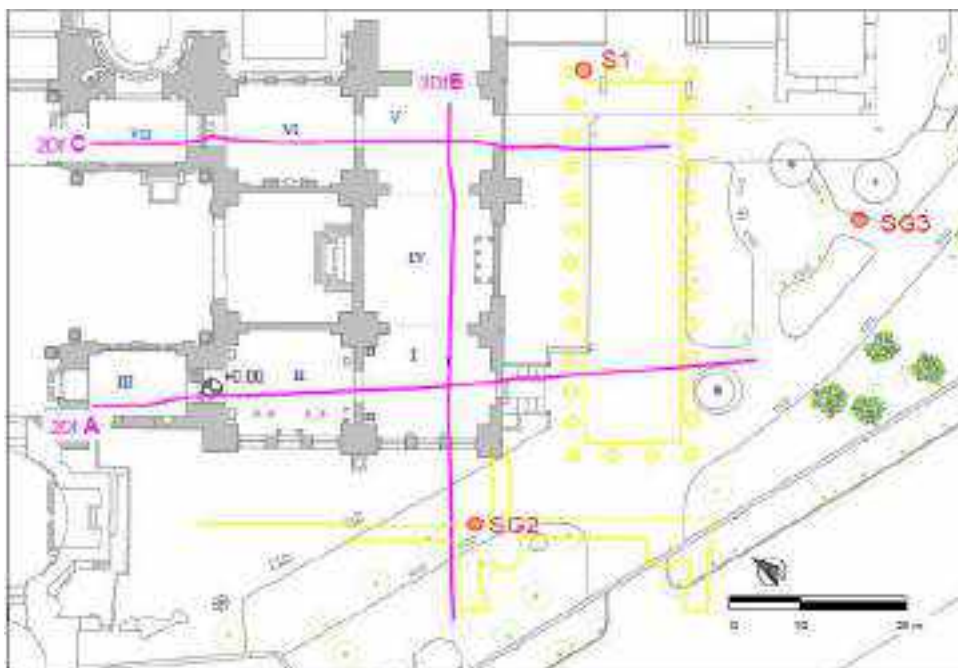


Figura 4.3.1 – Planimetria dell'area con ubicazione dei sondaggi di taratura e delle indagini ERT 2D.

Per la comprensione dei risultati, di seguito, nella Figura 4.3.2, è riportata la legenda di riferimento per la lettura e la comprensione delle sezioni ERT 2D.



Figura 4.3.2 – Legenda di riferimento per la lettura e la comprensione dei risultati ERT 2D.

Ad esempio, con il rettangolo a tratto continuo di colore ciano sono indicati sulle sezioni ERT e poi sulla planimetria di sintesi, le zone di intersezioni con i cunicoli di adduzione, estratti dalle mappe storiche presenti nell'Articolo "Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano". Tali punti di intersezione sono stati inoltre classificati con nomi distinti tra "A" e "B" e relativo numero progressivo.

Le zone indicate con "A" corrispondono ai cunicoli già numerati dagli autori mentre i "B" sono cunicoli presenti nella mappa ma senza nome, che siano accertati o probabili. La successione dei "B" è quindi da noi creata e posizionata sullo stralcio di mappa riportata sia in tavola 2 che qui di seguito in figura 4.3.3 e di conseguenza sulle sezioni 2D per poter trasmettere al meglio la nostra interpretazione puntuale.



Figura 4.3.3 – Stralcio della mappa dei cunicoli di adduzione con la sovrapposizione dei nomi utilizzati per localizzare gli stessi nelle sezioni che li hanno intercettati

Con il rettangolo a tratto continuo di colore rosso sono indicati i cunicoli di scarico, sempre estratti dalle mappe presenti nello stesso testo citato più volte, con la distinzione tra F (cunicoli già numerati dagli autori) e D (cunicoli con numerazione da noi attribuita perché non nominati in alcun modo sulla mappa).



Figura 4.3.4 – Stralcio della mappa dei cunicoli di scarico con la sovrapposizione dei nomi utilizzati per localizzare gli stessi nelle sezioni che li hanno intercettati. F1 è il cunicolo di principale rilevanza per dimensione e per lunghezza di sviluppo verificata in modo diretto dagli autori Lombardi e Santucci (230m).

Il rettangolo a tratto discontinuo di colore rosso indica sulle sezioni ERT 2D i possibili cunicoli di scarico da noi ipotizzati con la indagine, denominati con la lettera D e la numerazione da 1 a 5.

Il poligono a tratto continuo di colore blu è usato sulle sezioni e sulla planimetria di sintesi per indicare il rilievo di alcune vasche, in particolare individuate nelle mappe presenti nell'Articolo "Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" numerate da noi in relazione alle Aule nelle quali sono ubicate.

Il poligono tratteggiato di colore blu con vicino il nome "V" indica le possibili anomalie associabili a vasche individuate con le nostre indagini, numerate da noi in relazione alle Aule nelle quali sono rintracciate.

La linea continua di colore nero indica la fondazione dei pilastri mentre la linea nera tratteggiata è usata per selezionare i materiali di fondazione delle parti strutturali poste lateralmente ai pilastri.

Infine abbiamo usato il poligono giallo a linea continua per localizzare le possibili strutture interrato che hanno evidenza anche nelle carte storiche e nelle stesse mappe utilizzate per gli impianti tecnici. Le zone dove abbiamo usato sulle sezioni la linea gialla tratteggiata si ipotizza la presenza di ulteriori strutture o cavità che non hanno nessuna relazione con le carte di riferimento.

La Linea 2Df A, dalla quale è stata ottenuta la Sezione A (v. Figura 4.3.5), è stata eseguita a 96 elettrodi, attraversa le Aule III, II e I, e si protrae all'esterno del lato

Sud-Est nei giardini. La medesima ha consentito di indagare fino alla profondità massima di 15 m rispetto al piano di calpestio.

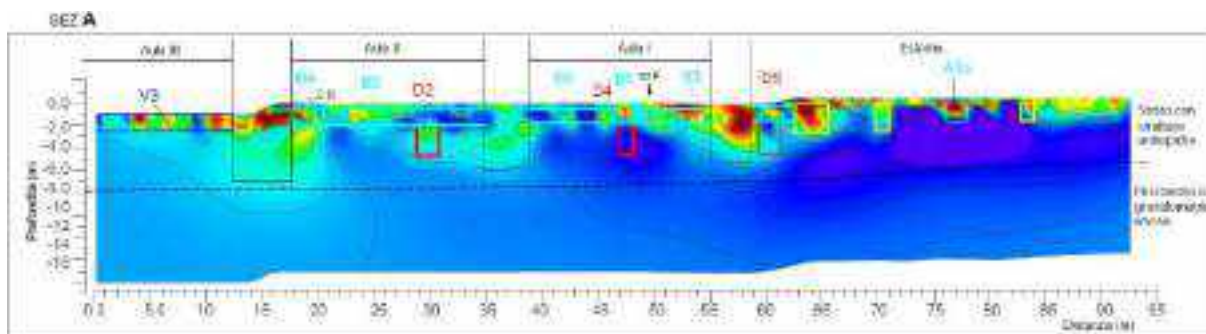


Figura 4.3.5 – Sezione A.

Lungo la sezione A, così come nelle sezioni B e C nel proseguo, con linea nera in tratteggio, è tracciato un limite in profondità che separa lo strato superficiale contenente strutture antropiche antiche e recenti immerse in terreni di riporto, dalla piroclastite a granulometria medio-fine che costituisce a zone, da quanto desunto dalle stratigrafie dei sondaggi di riferimento, la base naturale di appoggio del Museo.

All'interno dello strato superficiale, le zone alto-resistive che più si protraggono in profondità, in corrispondenza degli intervalli di progressive 12-17,5 m, 35-39 m e 55-58,59 m, sono correlabili ai materiali con i quali sono state realizzate le fondazioni della struttura delle Terme (delimitate con il tratto continuo di colore nero) e ai materiali di fondazione delle parti strutturali poste lateralmente ai pilastri (tratto discontinuo di colore nero).

Sulla base della risposta elettrica, la fondazione del pilastro collocato tra le progressive 12-17,5 m è impostata ad una profondità media di circa 7 m rispetto allo 0,00 di riferimento, mentre il materiale laterale rimane più superficiale, intorno ai 6 m di profondità. Le tre zone separano le Aule III, II ed I.

Nella parte più superficiale di tale strato antropico sono state individuate varie anomalie di differenti tipologie. Tra l'inizio della sezione e la progressiva 12 m, all'interno dell'Aula III, è individuata una anomalia, denominata V3, attribuita ad una delle vasche distribuite all'interno della struttura termale, nota e classificata nell'articolo di riferimento "Impianti tecnici delle Terme di Diocleziano".

Tra le progressive 17,5 m e 35 m e nell'intervallo 39-55 m, al di sotto delle pavimentazioni delle Aule II ed I rispettivamente, sono state individuate anomalie resistive, denominate B4, B5 e B6, evidenziate con rettangoli di colore ciano, correlabili con i cunicoli di adduzione noti. Immediatamente al di sotto di tali cunicoli, tra le progressive 28,5 m e 30,5/31 m e tra 47 m e 48,5 m, con riquadro di colore rosso, sono individuate due anomalie denominate D2 e D4 indicanti la presenza di

cunicoli di scarico. Da quanto emerge dall'articolo di riferimento, le due tipologie di cunicoli, di adduzione e di scarico, venivano posti in opera a differenti profondità in modo da non avere interferenze ma comunque non oltre i 3-4 m di profondità; in generale quelli di scarico venivano realizzati al di sotto di quelli di adduzione più superficiali.

Nel caso delle due anomalie D2 e D4, il comportamento elettrico opposto è probabilmente dovuto ai differenti materiali e/o liquidi in essi contenuti oppure alla possibilità (in alcune zone accertate) che i cunicoli di adduzione siano vuoti mentre quelli di scarico siano pieni e per questo conduttivi.

Tra le progressive 58,5/59 m e la fine della sezione, nel tratto rappresentativo della parte dei giardini esterna alla struttura termale, oltre alla possibile prosecuzione dell'anomalia B5 del cunicolo di adduzione evidenziata in ciano ed alla sottostante D5 (cunicolo di scarico noto) sono presenti ulteriori quattro anomalie.

Oltre all'anomalia resistiva che coincide con la condotta di adduzione A3a già nota e riportata nelle planimetrie nell'Articolo di riferimento, sono presenti altre tre anomalie resistive distinte in due tipologie; quelle evidenziate con riquadro di colore giallo a tratto continuo, associabili a strutture note e quelle distinte con riquadro di colore giallo a tratteggio, considerate come possibili strutture con cavità non note.

La Linea 2Df B, dalla quale è stata elaborata la sezione B attraversa le Aule V e IV, interseca la Linea A nell'Aula I e fuoriesce anch'essa nei giardini in direzione Sud-Ovest (v. Figura 4.3.6). La profondità massima indagata è di 12 m rispetto al piano di calpestio.

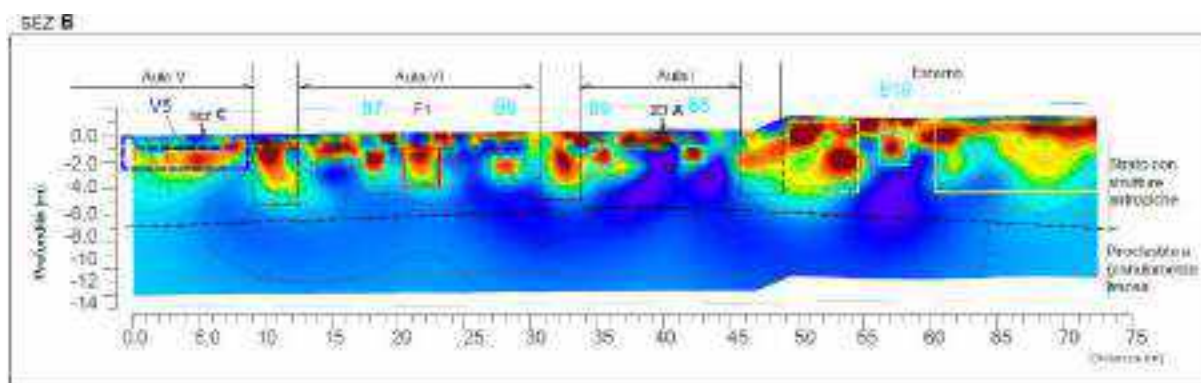


Figura 4.3.6 – Sezione B.

Nello strato superficiale, in corrispondenza degli intervalli di progressive 9-12,5 m, 30,5-34 m e 45,5-48,5 m, sono presenti delle zone alto-resistive allungate verticalmente, correlabili ai materiali disposti lateralmente alle fondazioni dei pilastri della struttura delle Terme. Sulla base della risposta elettrica la base delle fondazioni laterali ai pilastri è impostata ad una profondità media di circa 5 m rispetto allo +0,00 di riferimento. Le tre porzioni separano le Aule V, IV e I.

Al di sotto dell'Aula V nella quale la sezione B interseca la sezione C, è individuata un'anomalia resistiva V5 attribuita alla presenza di una possibile vasca o di una parte di antica pavimentazione della struttura delle Terme di Diocleziano, comunque non

nota. Il tipo di anomalia resistiva allungata, coperta da uno strato conduttivo, è perfettamente simile alla vasca nota dell'Aula VII.

Tra le progressive 12,5 m e 30,5 m e tra le progressive 34 m e 45,5 m, rispettivamente al di sotto della pavimentazione delle Aule IV ed I, sono state individuate quattro anomalie resistive, denominate B5, B7, B8 e B9, a profondità variabili ma compresa tra 1 m e 3 m dal piano di calpestio. A differenza della B5, evidenziata con rettangolo a tratto continuo di colore ciano e attribuita ad un cunicolo noto, le anomalie B7, B8 e B9 in tratteggio sono state individuate dalle indagini e da noi numerate.

Tra le progressive 20,5 m e 23/23,5 m, in corrispondenza dell'Aula VI alla profondità di 1 m dal piano di riferimento, l'anomalia alto resistività, denominata F1 ed evidenziata con un riquadro di colore rosso a tratto continuo indica la presenza di un cunicolo di scarico, il più grande tra quelli verificati da Lombardi e Santucci. La anomalia ricondotta al canale F1 si trova tra -1 e -4m dal p.c ed ha una dimensione laterale di oltre 2m.

Tra le progressive 48,5 m e la fine della sezione, nel tratto rappresentativo della parte dei giardini esterna alla Struttura termale, oltre all'anomalia B10 attribuita a cunicolo noto, sono individuate due zona alto resistive. La prima, tra le progressive 49 m e 54,5 m, è delimitata con riquadro in tratteggio di colore giallo associabile ad una possibile struttura con cavità mentre la seconda, tra la progressiva 60 m e la fine della sezione è correlabile con una struttura nota.

La Linea 2Df C, dalla quale è ottenuta la Sezione C è stata allestita in modo da attraversare le Aule VII, VI, V ed uscire all'esterno in direzione Sud-Est (v. Figura 4.3.7). La medesima ha consentito di indagare fino alla profondità massima di 12 m rispetto al piano di calpestio.

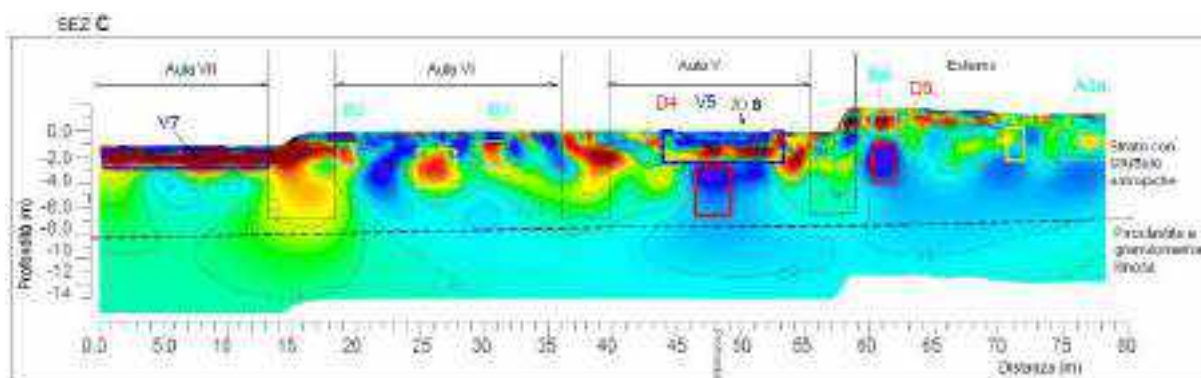


Figura 4.3.7 – Sezione C.

All'interno dello strato superficiale, la zona alto-resistiva protratta in profondità e compresa nell'intervallo di progressive 12-18,5 m è correlabile alla fondazione del pilastro compreso tra le Aule VII e VI; la profondità del piano di appoggio è a circa 7 m dalla quota di riferimento 0,00 m. Le altre porzioni, comprese negli intervalli di progressive 36-40 m e 55,5-59 m, rimangono leggermente più superficiali e sono correlabili ai materiali laterali di fondazione delle strutture termali. Le tre porzioni separano le Aule VII, VI e V.

Come per le sezioni precedenti, nella parte più superficiale di tale strato sono state individuate varie anomalie di differenti tipologie. Tra l'inizio della sezione e la progressiva 12 m, al di sotto della pavimentazione dell'Aula VII, è individuata una anomalia, denominata V7, attribuita alla presenza della vasca nota dalle carte di riferimento.

Tra le progressive 18,5 m e 36 m, al di sotto della pavimentazione dell'Aula VI, sono state individuate tre anomalie resistive di cui due, denominate B1 e B2 ad una profondità di 0,8/1 m dalla quota dello 0,0 di riferimento, evidenziate con rettangoli di colore ciano a tratto continuo e correlabili con i cunicoli di adduzione noti ed una più profonda, a circa 1,5 m di profondità, delimitata con riquadro giallo in tratteggio, di possibile struttura con cavità non nota.

Tra le progressive 40 m e 55,5 m, in corrispondenza dell'Aula V, è stata individuata un'anomalia di alta resistività, denominata V5, attribuibile ad una possibile vasca, coerente con la stessa anomalia V5 descritta nella sezione B.

Il riquadro di colore rosso sottostante la V5 individua un'anomalia conduttiva denominata D4, compresa tra 3 e 6 m di profondità, indicante la possibile presenza di cunicoli di scarico riempiti di materiale fine e compatto.

Tra le progressive 59 m e la fine della sezione, nel tratto rappresentativo della parte dei giardini esterna alla struttura termale, sono individuate due anomalie resistive B6 e A3a evidenziate in colore ciano ed attribuite a cunicoli di adduzione accertati. Al di sotto della B6 troviamo una anomalia conduttiva D5 evidenziata con riquadro di colore rosso ed attribuita al possibile cunicolo di scarico noto, che corre parallelo al prospetto e interseca il canale F1.

Un'ulteriore anomalia, anch'essa resistiva, è evidenziata con riquadro di colore giallo a tratto continuo ed è associabile alle zone di strutture note, visibili nelle carte storiche.

Nella Figura 4.3.8 è riportata una planimetria di sintesi nella quale sono salvate tutte le anomalie individuate a mezzo dell'indagine ERT 2Df, che sopra sono state tutte elencate.

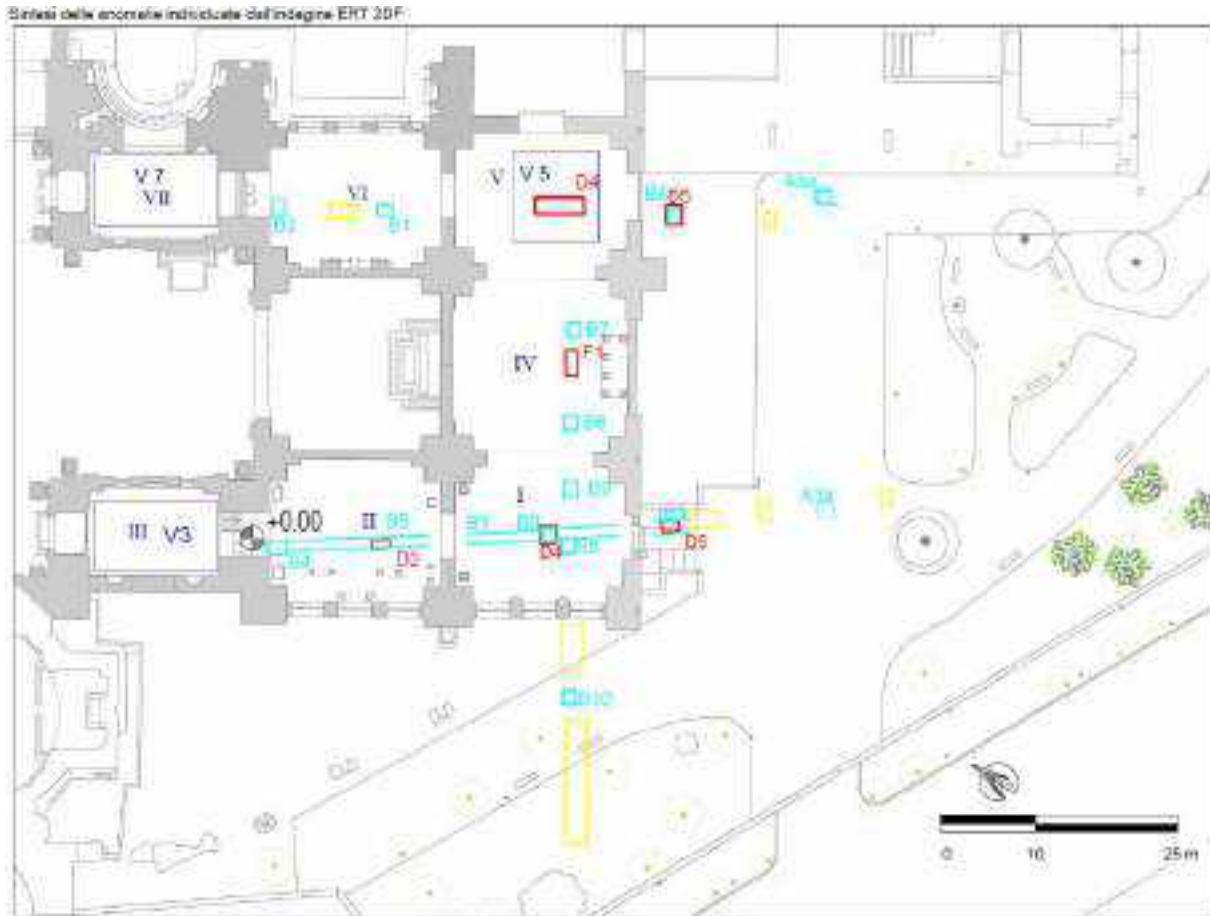


Figura 4.3.8 – Sintesi delle anomalie individuate a mezzo delle indagini ERT 2DF.

4.4. Risultati Indagine ERT eseguite a terra (Codice prova 3Df)

L'acquisizione ERT 3D a terra è stata eseguita disponendo gli elettrodi di misura all'interno ed all'esterno della parete portante esposta a Sud-Est delle Terme di Diocleziano in modo da caratterizzare al meglio le strutture di fondazione dei pilastri che delimitano le Aule I e IV.

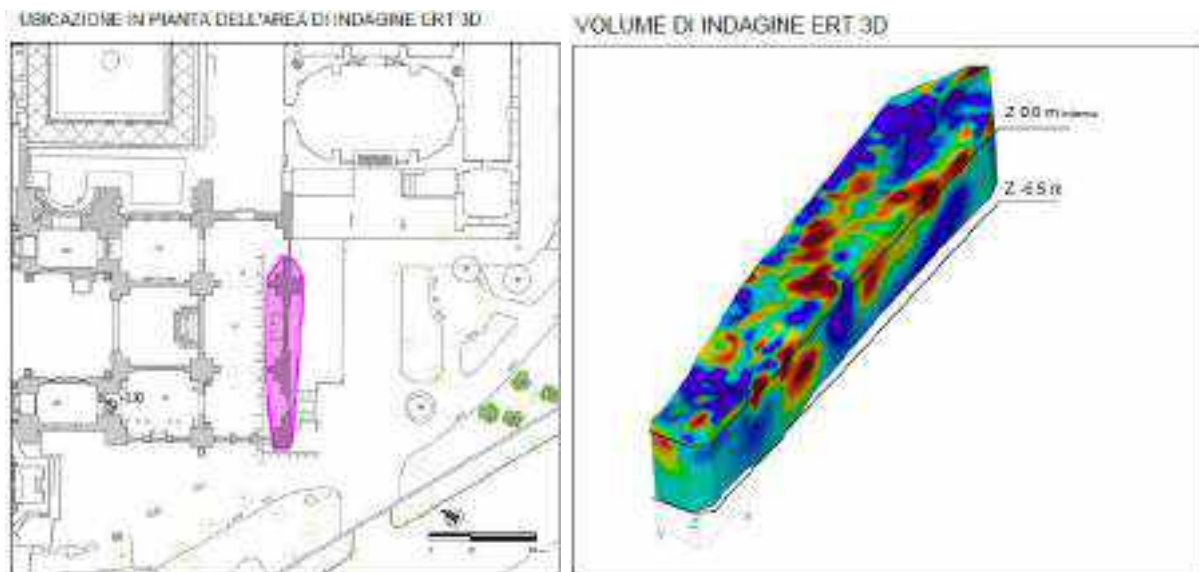


Figura 4.4.1 – Ubicazione in pianta dell'area di indagine e volume ERT 3D totale, con indicata la profondità massima raggiunta (-6,5 m dalla quota 0,00 di riferimento).

Nella Figura 4.4.2 è riprodotta la legenda necessaria per la lettura e la comprensione dei risultati delle indagini ERT 3D a terra esposti di seguito.



Figura 4.4.2 – Legenda per la lettura e comprensione dei risultati delle indagini ERT 3D a terra.

Il volume ERT 3D è stato sezionato in modo da poter individuare il comportamento elettrico dei principali elementi strutturali (pilastri e/o materiali di fondazione laterali ai medesimi) e dei vari cunicoli eventualmente presenti.

Nel piano di sezione ERT 3D ricavato alla profondità $Z = -1,0$ m, le zone alto resistive sono associate essenzialmente ai tre pilastri e, nelle fasce di raccordo al di sotto della parete portante, ai materiali di fondazione laterali agli stessi pilastri.

Alla coordinata $X = 5$ m ed $Y = 40$ m, una anomalia conduttiva è correlata ad un possibile discendente pluviale antico riutilizzato.

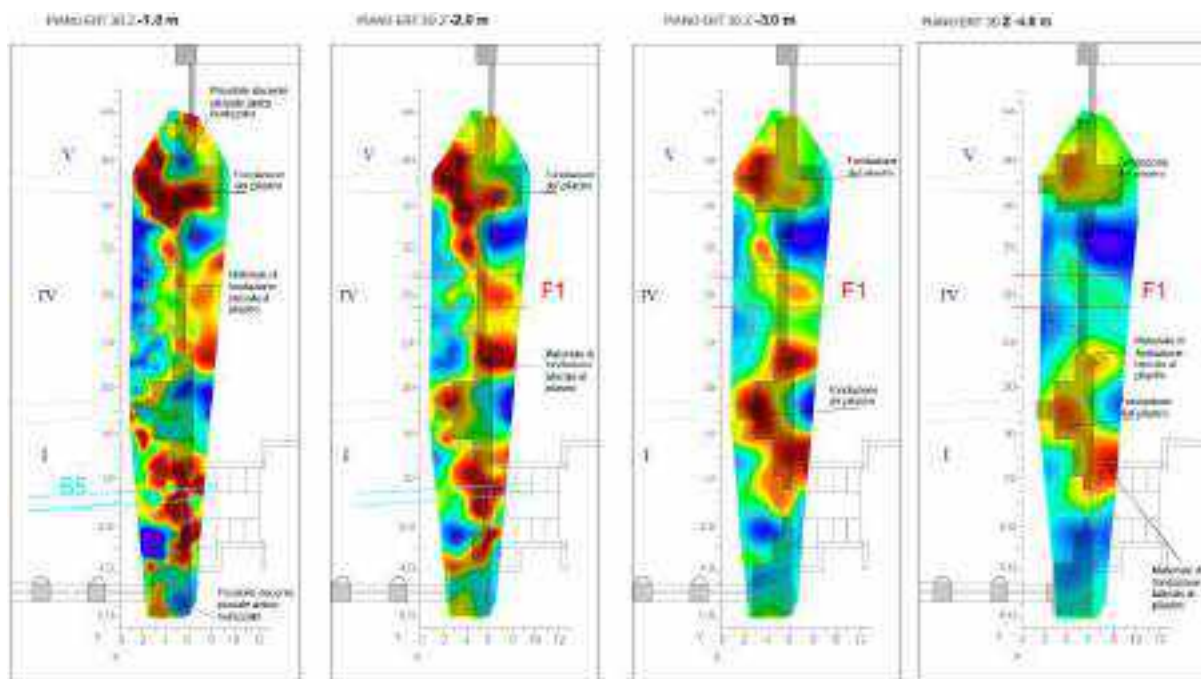


Figura 4.4.3 – Sezioni orizzontali ricavate dal volume ERT 3D rispettivamente a -1,0 m, -2,0 m, -3,0 m e -4,0 m rispetto alla quota 0,00 di riferimento.

Tra le progressive $Y = 10$ m e $Y = 11$ m, con andamento circa parallelo all'asse X, è individuata con linea discontinua di colore ciano l'anomalia B5, precedentemente segnalata nella sezione ERT 2D A, attribuita ad un possibile cunicolo di adduzione, che da dentro esce all'esterno (non mappato in in questo tratto nell'articolo di Lombardi). Tale anomalia è presente nella sezione successiva a $Z = -2,0$ m dal piano di riferimento così come le fondazioni dei pilastri ed i materiali di fondazione laterali ai medesimi.

Con andamento parallelo all'asse X, tra le progressive $Y = 27$ m ed $Y = 30$ m circa, nella sezione a $Z = -2,0$ m dal piano di riferimento, con linea continua di colore rosso è delimitata l'anomalia che delimita il cunicolo importante F1, anch'esso precedentemente segnato.

Nelle sezioni a $Z = -3$ m e $Z = -4,0$ m dal piano di riferimento, mentre l'anomalia B5 scompare, la F1 trova continuità in profondità e le porzioni alto resistive correlate ai pilastri ed ai materiali di fondazione disposti lateralmente ai pilastri rimangono ancora ben distinte a tali quote.

In profondità, alla quota -5,5 m dal piano di riferimento, non sono rintracciate anomalie associabili ai cunicoli di adduzione e di scarico. Al contrario dei materiali di fondazione disposti lateralmente ai pilastri che sfumano e tendono a scomparire (i valori di resistività passano da resistivi a conduttivi) le anomalie alto resistive associate ai pilastri permangono anche nella parte più profonda del volume indagato.

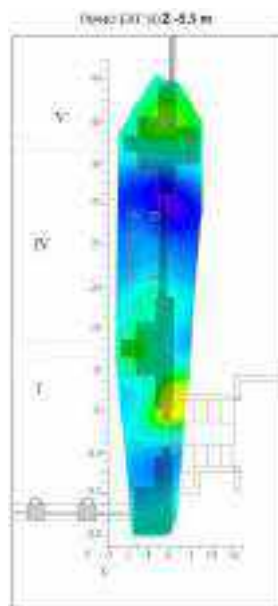


Figura 4.4.4 – Sezione orizzontale ricavate dal volume ERT 3D alla profondità di -5,5 m rispetto alla quota 0,00 di riferimento.

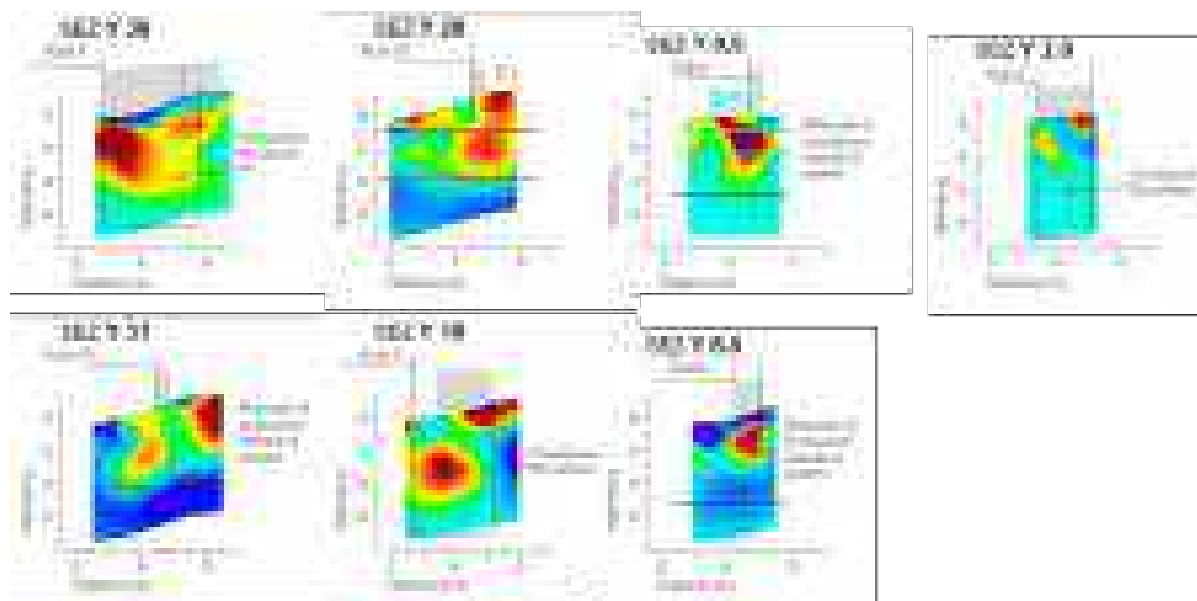


Figura 4.4.5 – Sezioni verticali ricavate dal volume ERT 3D alle coordinate $Y = 38-31-28-18-9,6-6,0$ e $2,0$ m.

Nella Figura 4.4.5 sono riportate le sezioni verticali ricavate dal volume ERT 3D alle coordinate $Y = 38$ m, 31 m, 28 m, 18 m, $9,6$ m, $6,0$ m e $2,0$ m.

La sezione $Y = 38$ m attraversa il pilastro ed evidenzia il comportamento elettrico alto resistivo dei materiali che costituiscono la fondazione.

Le fondazioni proseguono fino alla parete più profonda del volume ERT 3D indagato, con il piano di appoggio delle medesime collocato mediamente sui 7 m di profondità, così come messo in risalto anche dalle sezioni a $Y = 18$ m e ad $Y = 2,0$ m.

La sezione $Y = 31$ m attraversa la parte portante tra i pilastri di giunzione tra le Aule IV-V ed I-IV. I materiali, anch'essi alto-resistivi, hanno una distribuzione allargata rispetto all'ingombro della parete portante ed ai pilastri stessi ma un piano di

appoggio ben evidenziato dai contrasti di resistività alla profondità di 4-5 m dallo 0,00 di riferimento.

La sezione $Y = 28$ m attraversa anch'essa la parte portante tra i pilastri di giunzione tra le Aule IV-V ed I-IV. Sulla sezione, con linee continue di colore rosso è evidenziata l'anomalia F1 attribuita ad un cunicolo di scarico identificato nelle mappe storiche.

Nell'Aula I, in corrispondenza dell'entrata alla delle Grandi aule, la sezione $Y = 9,6$ m secca l'anomalia B5 precedentemente individuata (cunicolo di adduzione non tracciato sulle carte) tra 1 e 3 m di profondità dallo 0,00 di riferimento. Sulla medesima, come nella sezione $Y = 6$ m, con linea di colore nero in tratteggio, è collocata la separazione tra i materiali di fondazione e i terreni di appoggio.

I materiali, anch'essi alto-resistivi, hanno una distribuzione allargata rispetto all'ingombro della parete portante ed ai pilastri stessi ma un piano di appoggio ben evidenziato dai contrasti di resistività alla profondità di 4-5 m dallo 0,00 di riferimento.

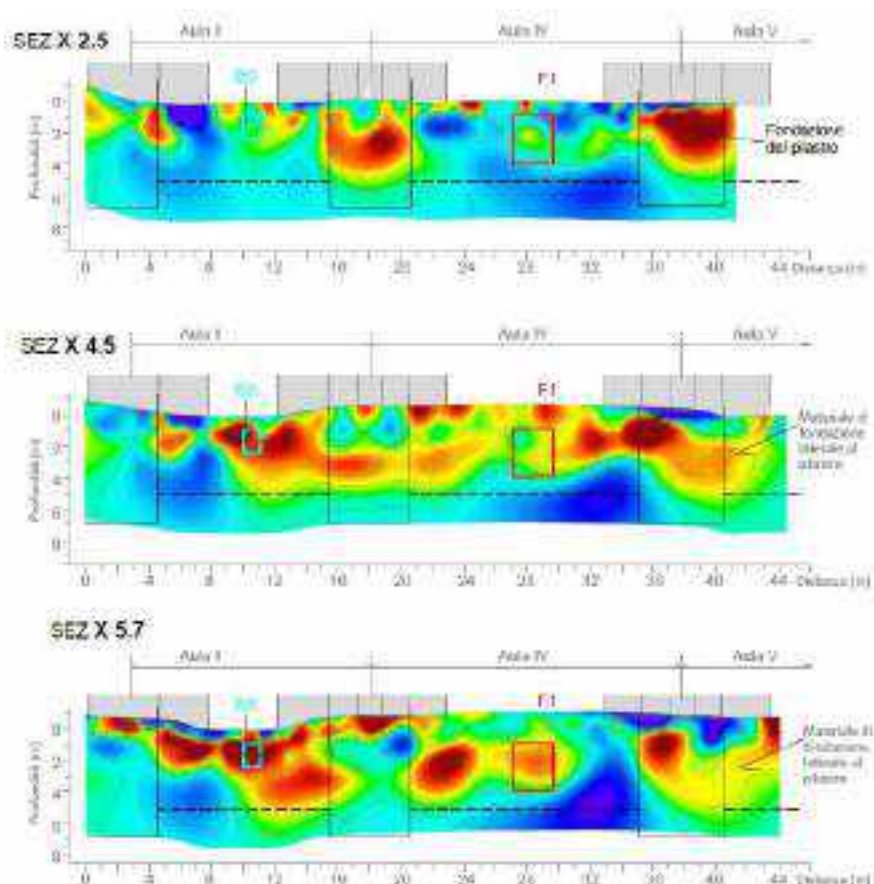


Figura 4.4.6 – Sezioni verticali ricavate dal volume ERT 3D alle coordinate $X = 2,5$ m, $X = 4,5$ m e $X = 5,7$ m.

Nella Figura 4.4.6 sono riportate le sezioni ottenute per $X = 2,5$ m, $4,5$ m, e $5,7$ m.

Le sezioni attraversano tutti e tre i pilastri presenti nella parete portante Sud-Est; in esse sono ben evidenziate le fondazioni dei pilastri (v. rettangolo nero a tratto

continuo). Come visibile la profondità media della fondazione è di circa 7 m mentre i terreni interposti poggiano sui terreni naturali, probabilmente sulla piroclastite; localmente, a partire dai 5 m dal piano di riferimento, i materiali laterali di fondazione tendono a scomparire.

Nello strato superficiale di riporto, rispettivamente nelle Aule I e IV, sono individuate le anomalie B5 ed F1 descritte in precedenza. La B5 è superficiale e probabilmente un cunicolo di adduzione mentre la F1 è l'importante scarico noto e visitato.

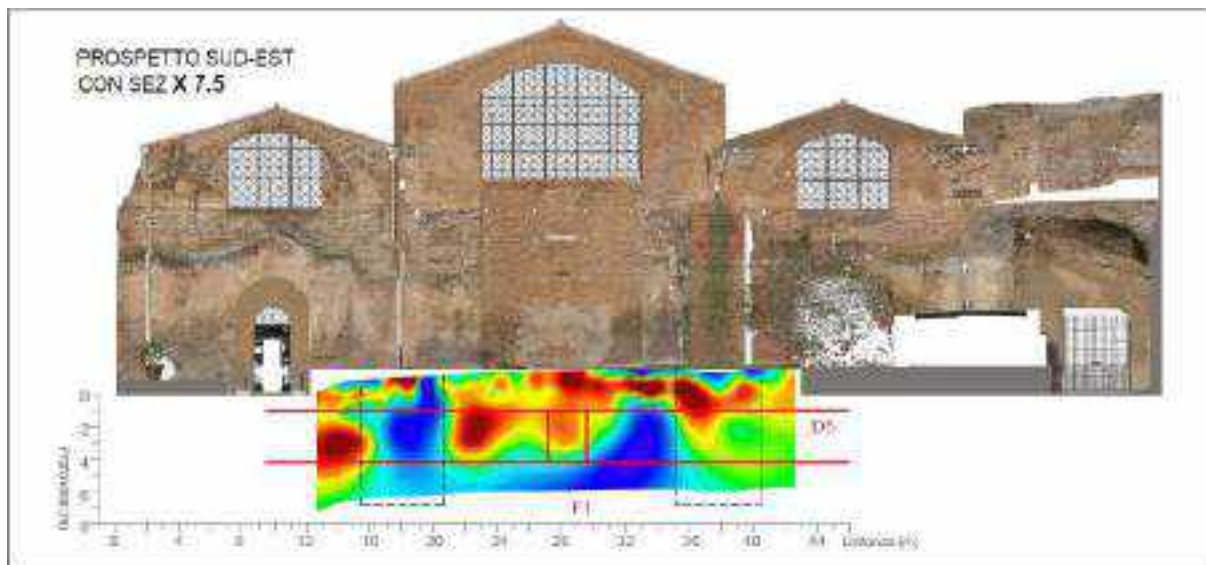


Figura 4.4.7 – Prospetto Sud-Est con sezione $x = 7,5$ m del volume ERT 3D.

Nella Figura 4.4.7 la sezione del volume ERT 3D di coordinata $X = 7,5$ m è posta sul prospetto Sud-Est delle Terme di Diocleziano. Su tale sezione, in corrispondenza degli ingombri dei pilastri e del loro intorno, i materiali di fondazione laterali hanno risposto in modo opposto al passaggio della corrente. La risposta conduttiva tra le progressive 15,5-20,5 m è probabilmente dovuta alla maggiore distanza della sezione dal pilastro e/o alla presenza di sottoservizi in quel punto.

Sulla medesima sezione sono evidenziate le anomalie F1 e D5 intersecate tra loro ed attribuite ai cunicoli di scarico noti.

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione tecnica sono stati descritti i risultati ottenuti dalle indagini Georadar e Tomografia elettrica 3D e 2D eseguite sul piano di calpestio.

La distribuzione finale delle prove è riportata nella Figura 5.1.

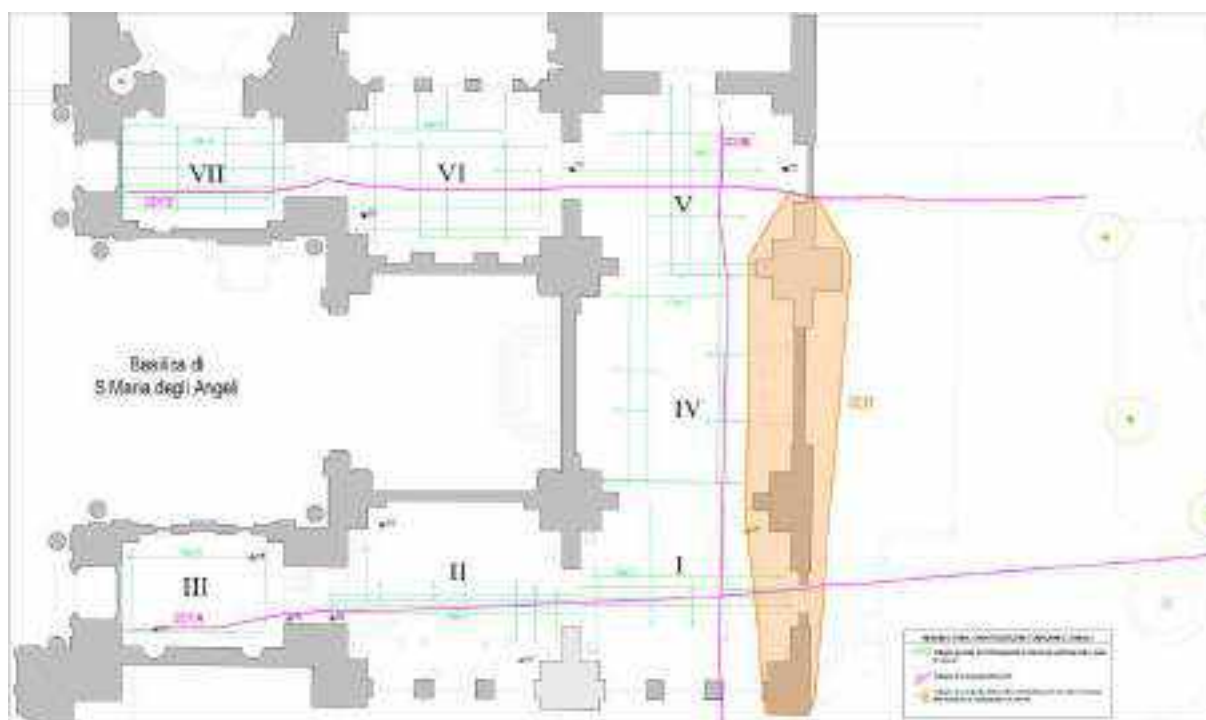


Figura 5.1 – Planimetria con distribuzione finale delle prove eseguite.

Dalle indagini, eseguite avendo cura di mantenere al meglio la massima tutela del monumento, sono stati raggiunti gli scopi previsti dal piano delle indagini redatto dallo Studio SM Ingegneria S.r.l. del Prof. Claudio Modena per le Terme di Diocleziano.

Sia con l'indagine ERT che con il GPR a terra sono state individuate anomalie superficiali, dovute alla presenza di cunicoli e di altre possibili strutture relative agli impianti tecnici delle antiche Terme o ad altro ancora.

Oltre ai cunicoli noti, riportati sulle mappe Lombardi e Santucci, le indagini a terra hanno consentito l'individuazione di altri cunicoli non cartografati e di altre strutture nuove e/o in parte anch'esse conosciute.

Le indagini ERT inoltre, sviluppate con geometrie di acquisizione sia 2D che 3D, hanno consentito di comprendere la conformazione della struttura di fondazione sul lato Sud-Est. Dai risultati ottenuti la fondazione dei pilastri prosegue in profondità fino alla profondità media di 7 m dallo 0,00 di riferimento interno alla struttura. Nell'immediato intorno dei pilastri e per tutta la lunghezza dei tratti di collegamento

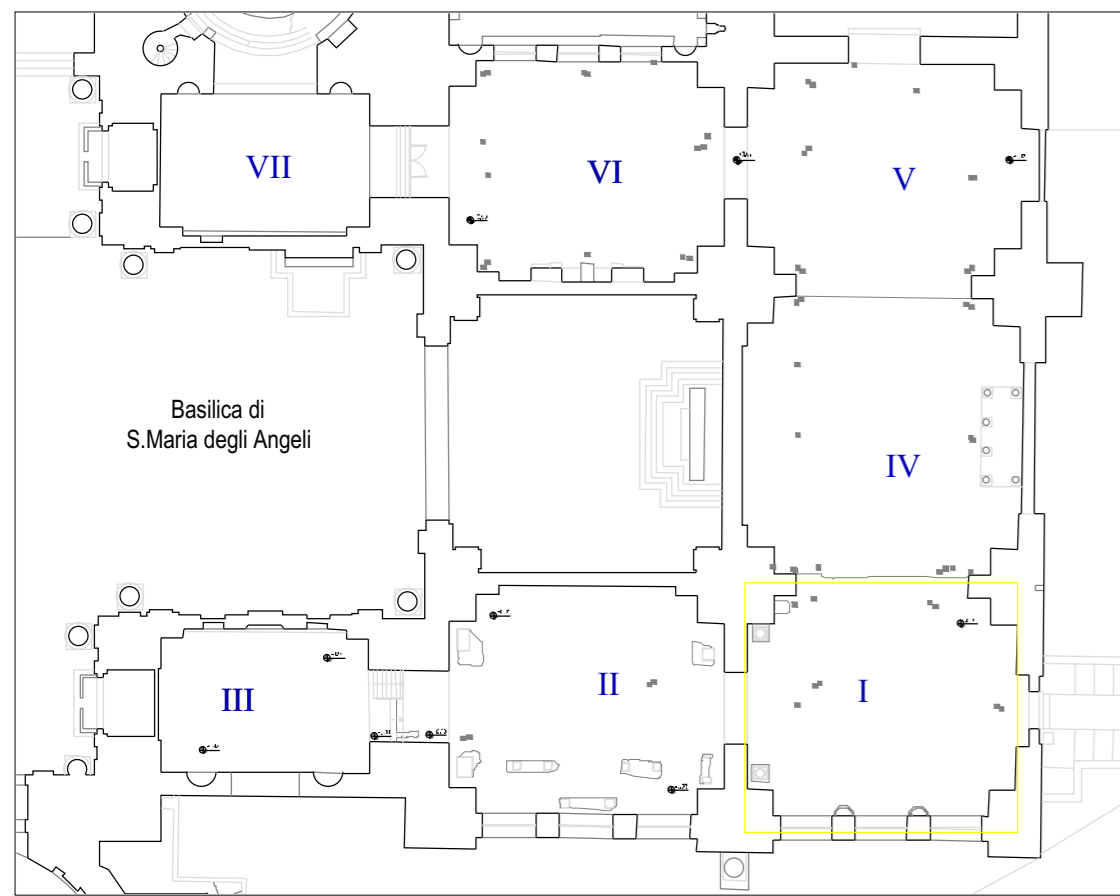
tra gli stessi è presente del materiale di fondazione di consistenza ignota a fondo irregolare fino a profondità variabili tra 5 e 6 m dalla quota di riferimento. Sia le fondazioni che tali materiali poggiano presumibilmente sullo strato di piroclastite desunto dalle stratigrafie di sondaggi pregressi.

Dato che alcune anomalie individuate dalle metodologie impiegate non trovano corrispondenza con le strutture note e che nella maggior parte dei casi non è stato possibile capirne l'estensione a causa degli ingombri presenti a terra, si consiglia la realizzazione di fori di profondità variabile al fine di eseguire delle video endoscopie di verifica.

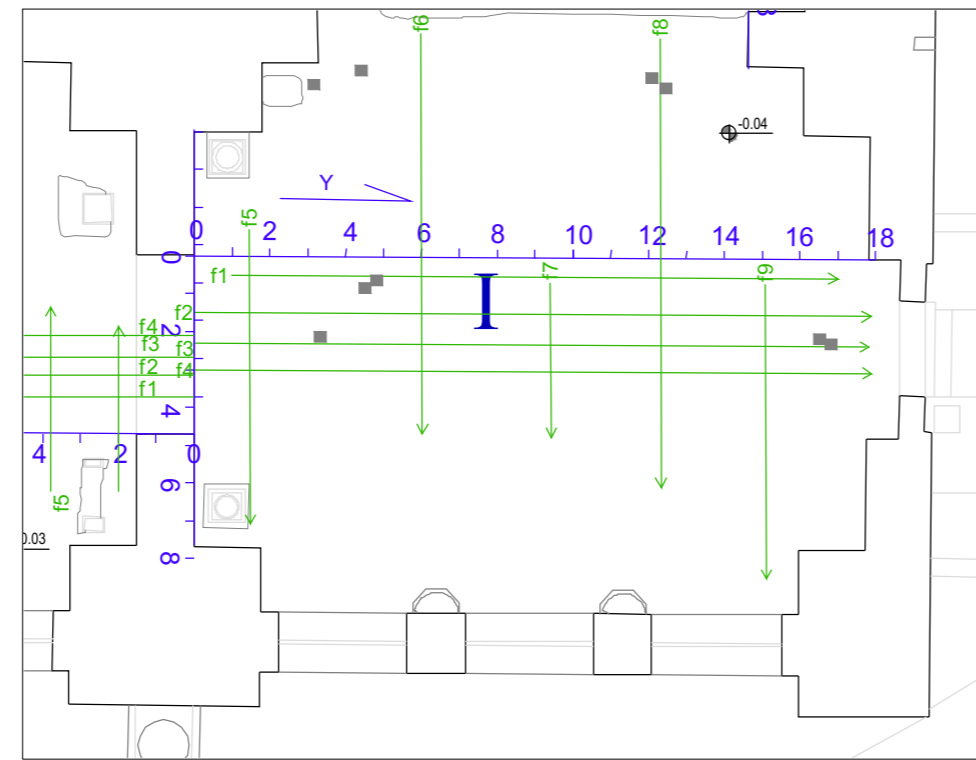
Nella Figura 5.2 è riportata una tabella con le profondità da raggiungere a mezzo di utensile leggero (trapano) per consentire l'esecuzione di video endoscopie che permetterebbero di capire sia le dimensioni che la natura delle anomalie individuate.

Acila	Anomalia	Estradossso	Video endoscopia	profondità da raggiungere
Acila I	A1	0,9 m dal p.c.	V1	1,1 m dal p.c.
	A2	1 m dal p.c.	V2	1,1 m dal p.c.
Acila II	A3	1,3 m dal p.c.	V3	1,4 m dal p.c.
	A4	1,7 m dal p.c.	?	?
Acila III	A5	1,0 m dal p.c.	?	?
Acila IV	A6	1,0 m dal p.c.		
	A6	0,7 m dal p.c.	V4	0,8 m dal p.c.
	A7	0,7 m dal p.c.	V6	0,8 m dal p.c.
	A8	0,8 m dal p.c.	V7	0,7 m dal p.c.
Acila IV	A10	0,4 m dal p.c.	?	
Acila V	?	?	?	
Acila VI	A11	0,8 m dal p.c.	V5	Eseguita
	A12	0,85-0,8 m dal p.c.	V8	0,9 m dal p.c.
Acila VII	A13	1,1 m dal p.c.	?	?
	A14	1,1 m dal p.c.	?	?
	A15	1,1 m dal p.c.	?	?
	A16	1,1 m dal p.c.	V9	1,2 m dal p.c.

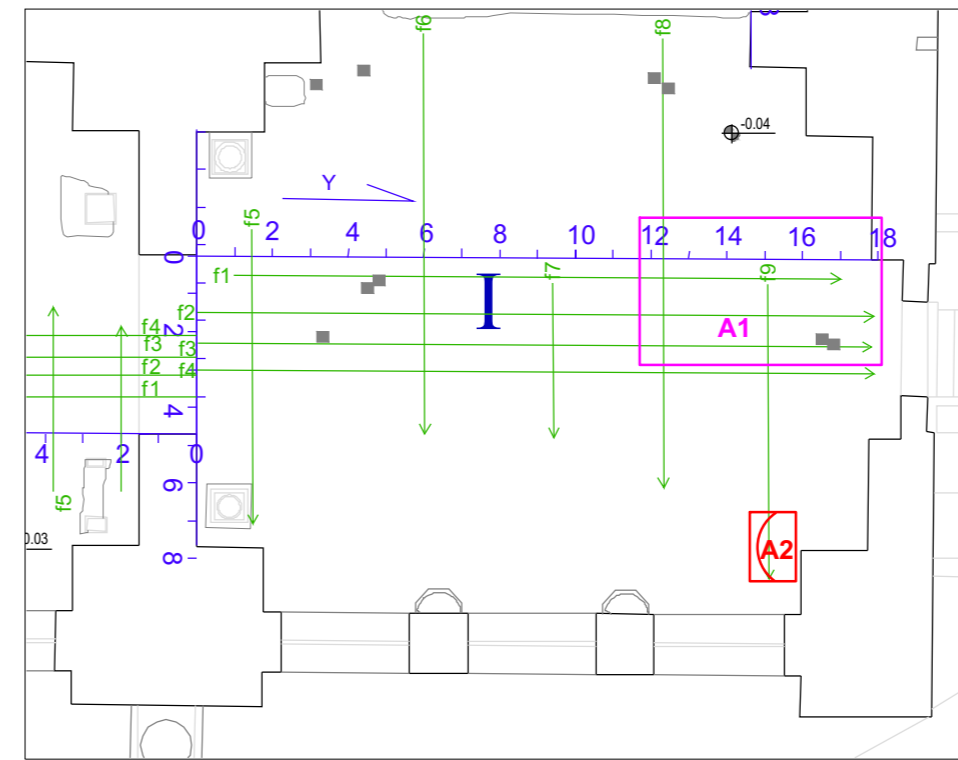
Figura 5.2 – Tabella con indicazioni degli approfondimenti delle indagini suggerite.



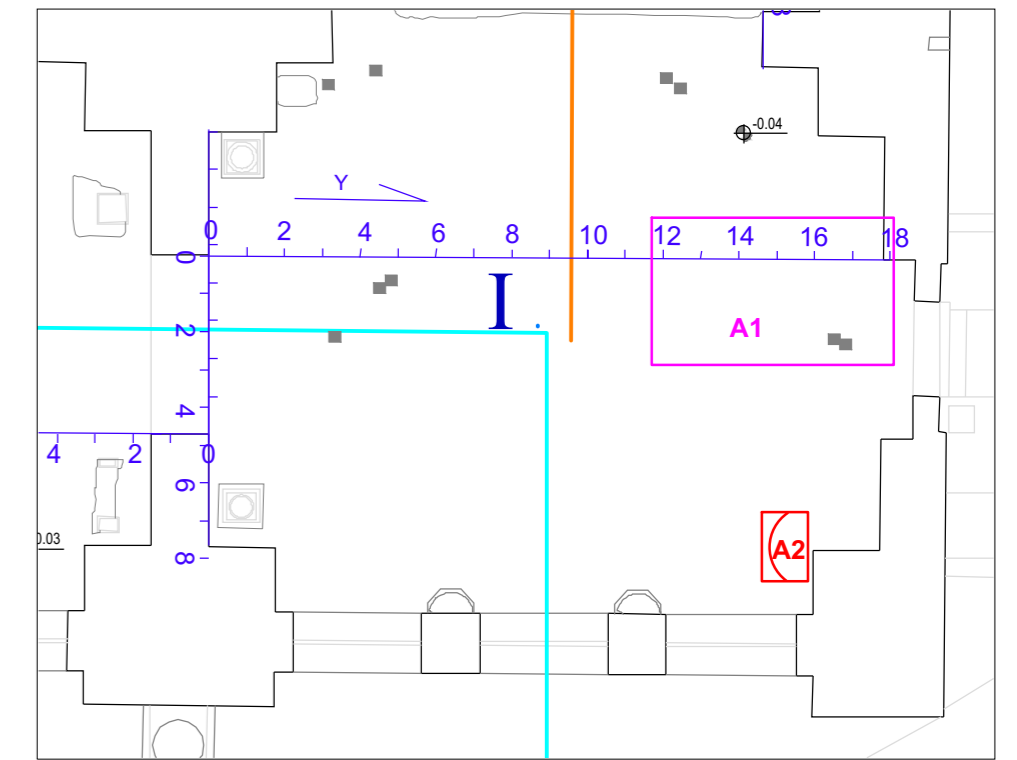
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula I (1/200)



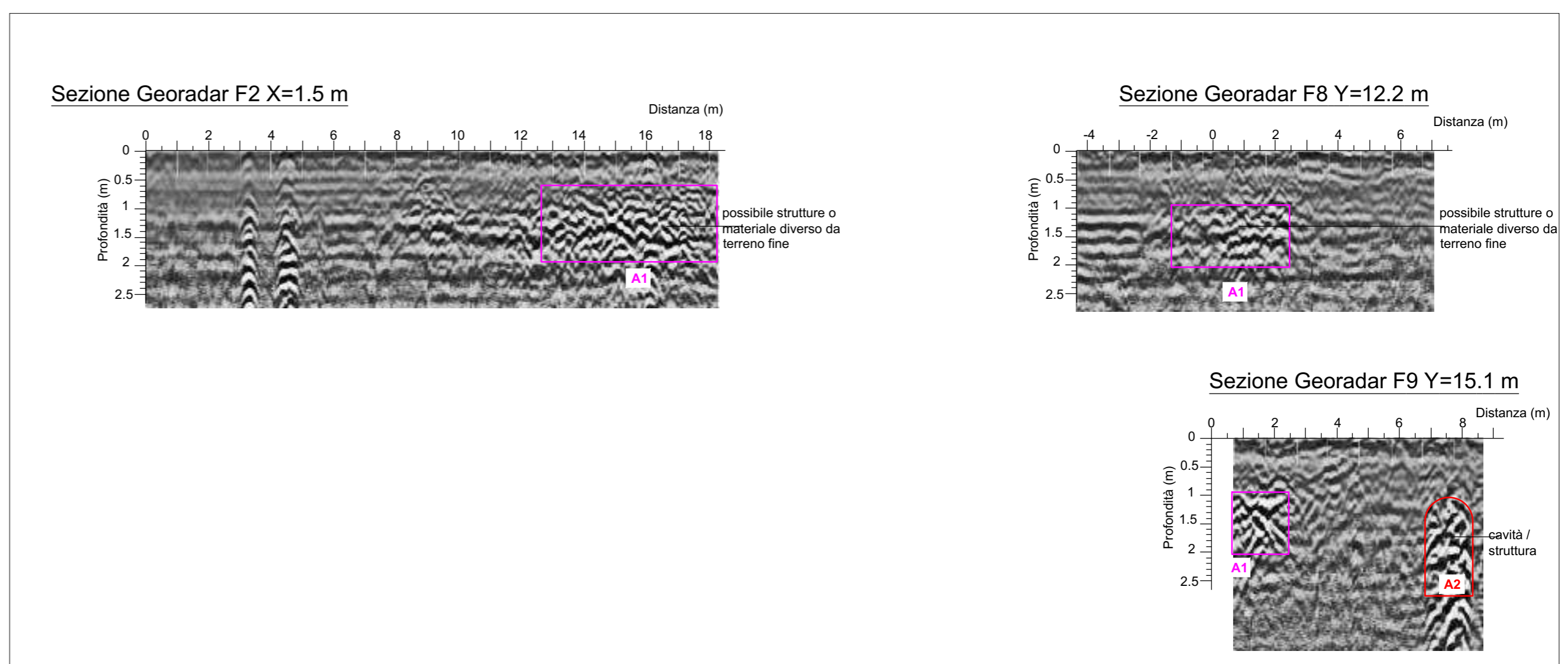
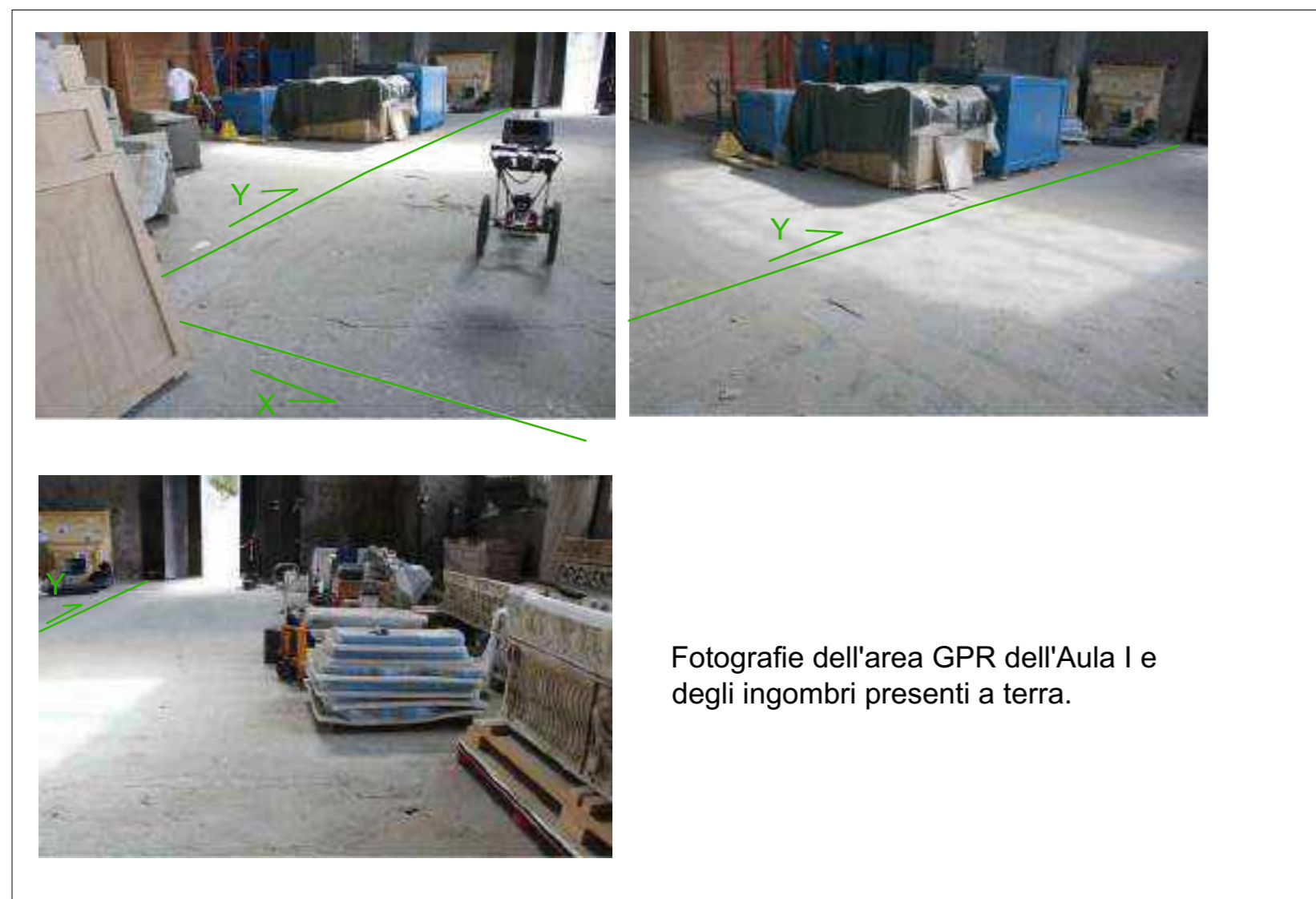
Anomalie individuate nell'Aula I (1/200)



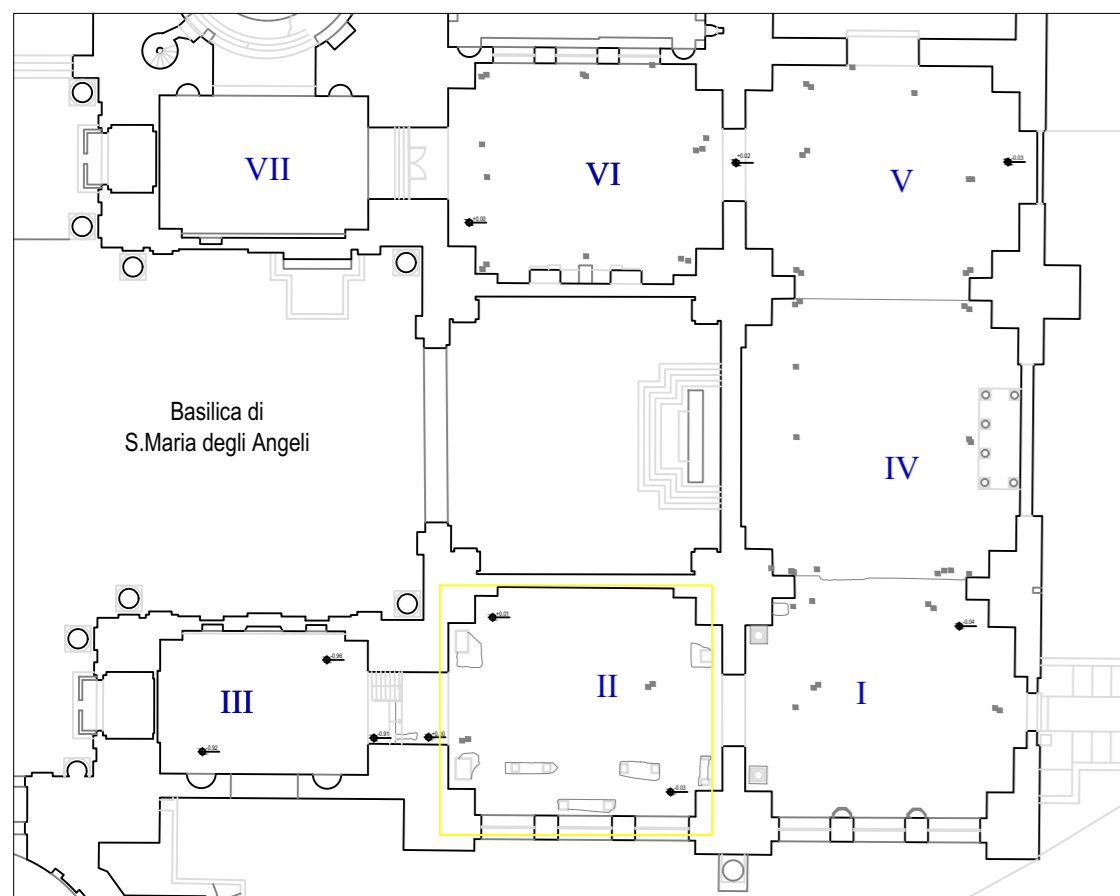
Anomalie individuate nell'Aula I sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

Assi XY
 Sezione Georadar acquisita
 Tombino rilevato
 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
 Anomalia/ cavità con intradosso voltato
 Anomalia/ cavità con intradosso piatto
 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
 Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
 Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

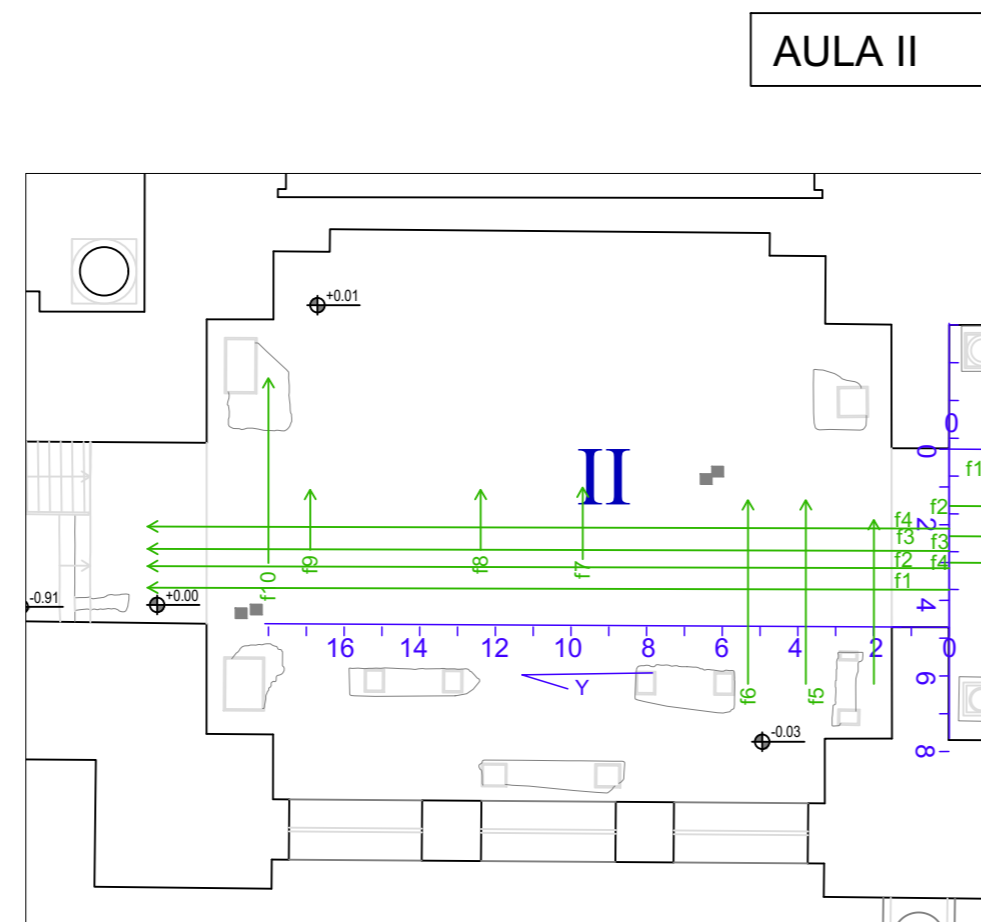
cunicoli di scarico
 accertati
 probabili
 dubbiosi
 cunicoli di adduzione
 accertati
 probabili
 dubbiosi
 Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



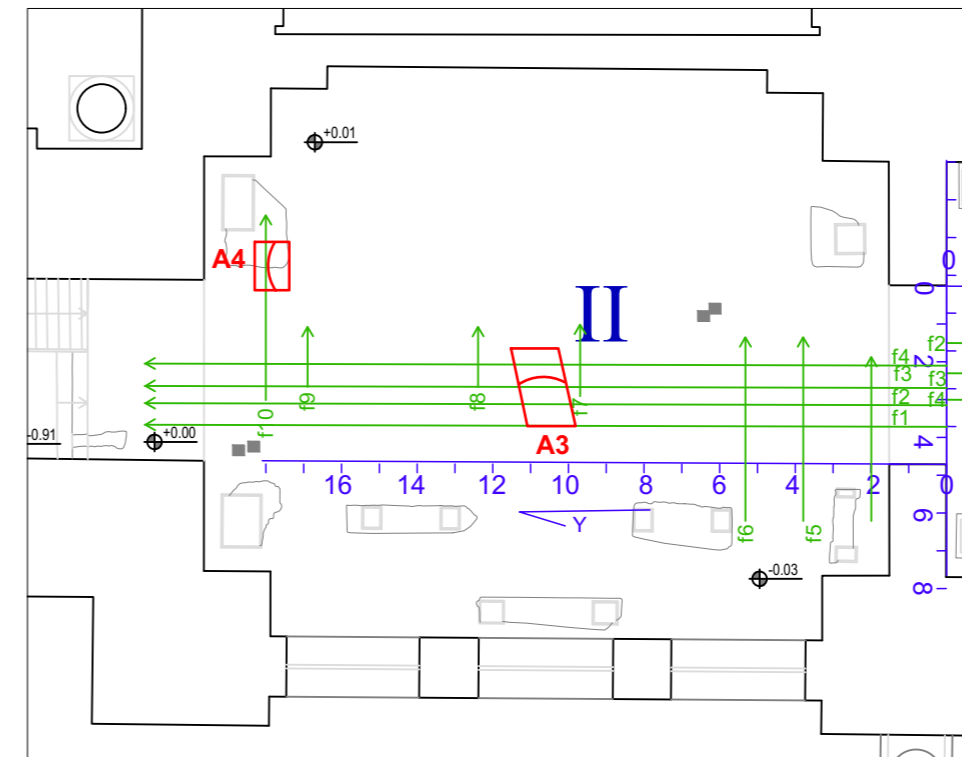
<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	CLIENTE Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano Terme di Diocleziano	PROGETTO Campagna di indagini, prove e rilievi per le strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma. CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001	OGGETTO Indagine Georadar a Terra_AULA I		TAVOLA <h1>1</h1>
			ELABORAZIONE Agathe Crespin VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara	DATA CONSEGNA Settembre 2022	



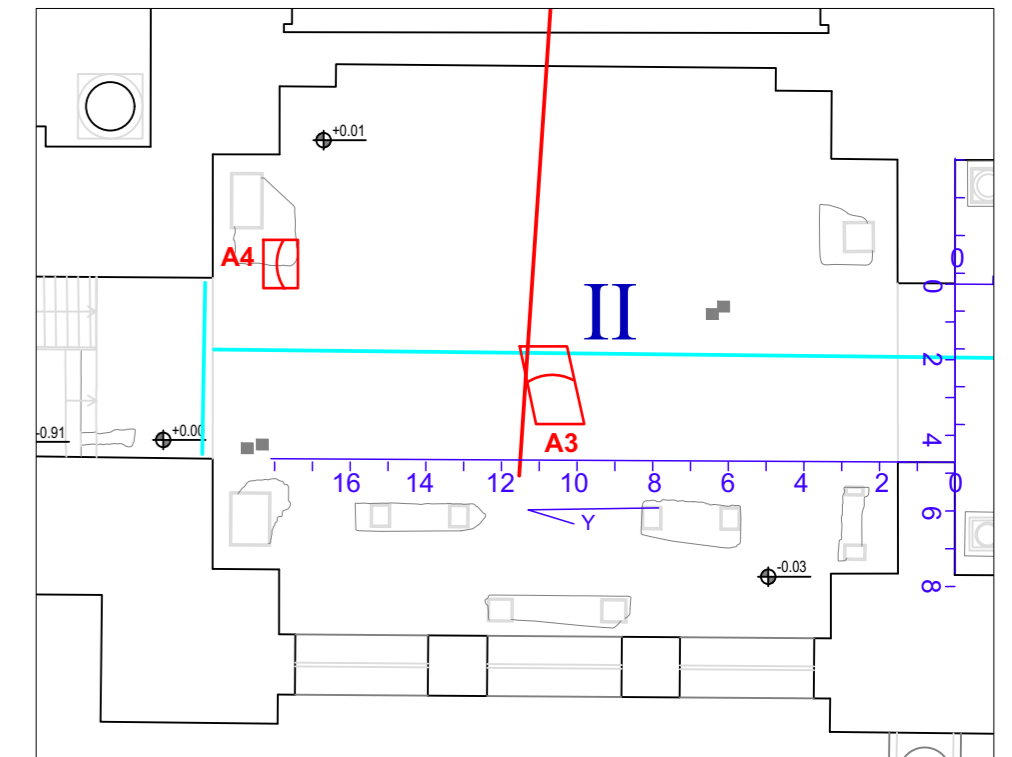
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula II (1/200)



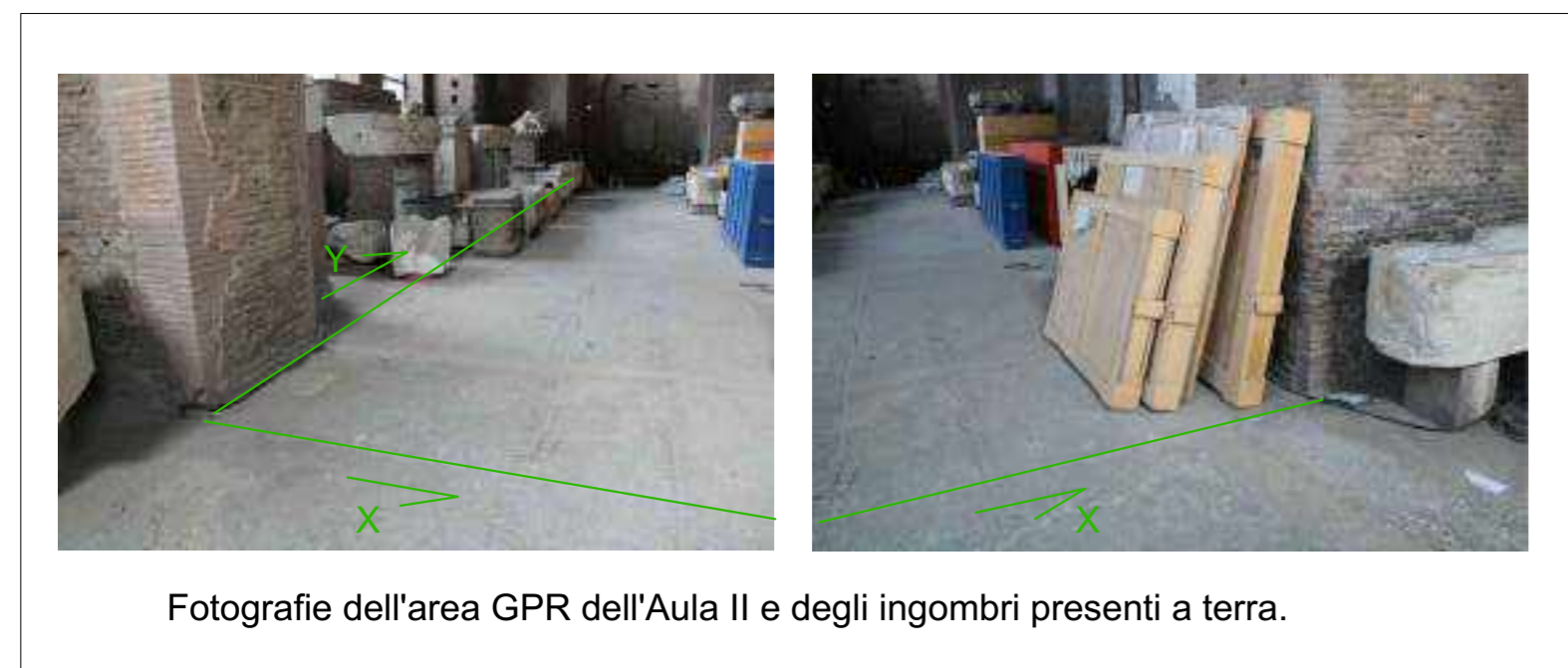
Anomalie individuate nell'Aula I (1/200)



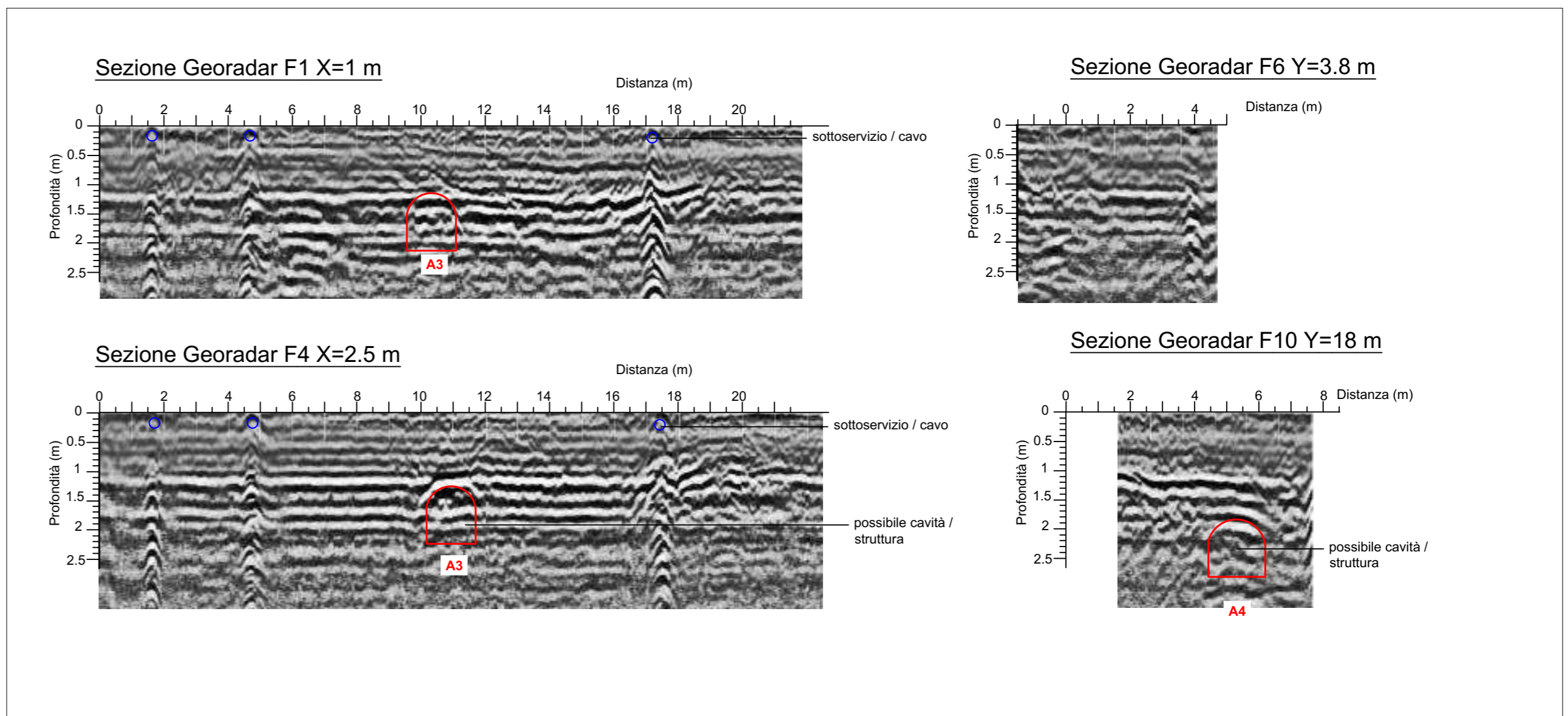
Anomalie individuate nell'Aula I sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

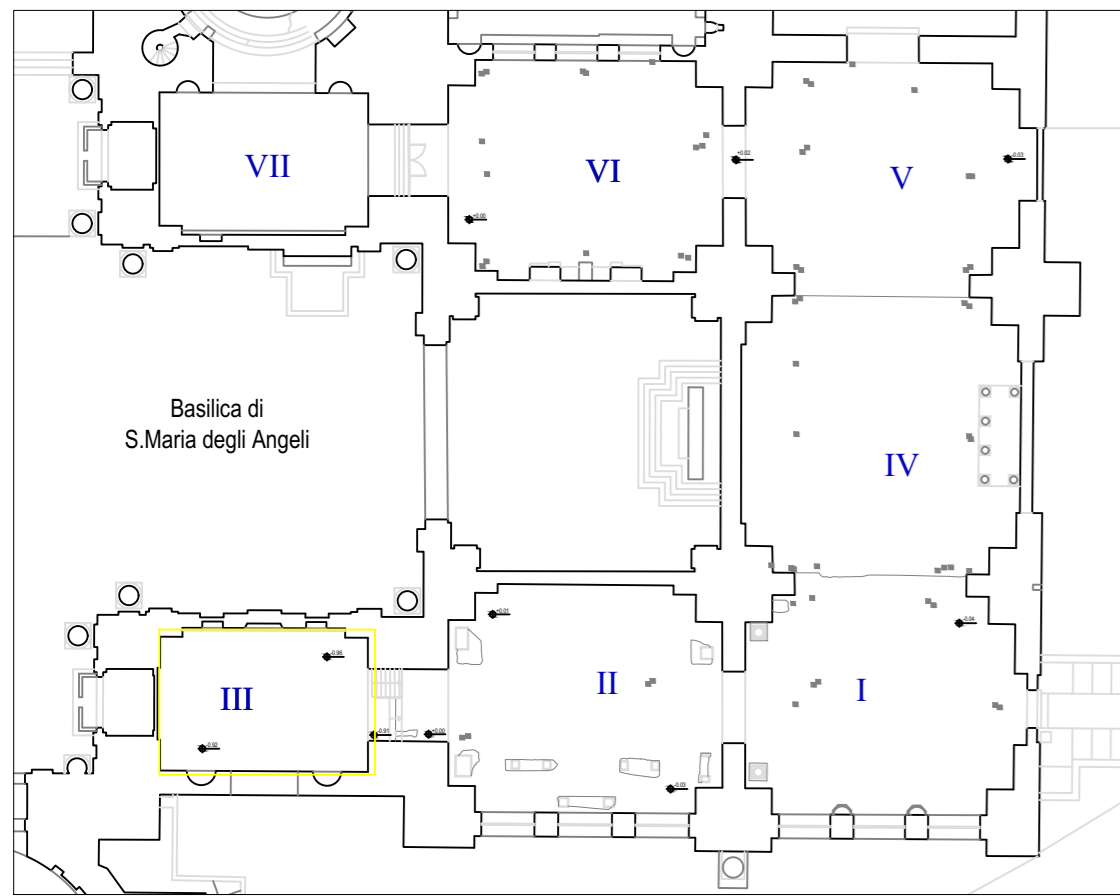
- Assi XY
- Sezione Georadar acquisita
- Tombino rilevato
- A1 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
- A2 Anomalia/ cavità con intradosso voltato
- A2 Anomalia/ cavità con intradosso piatto
- A3 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
- V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
- V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

- cunicoli di scarico
 - cunicoli di adduzione
 - accertati
 - probabili
 - dubbiosi
 - accertati
 - probabili
 - dubbiosi
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

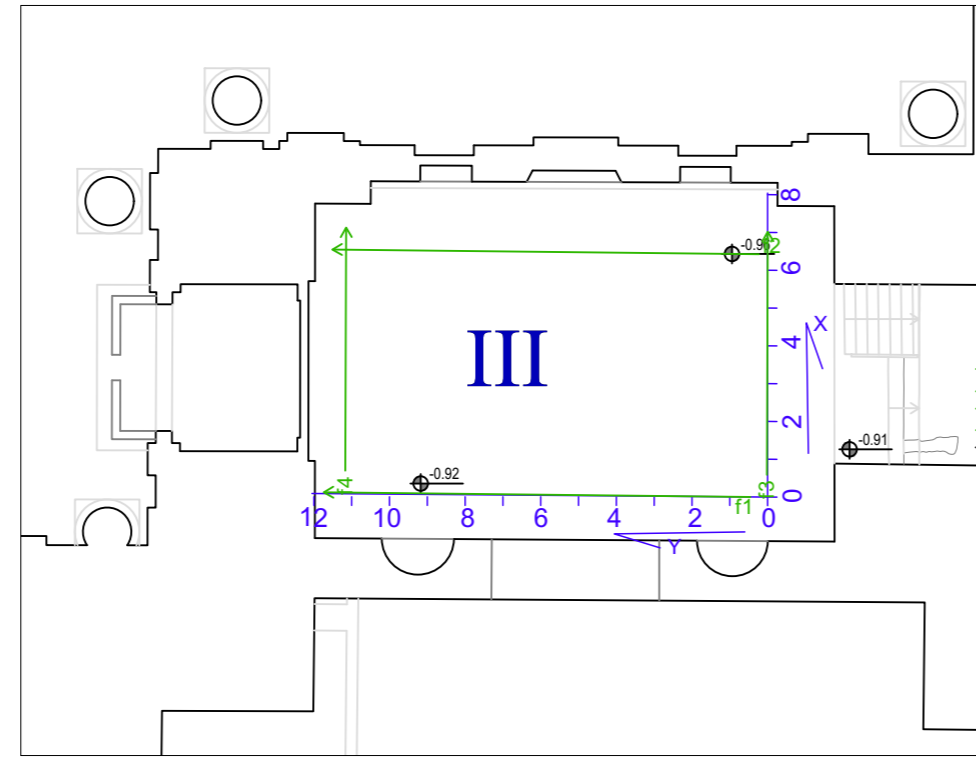


Fotografie dell'area GPR dell'Aula II e degli ingombri presenti a terra.

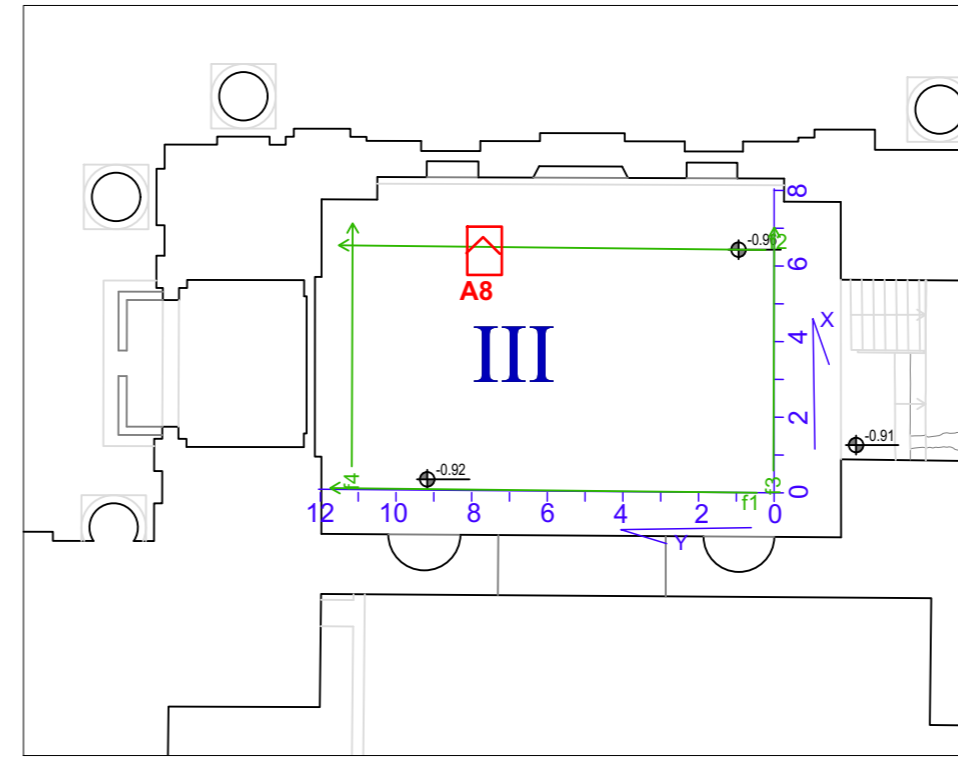




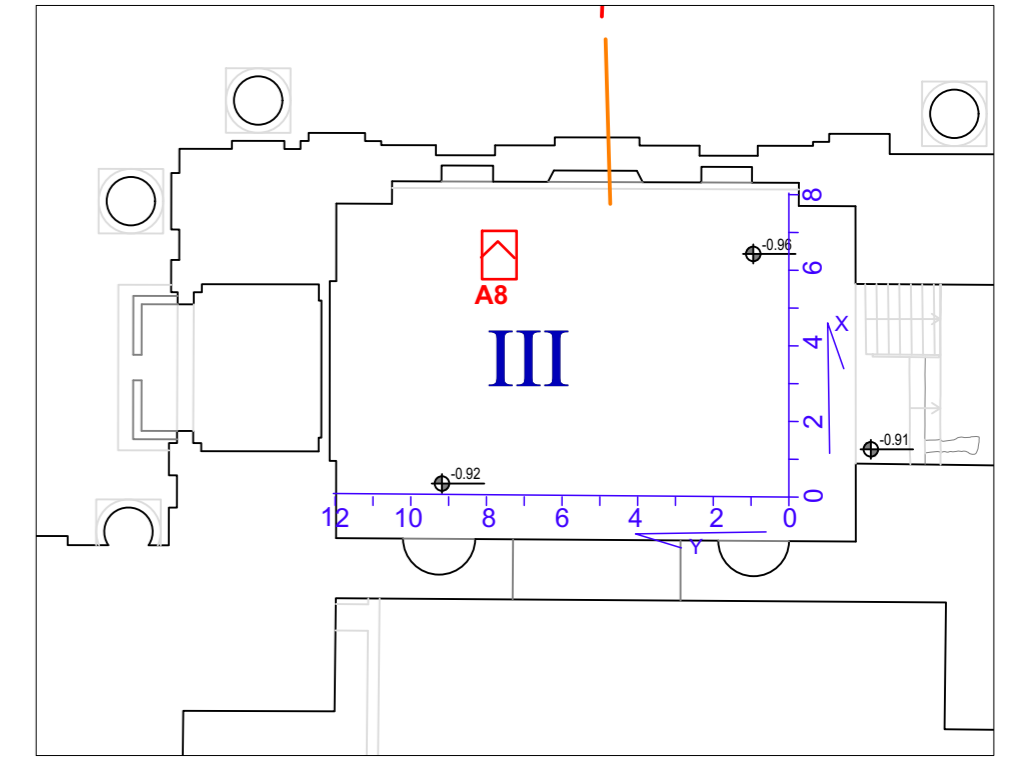
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula III (1/200)



Anomalie individuate nell'Aula III (1/200)



Anomalie individuate nell'Aula III sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

Assi XY

Sezione Georadar acquisita

Tombino rilevato

A1 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente

A2 Anomalia/ cavità con intradosso voltato

A3 Anomalia/ cavità con intradosso piatto

A3 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine

VI Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata

VI Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

cunicoli di scarico

accertati (solid orange line)

probabili (dashed orange line)

dubbi (dotted orange line)

cunicoli di adduzione

accertati (solid blue line)

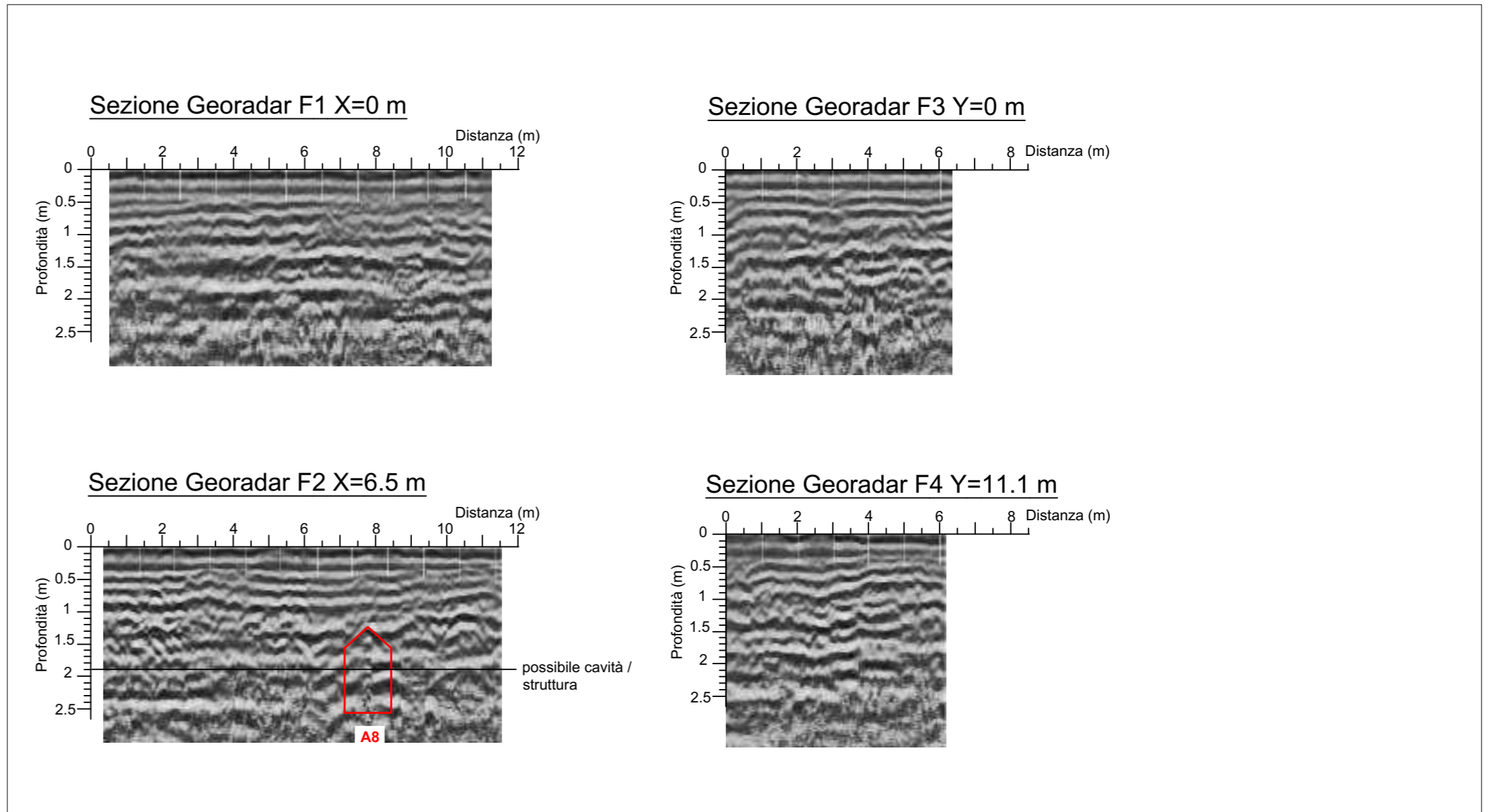
probabili (dashed blue line)

dubbi (dotted blue line)

Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



Fotografie dell'area GPR dell'Aula III e degli ingombri presenti a terra.



SOING Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura

Museo Nazionale Romano Terme di Diocleziano

PROGETTO

Campagna di indagini, prove e rilievi per le strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma.

CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO

Indagine Georadar a Terra_Aula III

ELABORAZIONE Agathe Crespin
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA

Settembre 2022

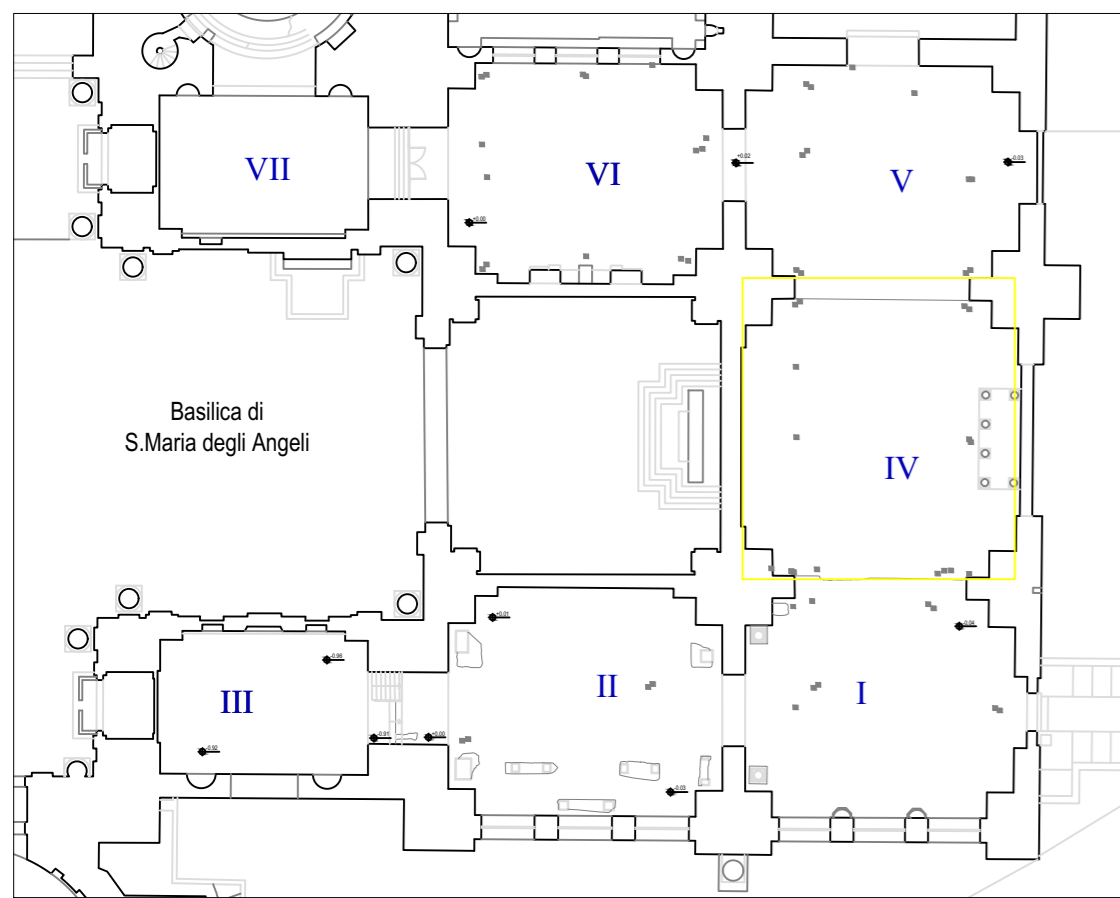
RIF. INTERNI

CO-049_22_archi

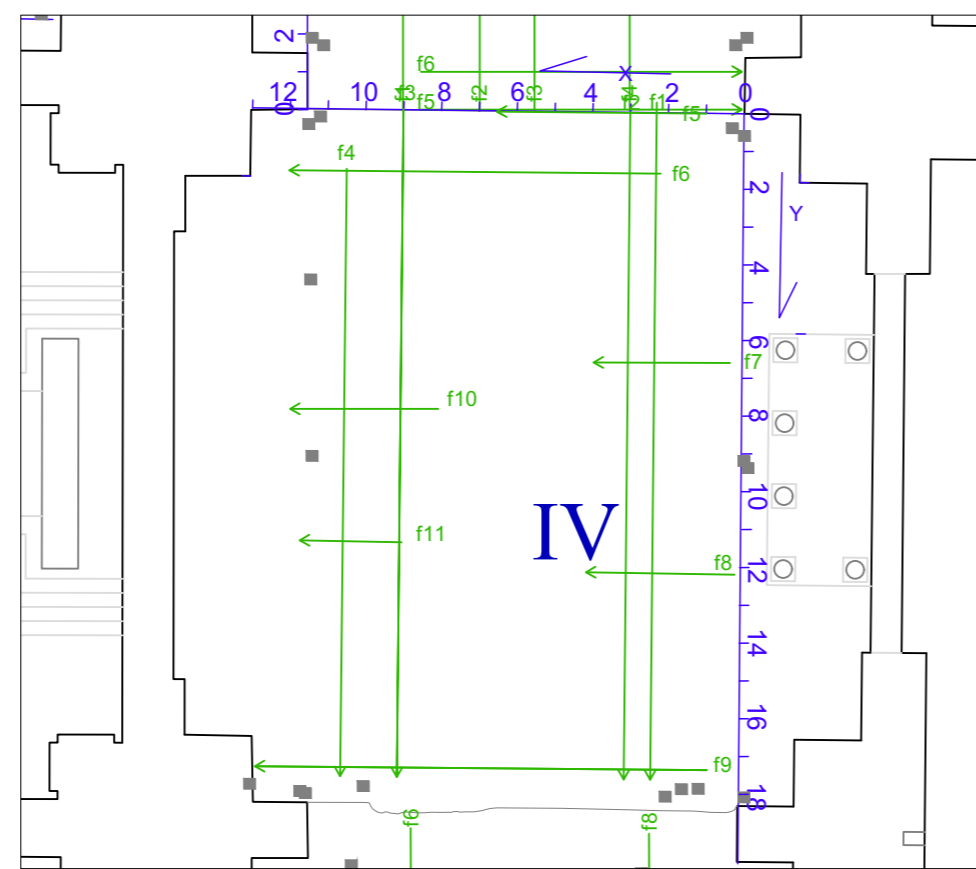
TAVOLA

3

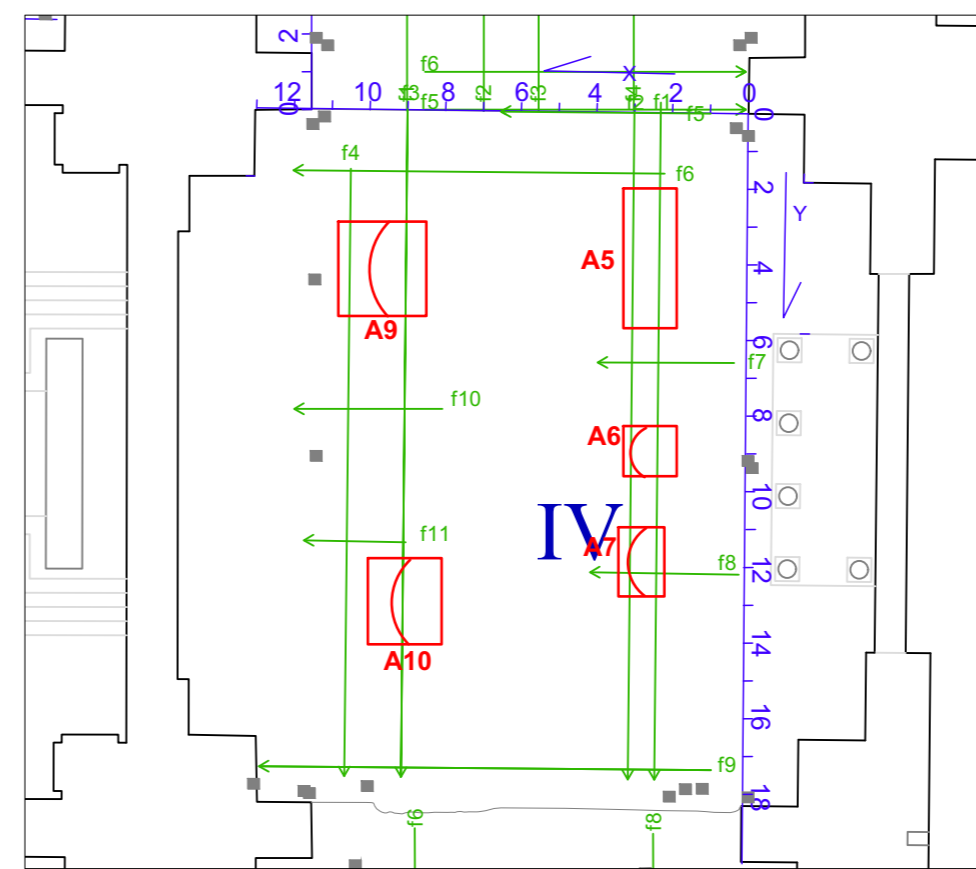
Aula IV



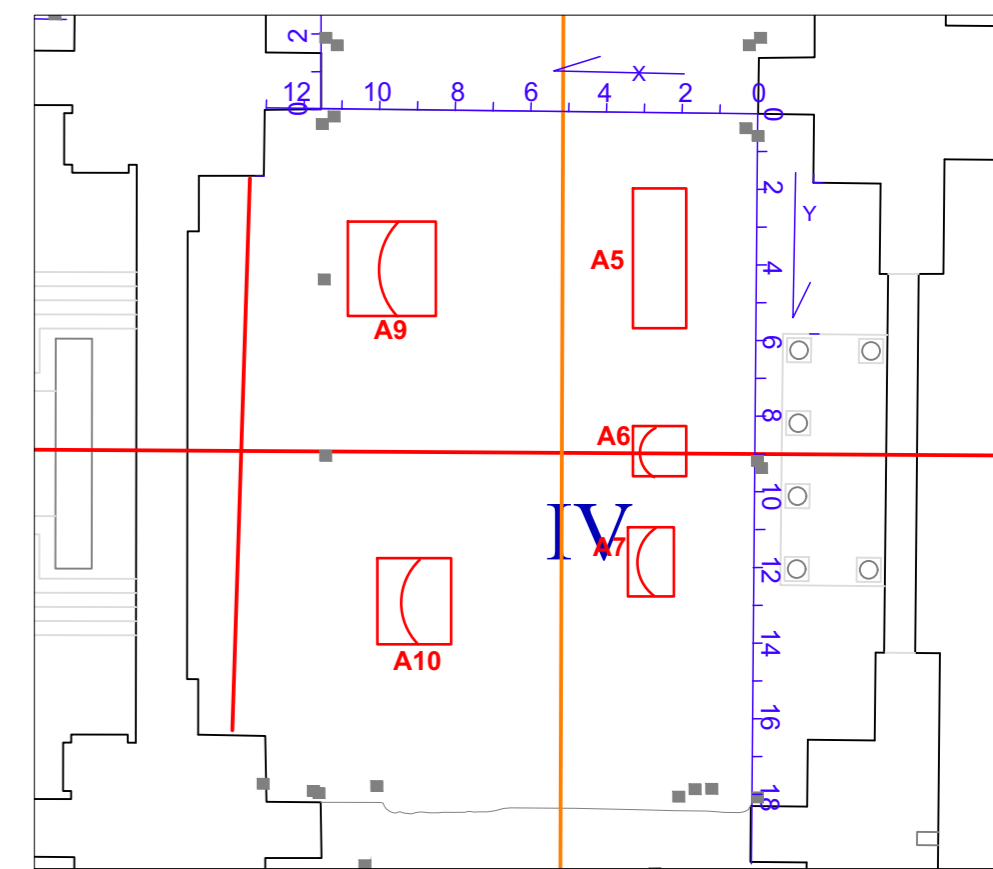
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula IV (1/200)



Anomalie individuate nell'Aula IV (1/200)



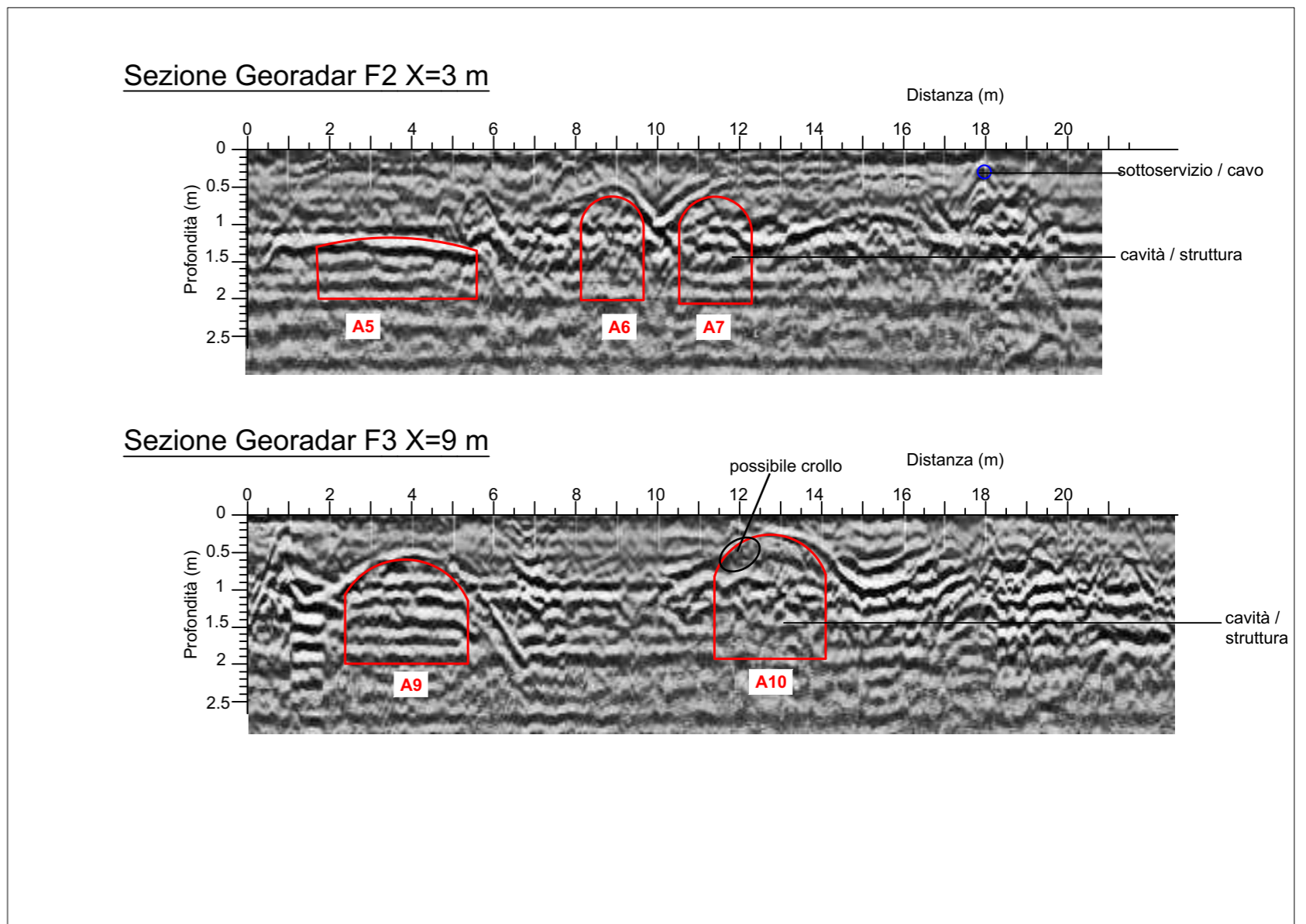
Anomalie individuate nell'Aula IV sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

- Assi XY
- Sezione Georadar acquisita
- Tombino rilevato
- A1 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
- A2 Anomalia/ cavità con intradosso voltato
- A3 Anomalia/ cavità con intradosso piatto
- A4 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
- V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
- V2 Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

- cunicoli di scarico accertati
 - cunicoli di scarico probabili
 - cunicoli di scarico dubbiosi
 - cunicoli di adduzione accertati
 - cunicoli di adduzione probabili
 - cunicoli di adduzione dubbiosi
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



Fotografie dell'area GPR dell'Aula IV e degli ingombri presenti a terra.



SOING
Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano

PROGETTO
Campagna di indagini, prove e rilievi per le strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma.
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

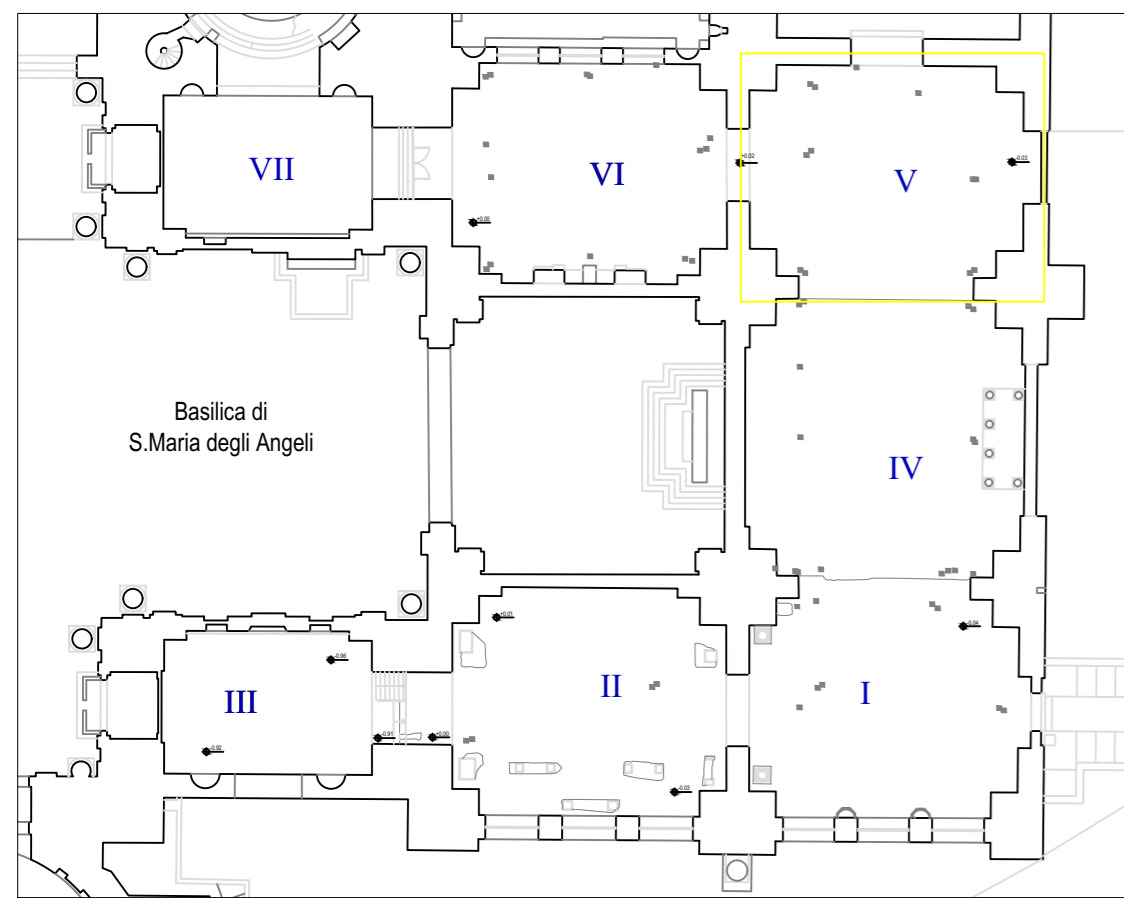
OGGETTO
Indagine Georadar a Terra_Aula IV
ELABORAZIONE Agathe Crespin
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA
Settembre 2022

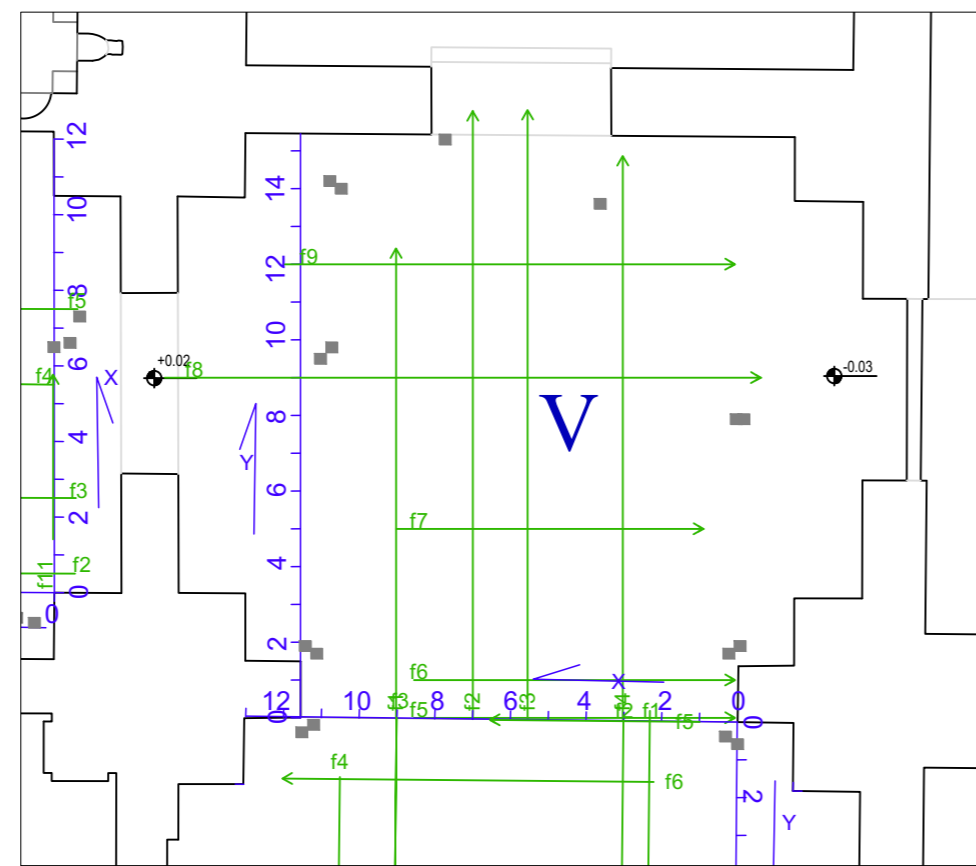
RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
4

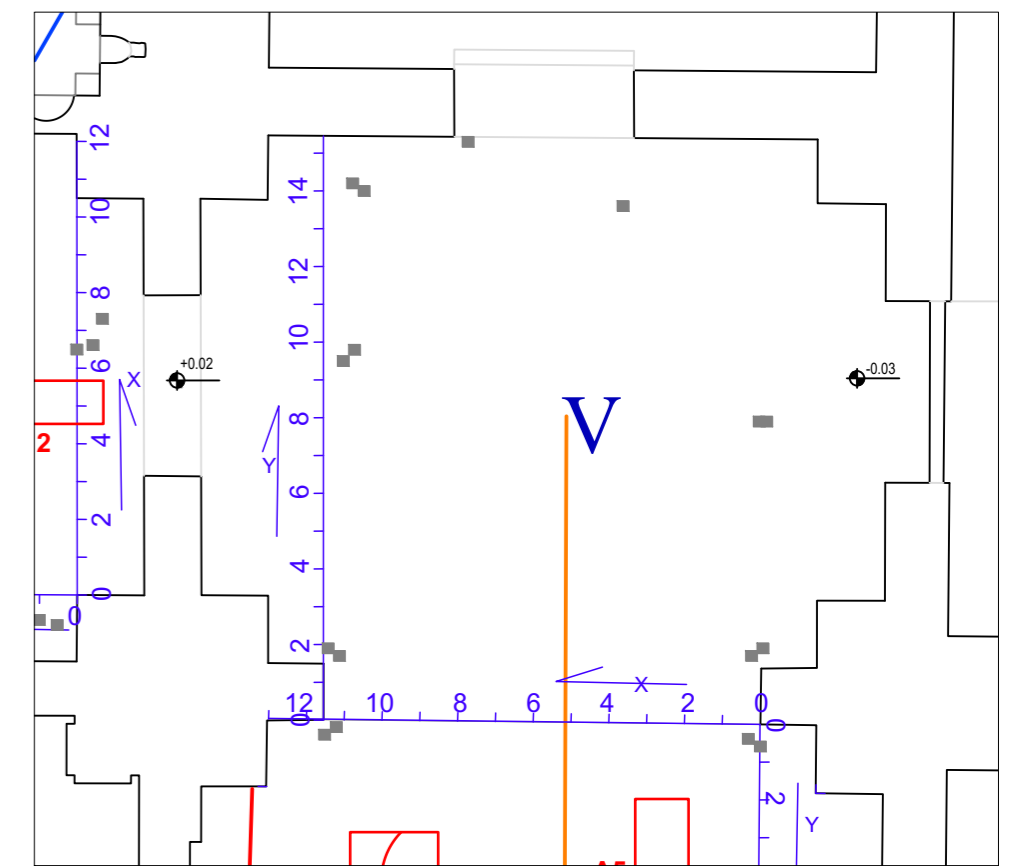
Aula V



Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



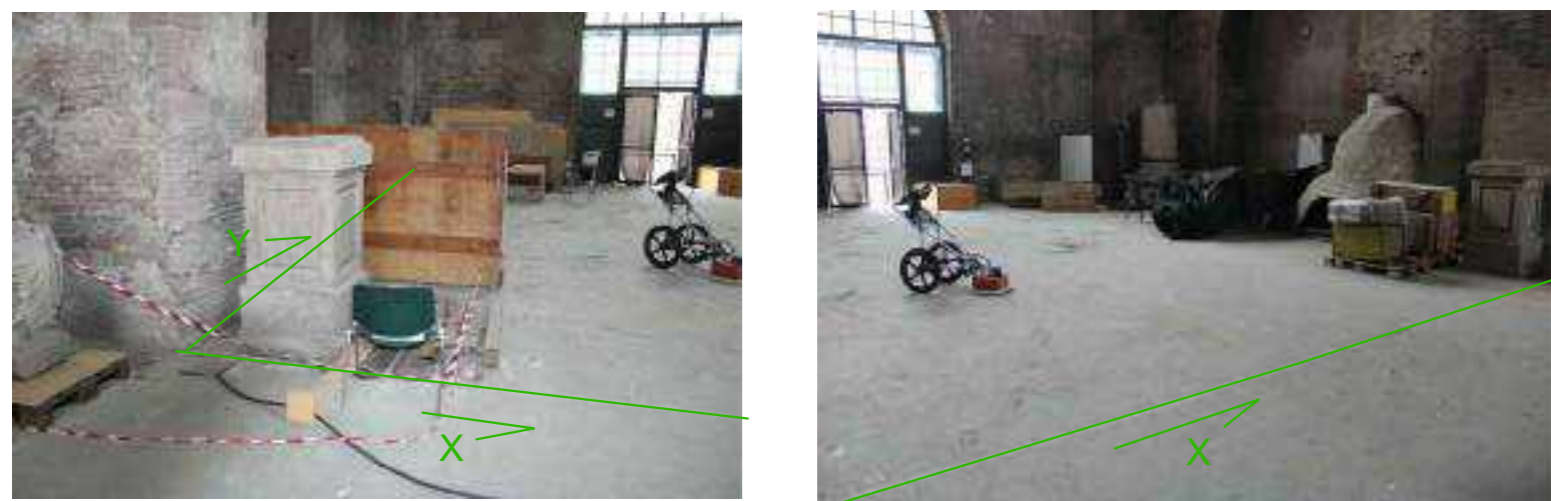
Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula V (1/200)



Anomalie individuate nell'Aula V sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

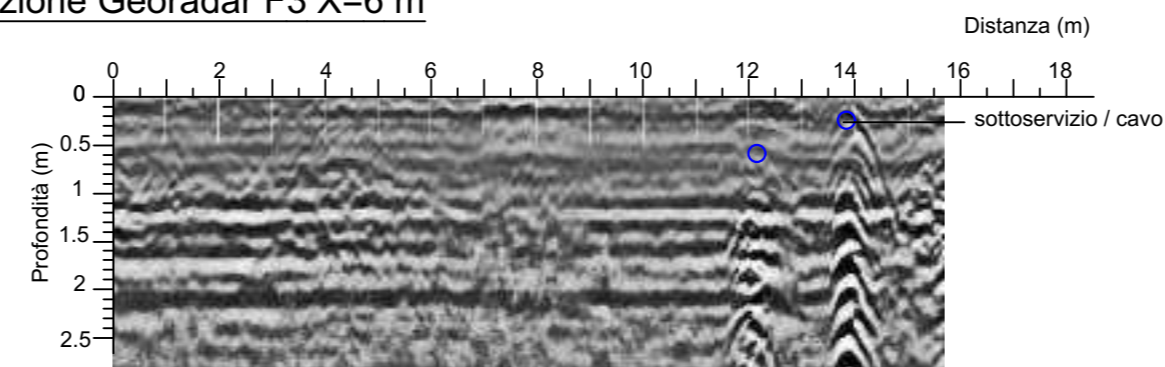
- Assi XY
- Sezione Georadar acquisita
- Tombino rilevato
- Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
- Anomalia/ cavità con intradosso voltato
- Anomalia/ cavità con intradosso piatto
- Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
- Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
- Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

- cunicoli di scarico**
 - accertati
 - probabili
 - dubbiosi
 - cunicoli di adduzione**
 - accertati
 - probabili
 - dubbiosi
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

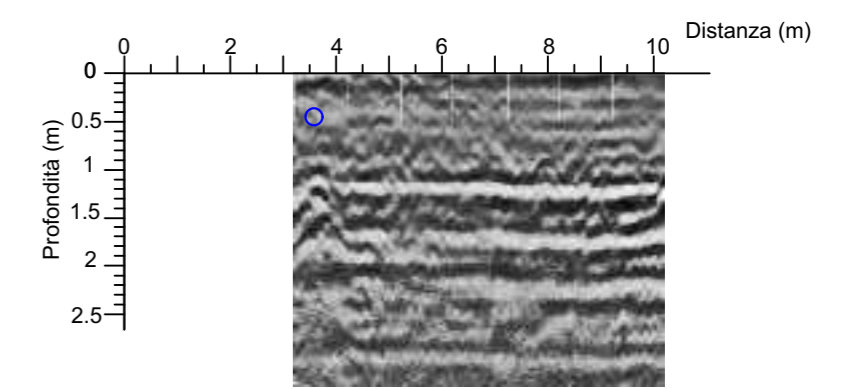


Fotografie dell'area GPR dell'Aula V e degli ingombri presenti a terra.

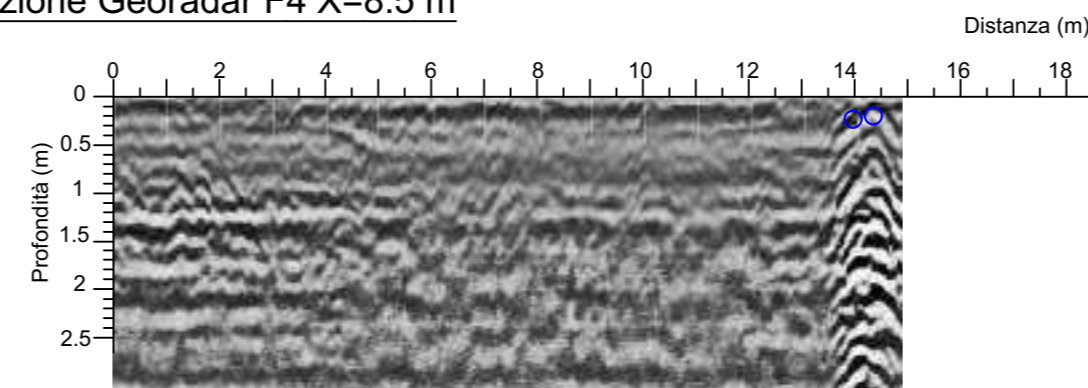
Sezione Georadar F3 X=6 m



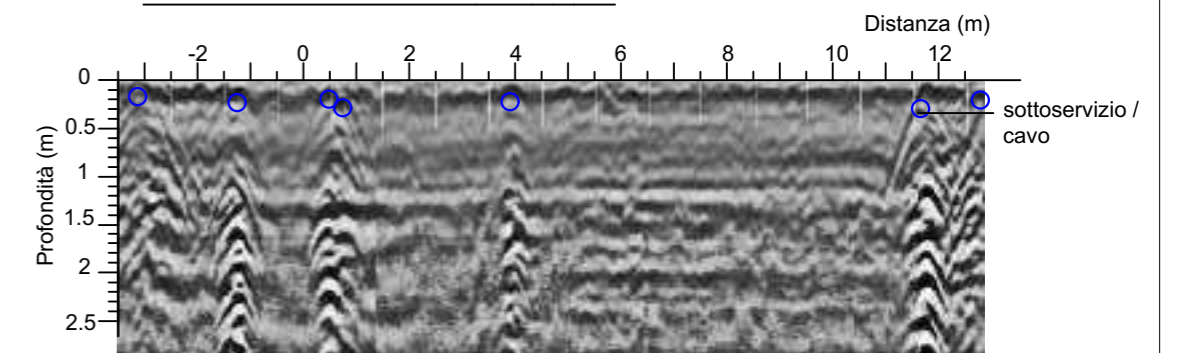
Sezione Georadar F6 Y=1 m



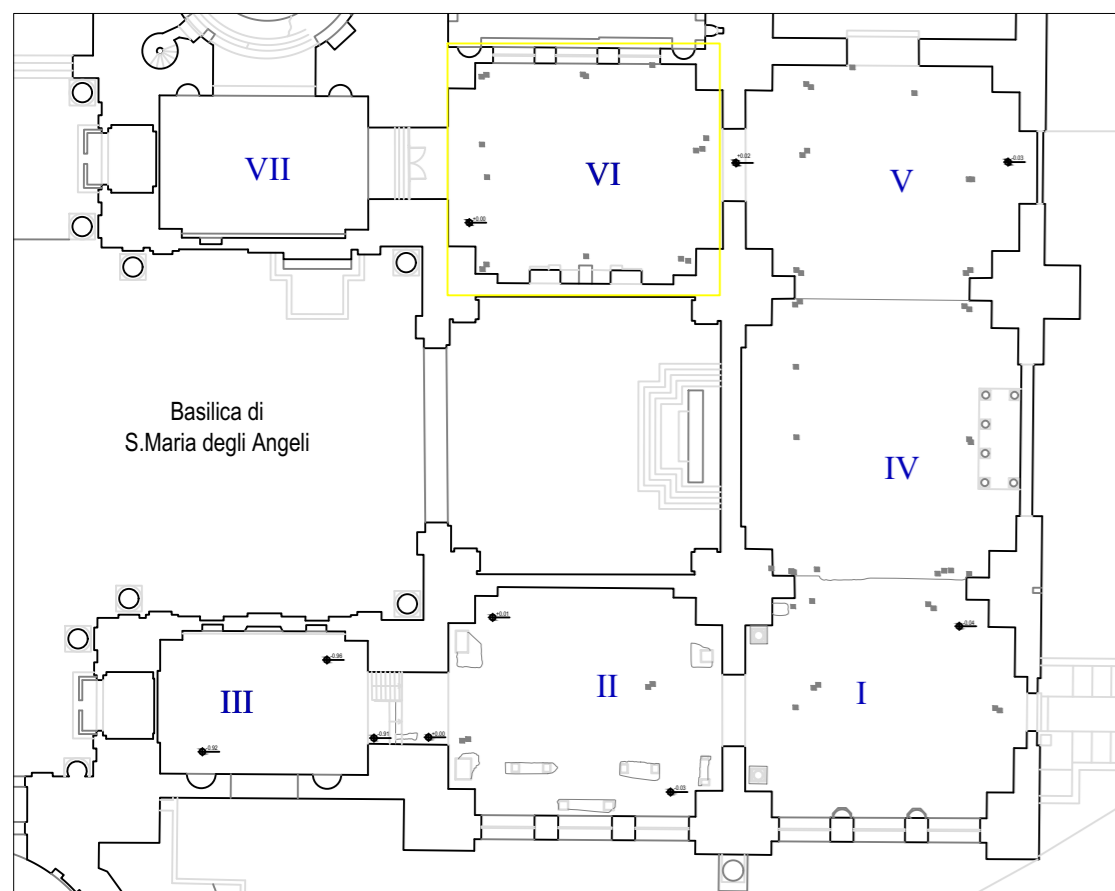
Sezione Georadar F4 X=8.5 m



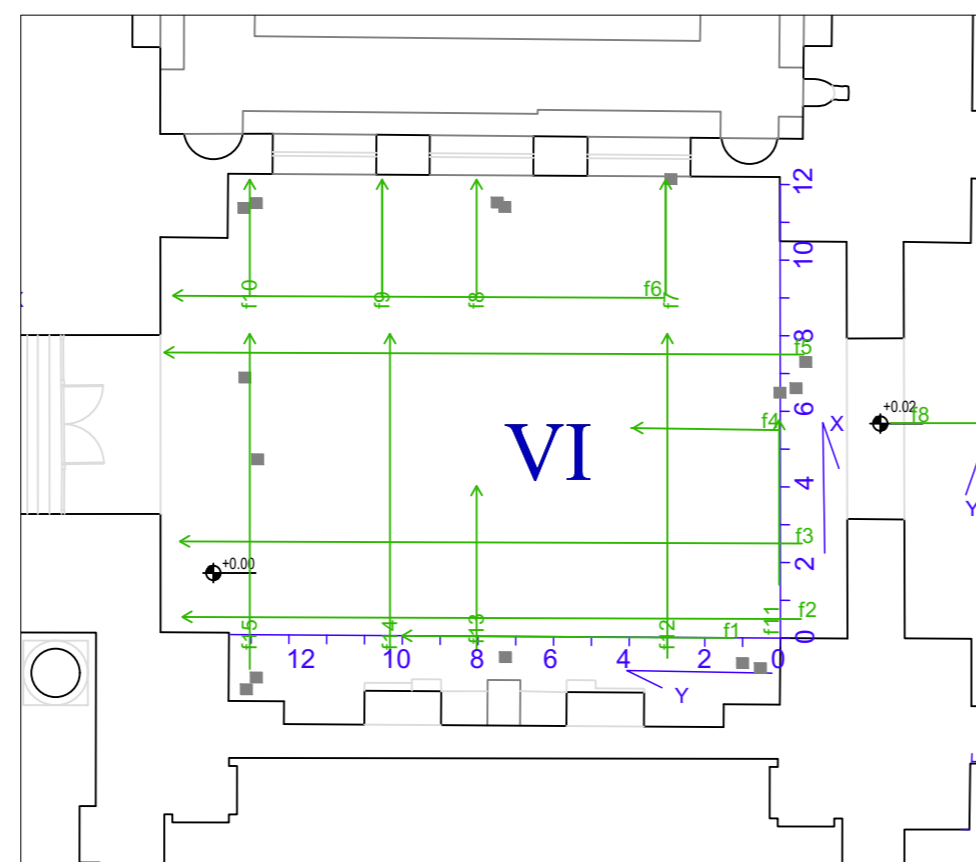
Sezione Georadar F8 Y=9 m



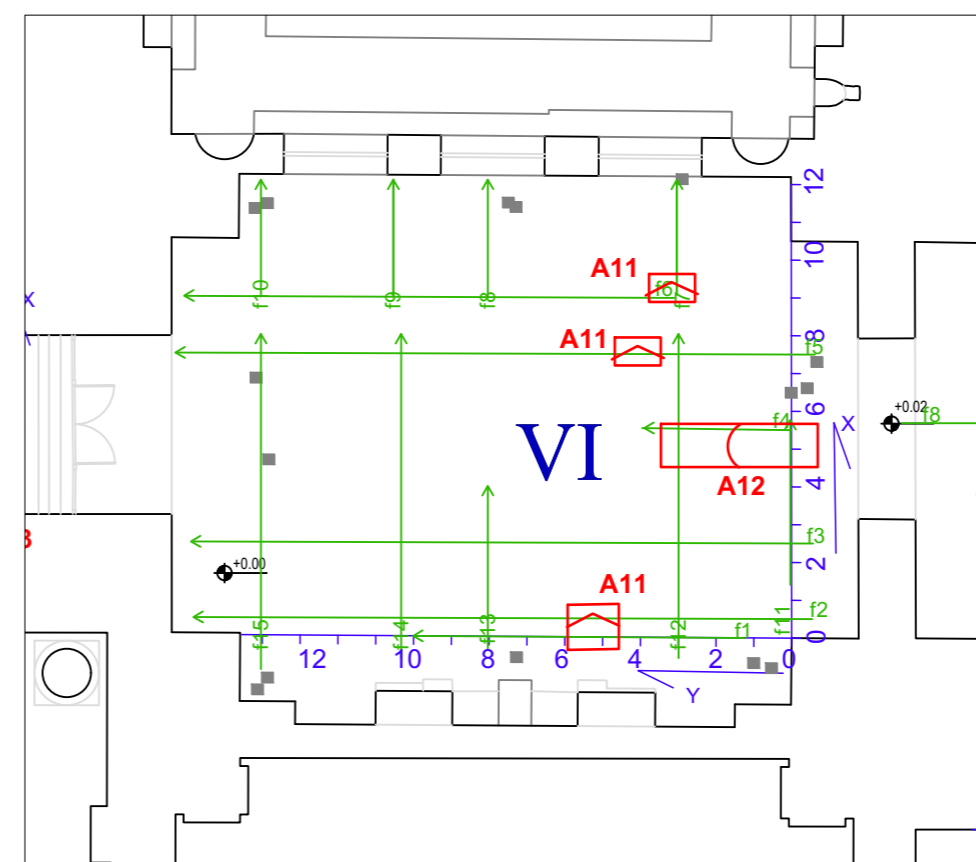
Aula VI



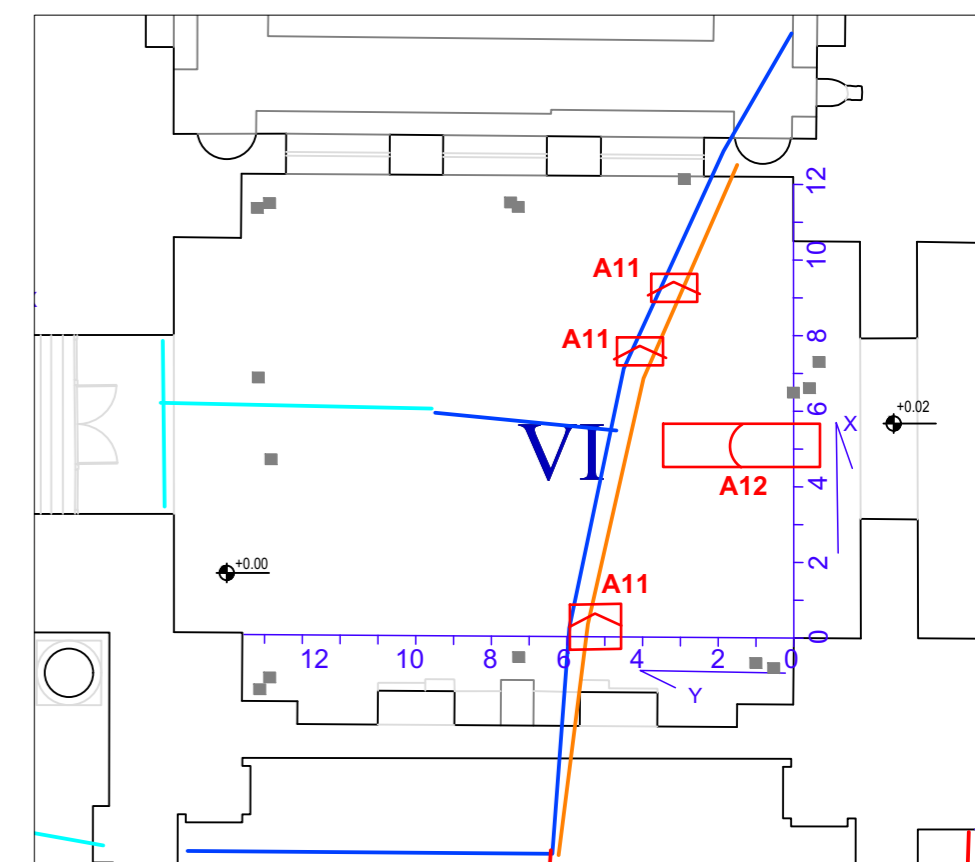
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula VI (1/200)

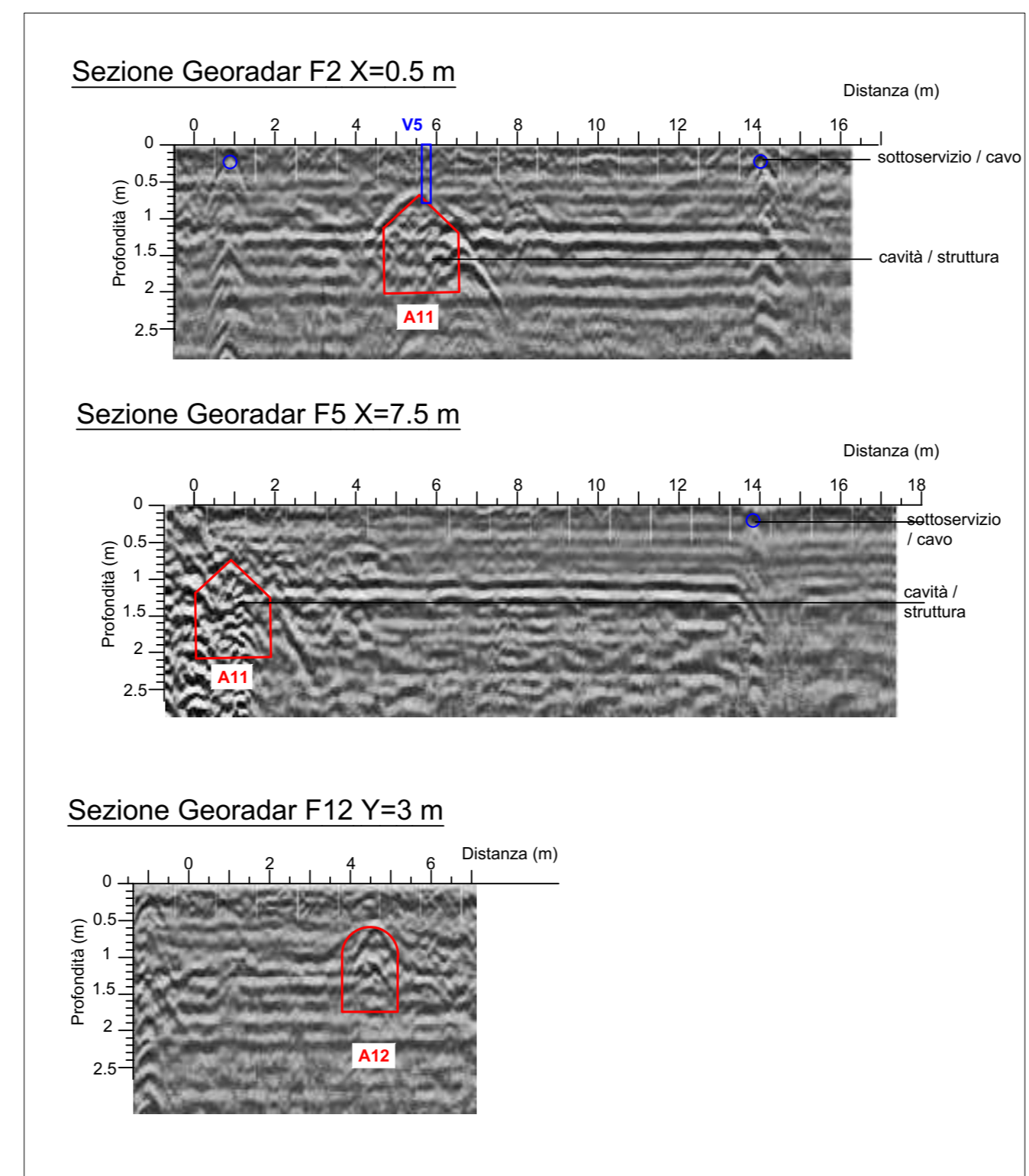


Anomalie individuate nell'Aula VI (1/200)



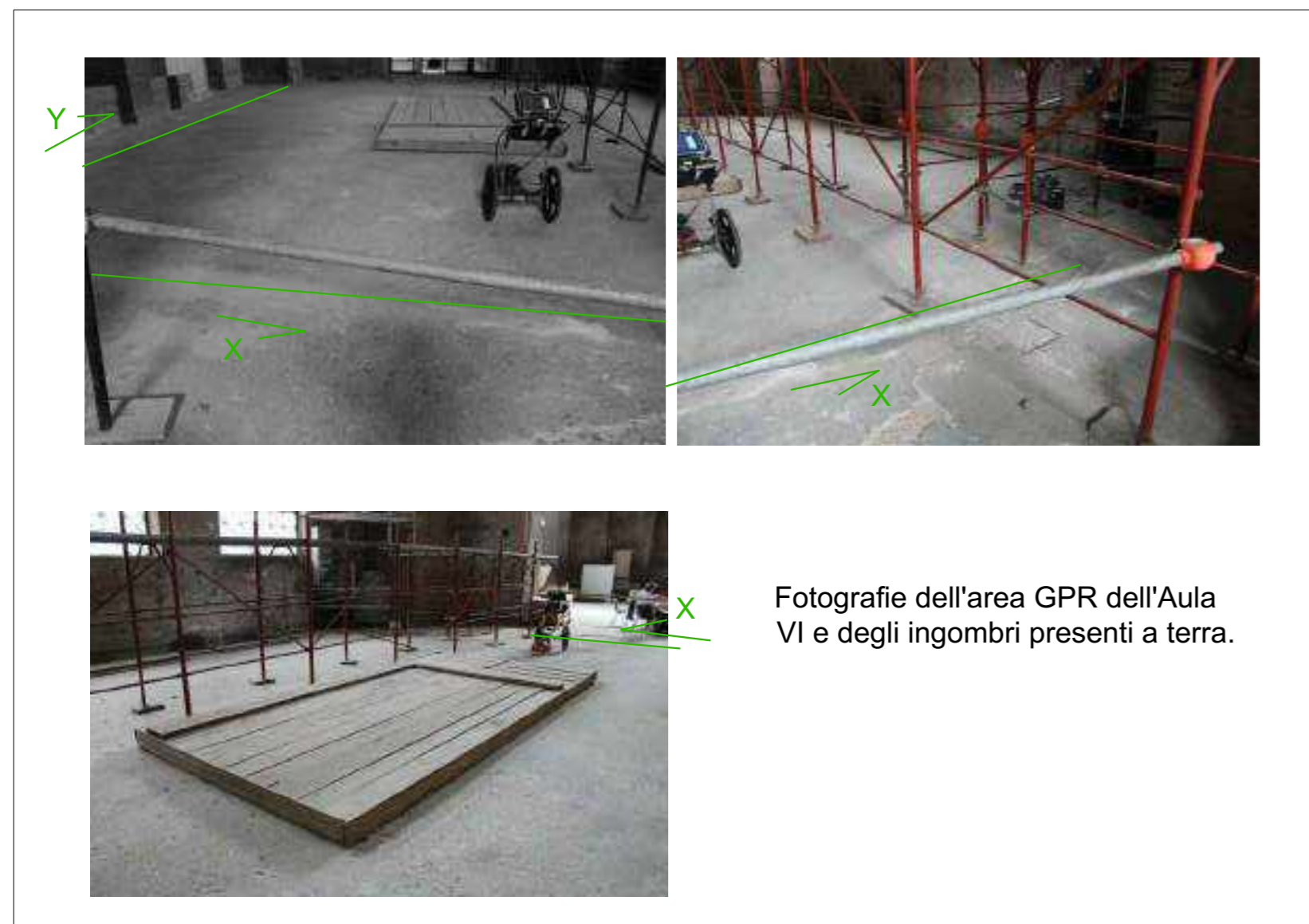
Anomalie individuate nell'Aula VI sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

+ Assi XY
— Sezione Georadar acquisita
■ Tombino rilevato
A1 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
A2 Anomalia/ cavità con intradosso voltato
A2 Anomalia/ cavità con intradosso piatto
A3 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata



— cunicoli di scarico accertati
— cunicoli di scarico probabili
— cunicoli di scarico dubbiosi
— cunicoli di adduzione accertati
— cunicoli di adduzione probabili
— cunicoli di adduzione dubbiosi

Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



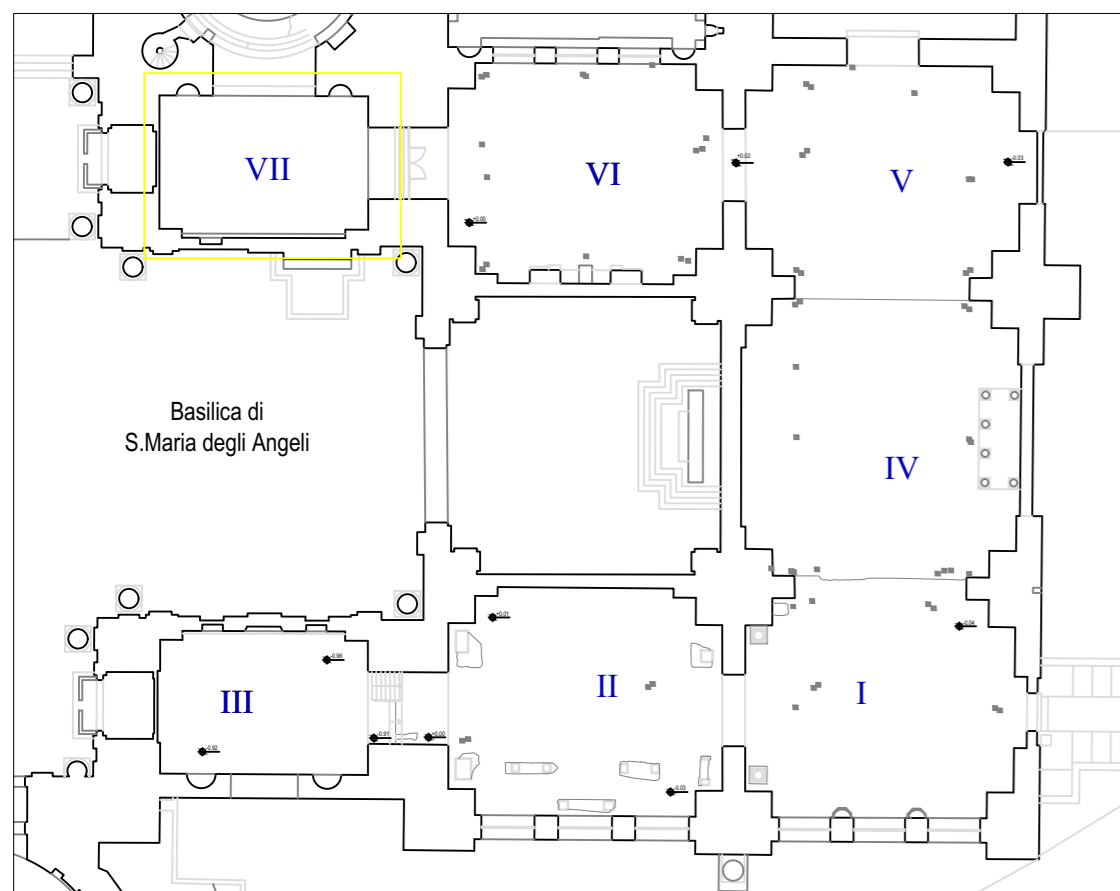
Video endoscopia V5

Profondità (m): 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5
 Distanza (m): 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18

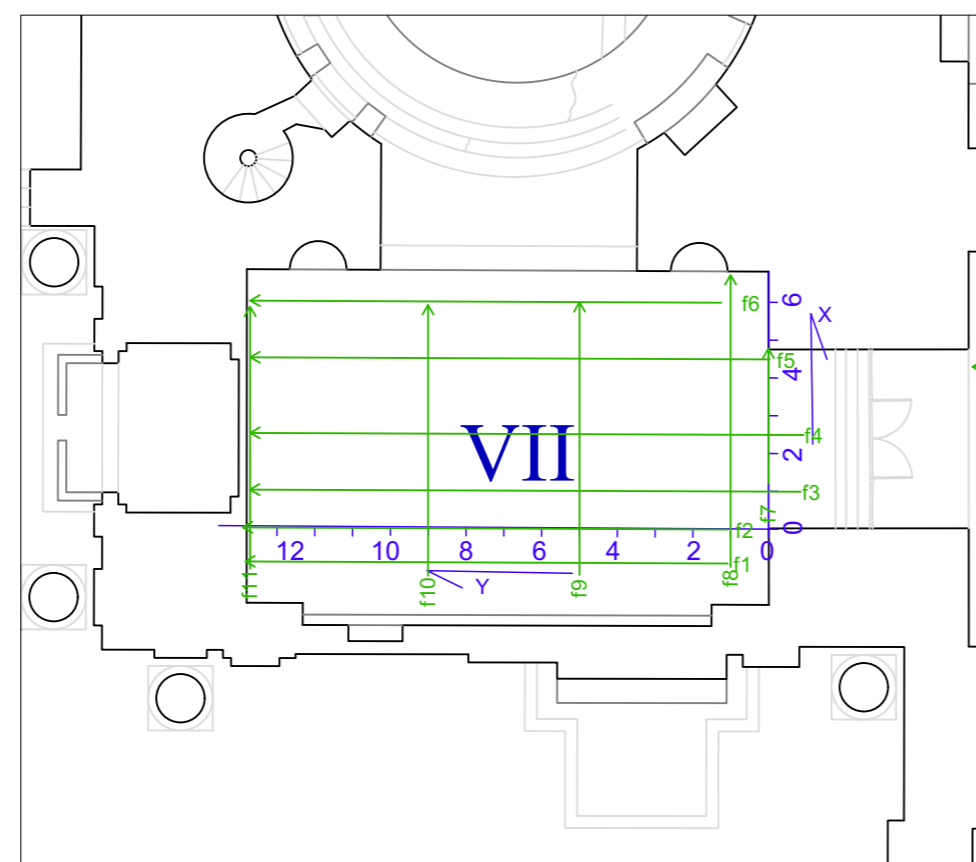
materiale di riporto
 Vuoto della cavità (cunicolo a doppio spiovente)
 "Melma" materiale morbido facilmente penetrabile

Inizio cavità
 materiale di riporto
 intradosso a doppio spiovente
 parete cunicolo
 parete cunicolo
 fondo cunicolo
 inizio "volta" a doppio spiovente
 parete cunicolo
 intradosso del cunicolo e fibra ottica

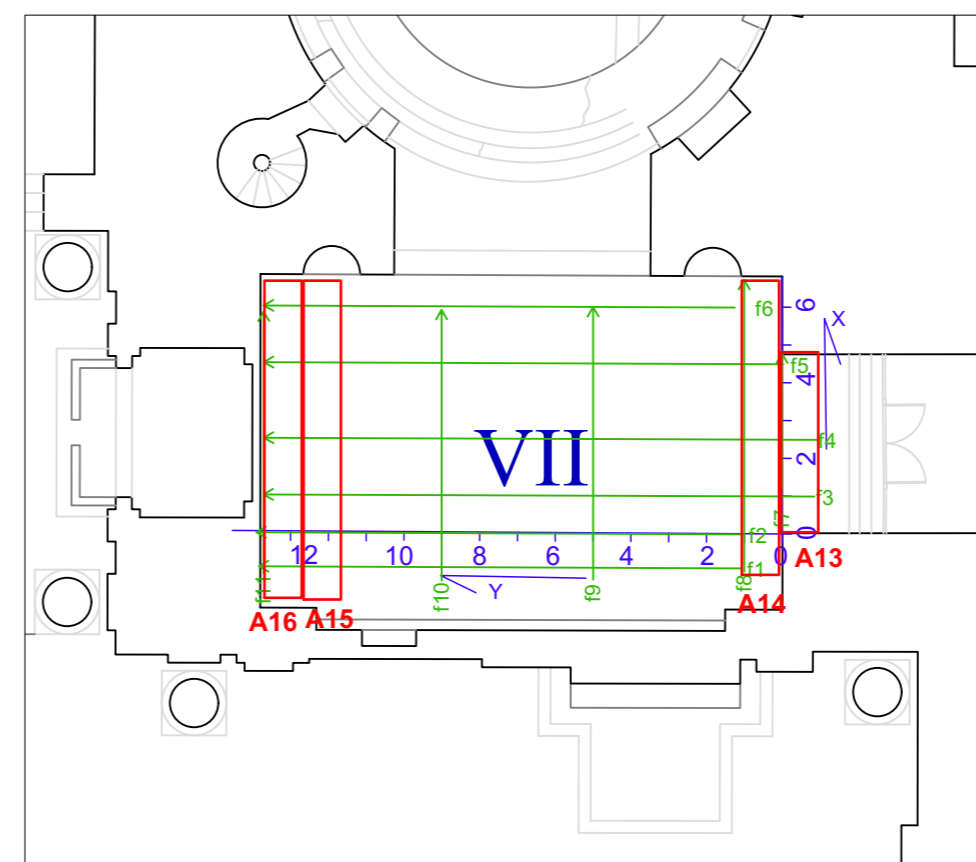
Aula VII



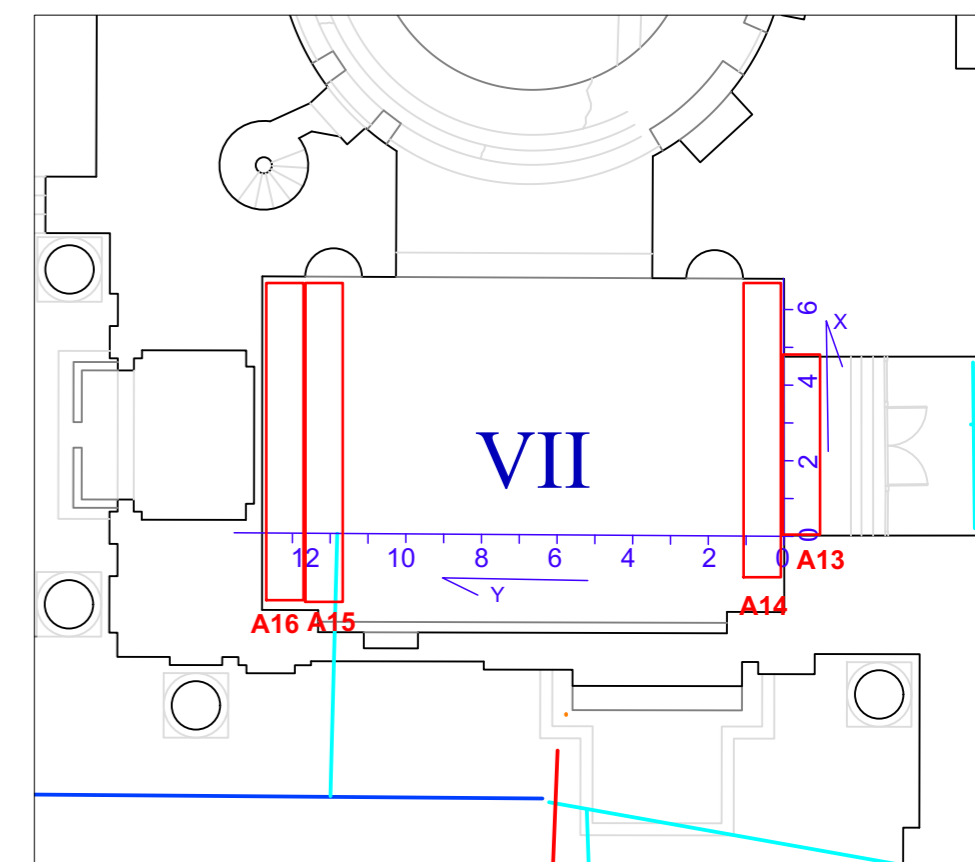
Planimetria delle aree di indagine GPR a terra (1/500)



Ubicazione dell'area di indagine e copertura dell'Aula VII (1/200)



Anomalie individuate nell'Aula VII (1/200)

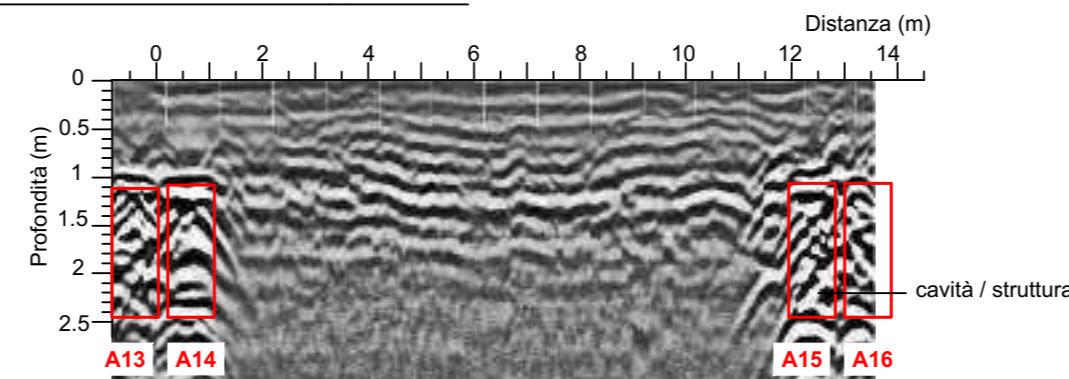


Anomalie individuate nell'Aula VII sovrapposte alle tracce dei cunicoli noti (1/200)

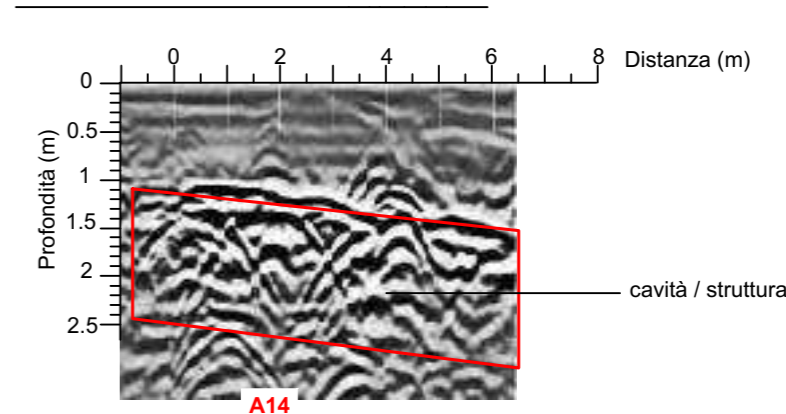
- Asse XY
- Sezione Georadar acquisita
- Tombino rilevato
- A1 Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
- A2 Anomalia/ cavità con intradosso voltato
- A2 Anomalia/ cavità con intradosso piatto
- A3 Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
- V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
- V1 Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

- cunicoli di scarico
 - accertati
 - probabili
 - dubbi
 - cunicoli di adduzione
 - accertati
 - probabili
 - dubbi
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

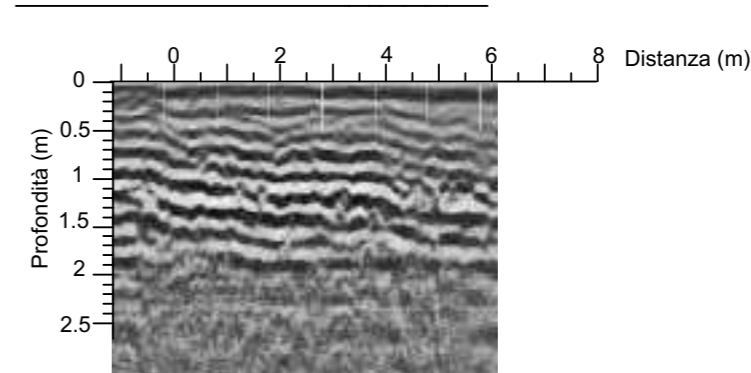
Sezione Georadar F3 X=1 m



Sezione Georadar F8 Y=1 m



Sezione Georadar F9 Y=5 m



Fotografie dell'area GPR dell'Aula VII e degli ingombri presenti a terra.



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano

PROGETTO
Campagna di indagini, prove e rilievi per le strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma.
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO
Indagine Georadar a Terra_Aula VII
ELABORAZIONE Agathe Crespin
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA
Settembre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

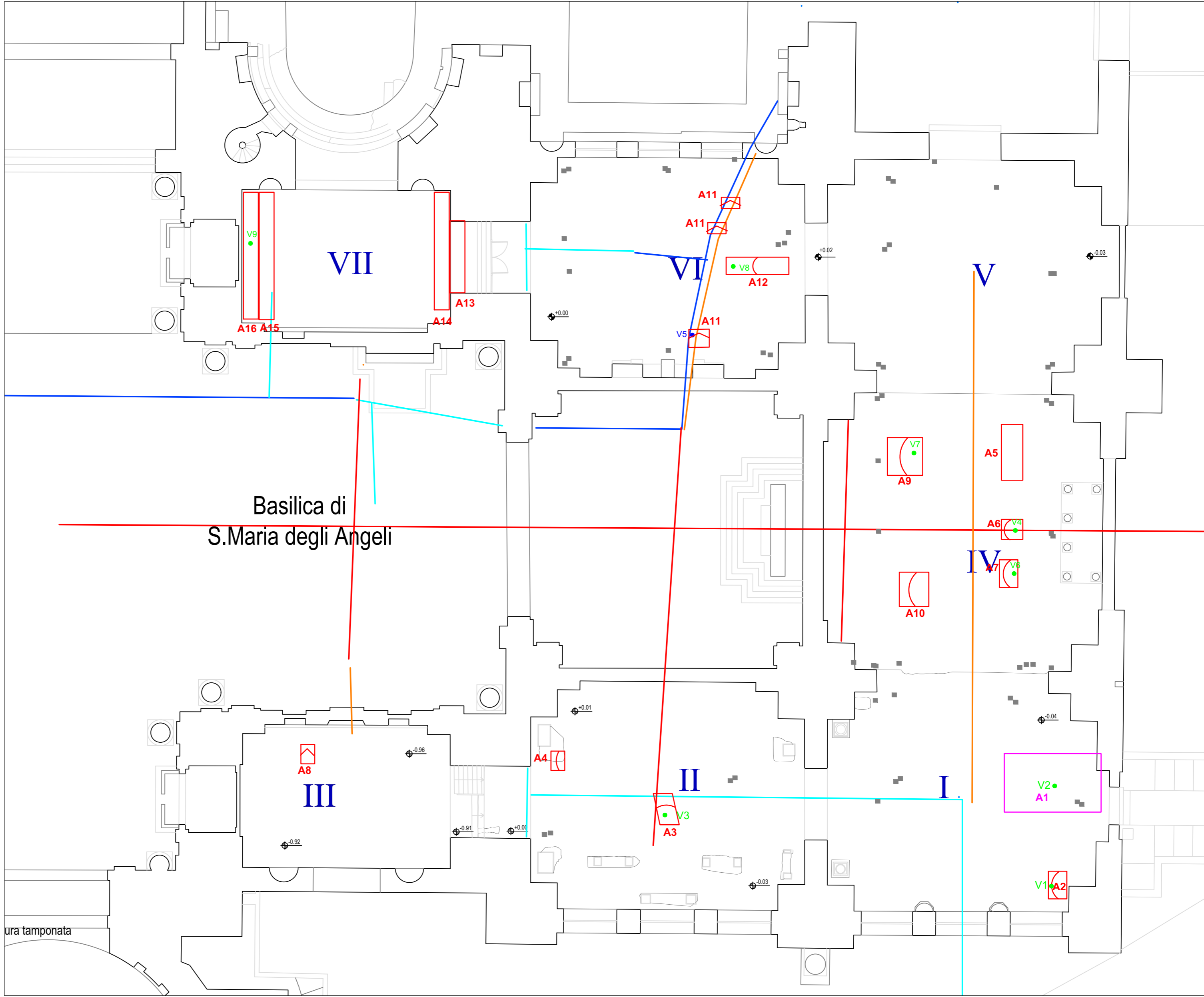
TAVOLA
7

SINTESI

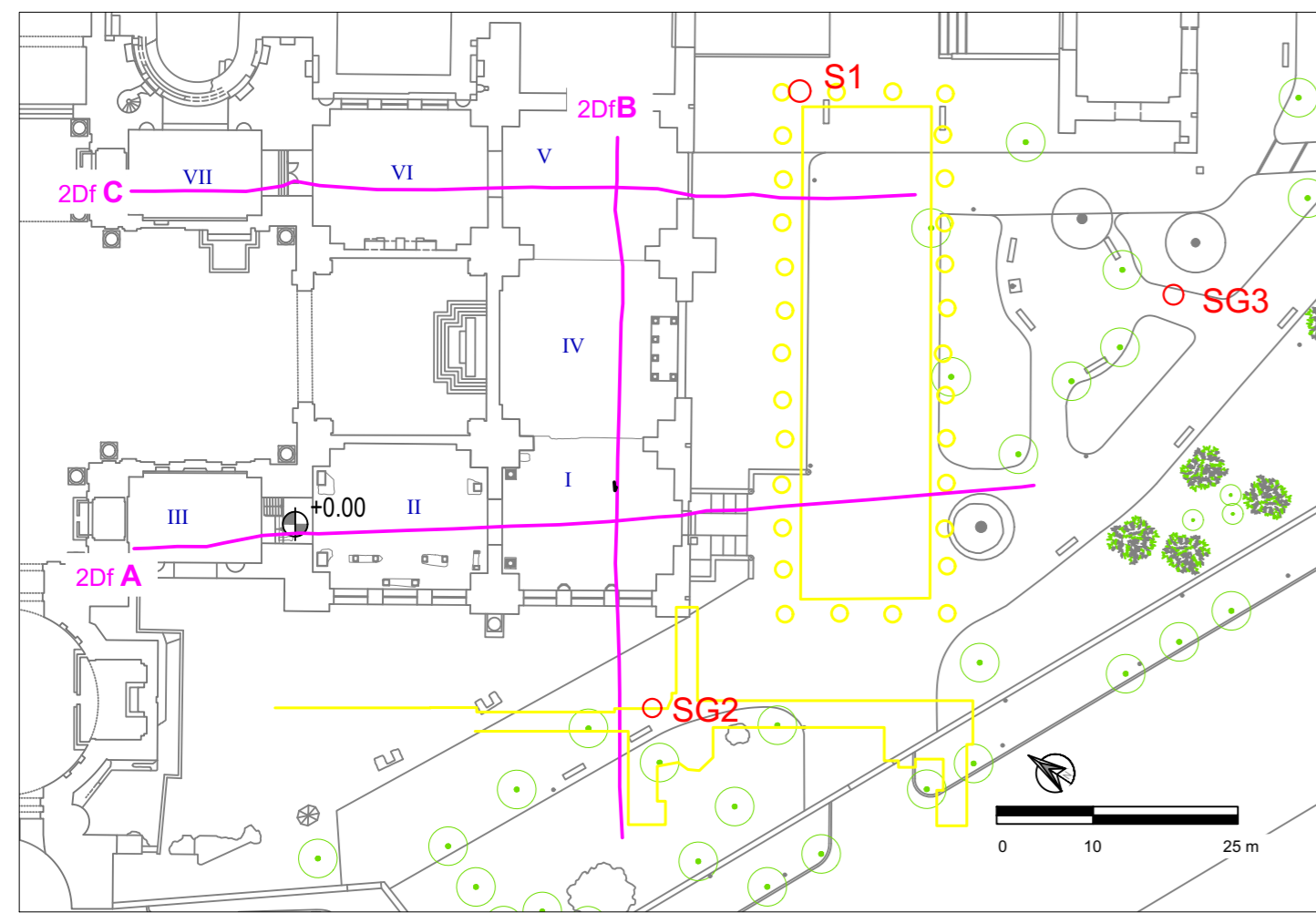
- Assi XY
- Sezione Georadar acquisita
- Tombino rilevato
- Anomalia/ cavità con intradosso a doppio spiovente
- Anomalia/ cavità con intradosso voltato
- Anomalia/ cavità con intradosso piatto
- Zona di anomalia /possibile strutture o materiale diverso da terreno fine
- Verifica diretta con foro e video endoscopia realizzata
- Verifica diretta con foro e video endoscopia consigliata

- | | |
|---------------------|-----------------------|
| cunicoli di scarico | cunicoli di adduzione |
| accertati | accertati |
| probabili | probabili |
| dubbiosi | dubbiosi |
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

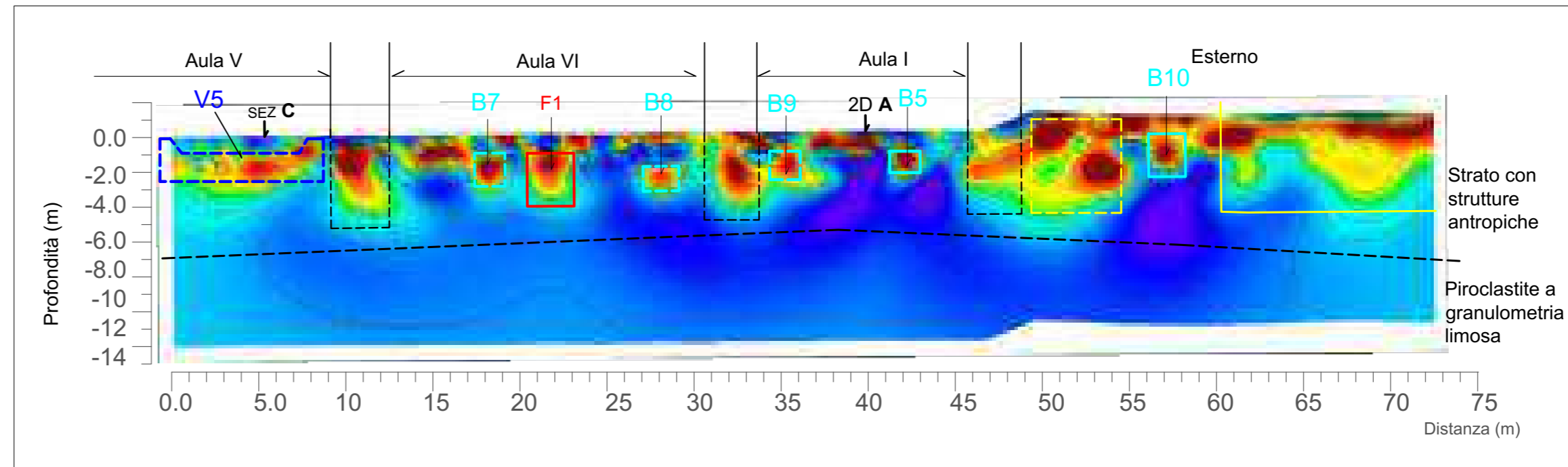
Aula	Anomalia	Estradosso	Video endoscopia	profondità da raggiungere
Aula I	A1	0.9 m dal p.c.	V1	1.1 m dal p.c.
	A2	1 m dal p.c.	V2	1.1 m dal p.c.
Aula II	A3	1.3 m dal p.c.	V3	1.4 m dal p.c.
	A4	1.7 m dal p.c.	/	/
Aula III	A8	1.3 m dal p.c.	/	/
Aula IV	A5	1.3 m dal p.c.	/	/
	A6	0.7 m dal p.c.	V4	0.8 m dal p.c.
	A7	0.7 m dal p.c.	V6	0.8 m dal p.c.
	A9	0.6 m dal p.c.	V7	0.7 m dal p.c.
Aula V	/	/	/	/
Aula VI	A11	0.8 m dal p.c.	V5	Eseguito
	A12	0.65-0.8 m dal p.c.	V8	0.9 m dal p.c.
Aula VII	A13	1.1 m dal p.c.	/	/
	A14	1.1 m dal p.c.	/	/
	A15	1.1 m dal p.c.	/	/
	A16	1.1 m dal p.c.	V9	1.2 m dal p.c.



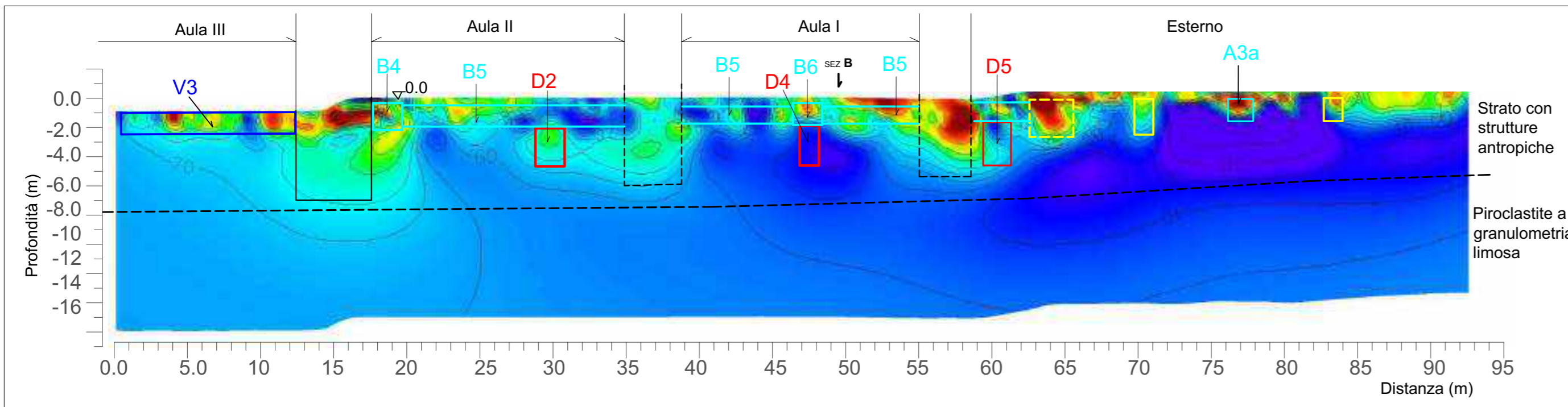
INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI E DEI CUNICOLI



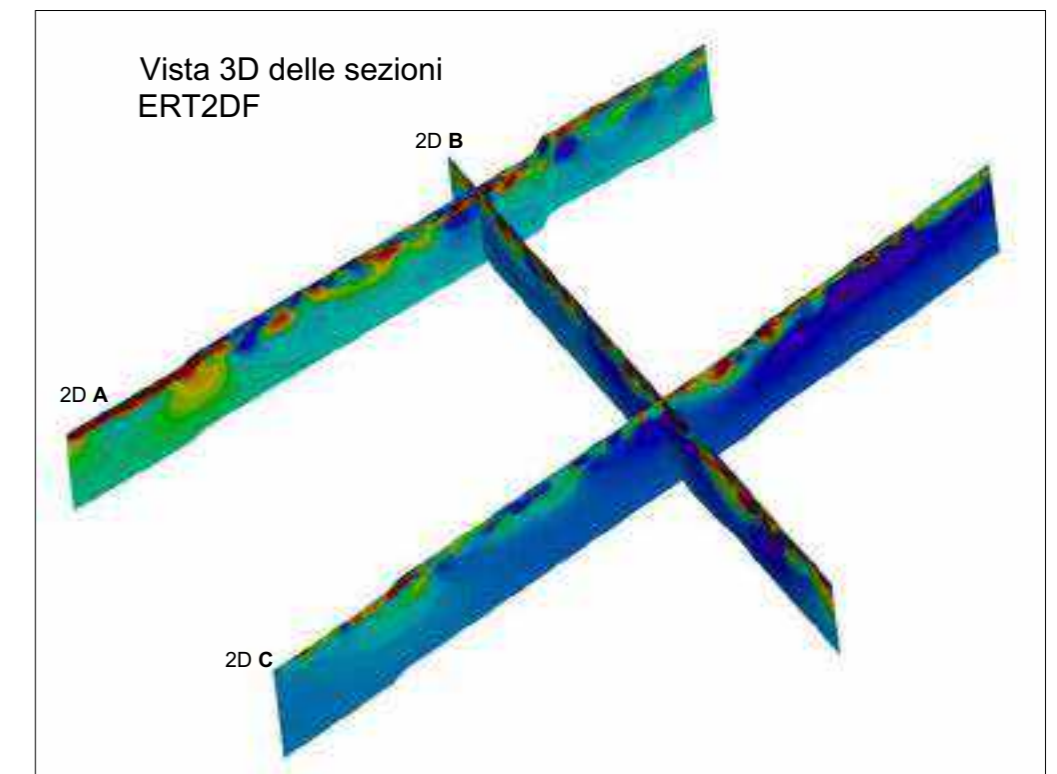
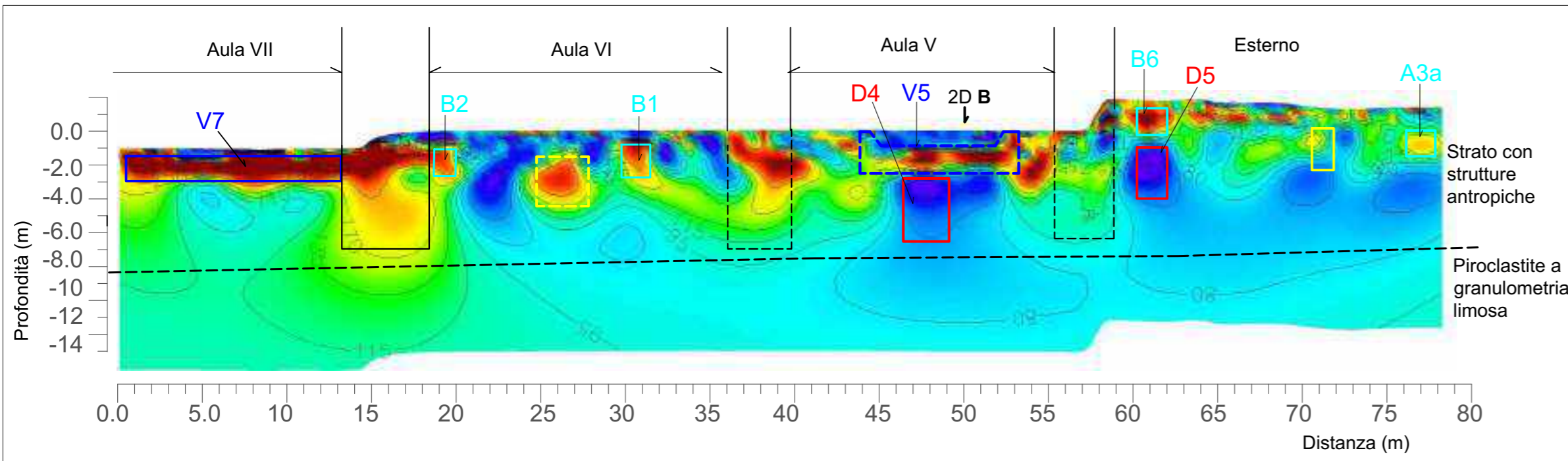
SEZ B



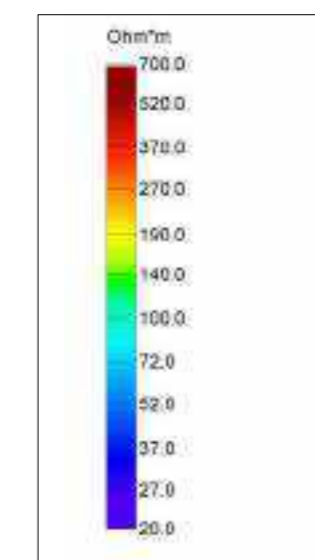
SEZ A



SEZ C



Scala dei valori di resistività (Ohm*m)



LEGENDA INDAGINE ERT 2D

- A B Cunicoli di adduzione indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- B Possibili cunicoli di adduzione
- F D Cunicoli di scarico indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- D Possibili cunicoli di scarico
- V1 Vasca di cui si trovano indicazioni negli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- V1 Possibile vasca
- Fondazione dei pilastri
- materiale di fondazione laterale ai pilastri
- Ingombro di strutture interrato indicate da carte storiche
- Possibile struttura con cavità
- 2Df — Traccia delle indagini ERT 2D
- \oplus +0.00 Quota di riferimento in Aula II
- Sondaggi bibliografici

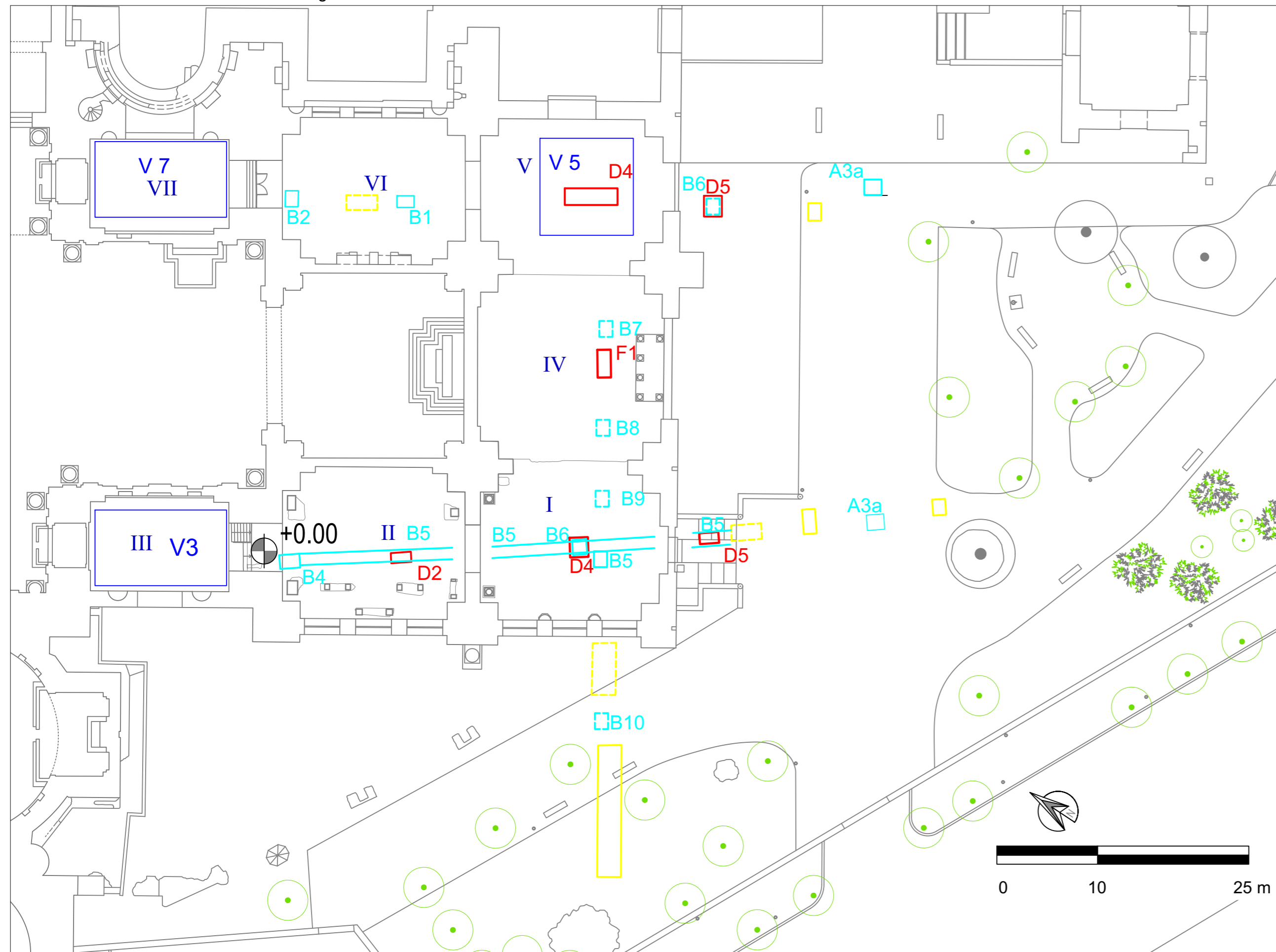
LEGENDA

- | | |
|--|--|
| cunicoli di scarico | cunicoli di adduzione |
| accertati | accertati |
| probabili | probabili |
| dubbi | dubbi |
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

 <p>SOING STRUTTURE & AMBIENTE</p>	<p>Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale</p>	<p>CLIENTE</p> <p>Ministero della Cultura Museo Nazionale Romano in Roma Terme di Diocleziano - Grandi Aule</p>	<p>PROGETTO</p> <p>Servizio di diagnostica strumentale Campagna di indagini, prove e rilievi</p> <p>CIG 9374109F73 CUP F89D21000020001</p>	<p>RIF. INTERNI</p> <p>CO-049_22_archi</p>	<p>OGGETTO</p> <p>Indagine ERT a terra sezioni 2D</p>	<p>TAVOLA</p> <h1 style="font-size: 48px; margin: 0;">1</h1>
				<p>ELABORAZIONE MG.Idili</p> <p>VERIFICA Arch. Annalisa Morelli</p> <p>APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA</p> <p>10 Ottobre 2022</p>	

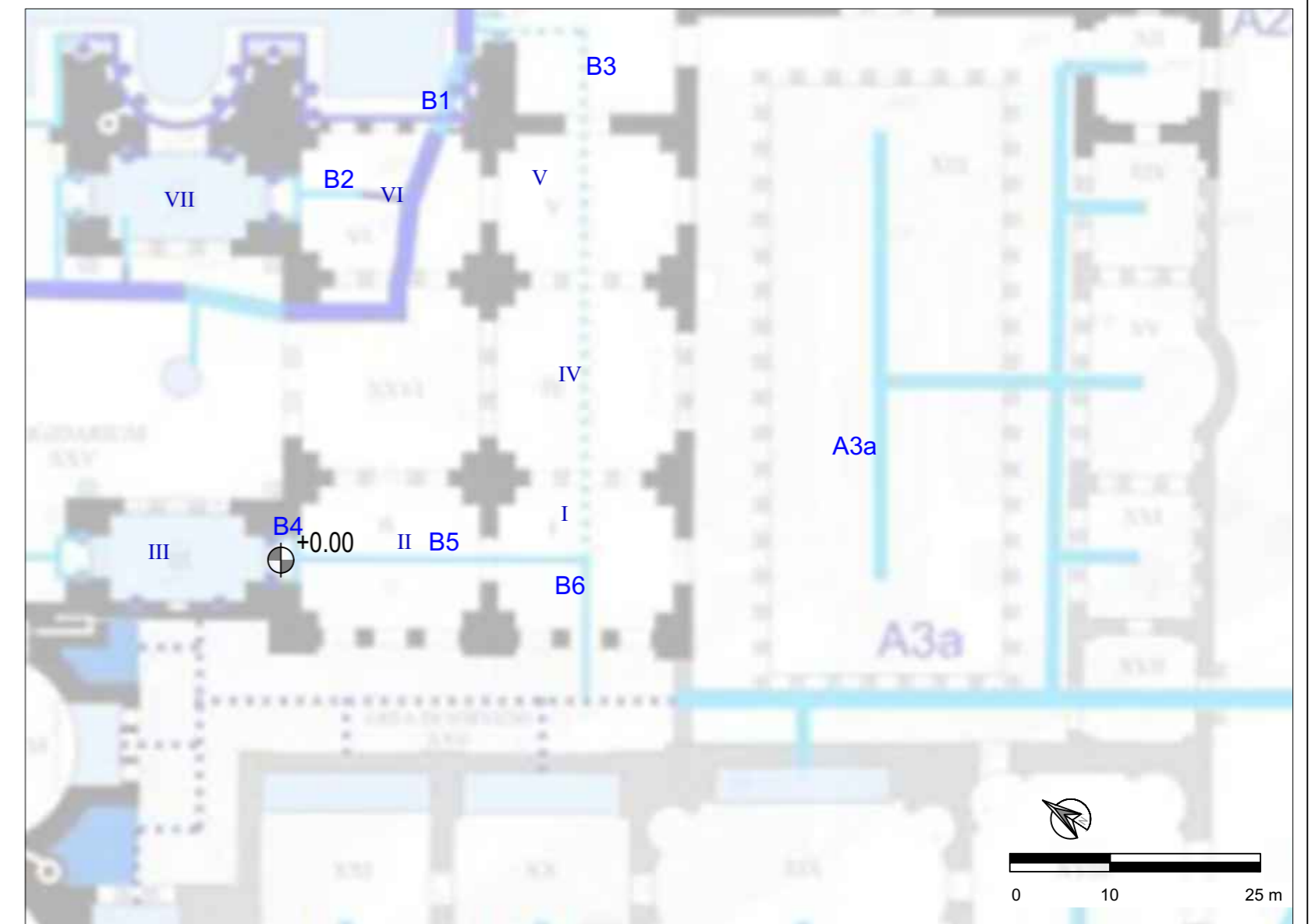
INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI E DEI CUNICOLI

Sintesi delle anomalie individuate dall'indagine ERT 2DF



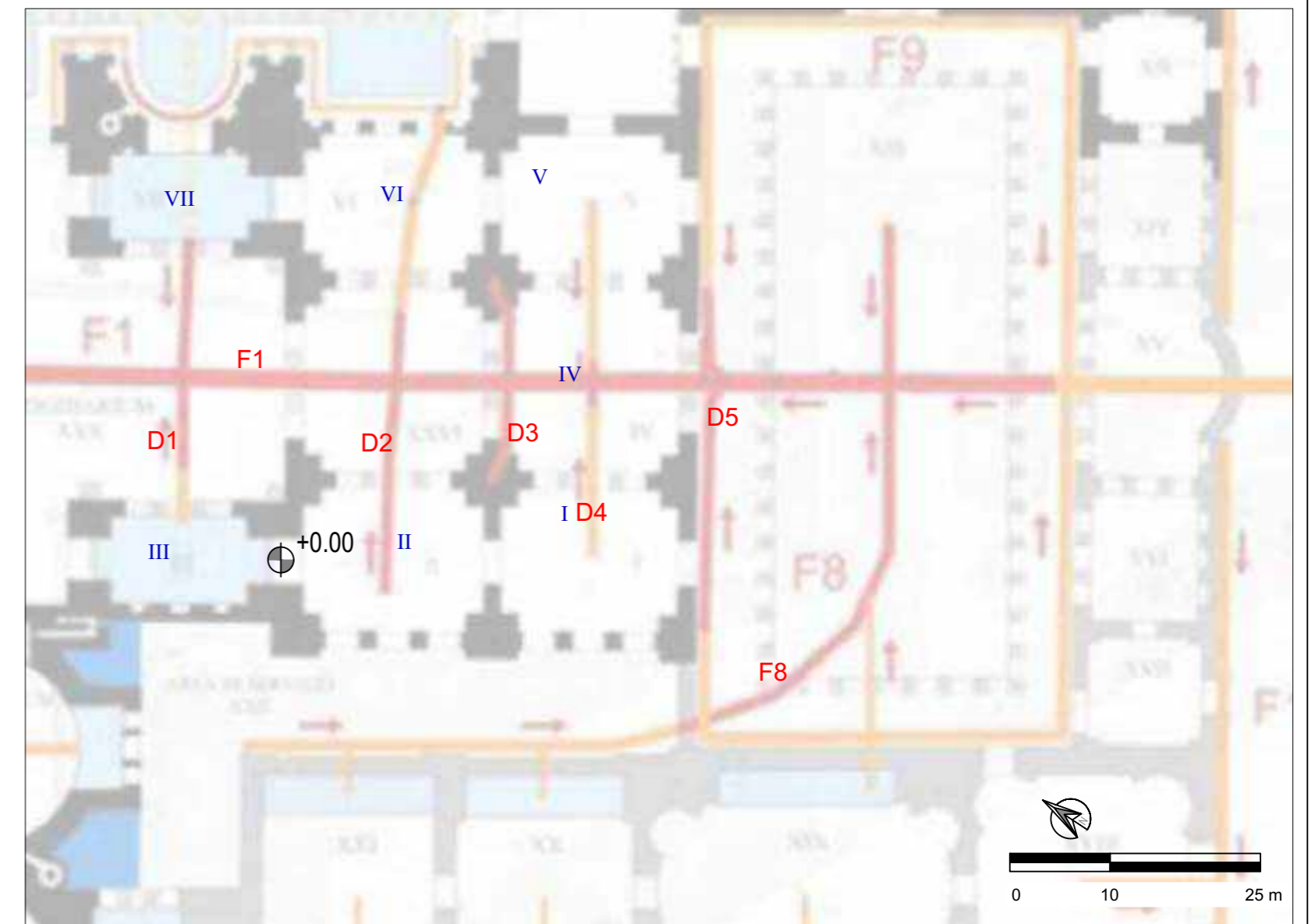
CUNICOLI DI ADDUZIONE

Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



CUNICOLI DI SCARICO

Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci



LEGENDA INDAGINE ERT 2D

- A B Cunicoli di adduzione indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- B Possibili cunicoli di adduzione
- F D Cunicoli di scarico indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- D Possibili cunicoli di scarico
- V1 Vasca di cui si trovano indicazioni negli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- V1 Possibile vasca
- Fondazione dei pilastri
- materiale di fondazione laterale ai pilastri
- Ingombro di strutture interrato indicate da carte storiche
- Possibile struttura con cavità
- 2Df Traccia delle indagini ERT 2D
- +0.00 Quota di riferimento in Aula II

LEGENDA

- | cunicoli di scarico | cunicoli di adduzione |
|---|---|
| — accertati | — accertati |
| — probabili | — probabili |
| - - - dubbi | - - - dubbi |
- Estratto da "gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano" di Leonardo Lombardi e Elettra Santucci

Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE
 Ministero della Cultura
 Museo Nazionale Romano in Roma
 Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO
 Servizio di diagnostica strumentale
 Campagna di indagini, prove e rilievi
 CIG 9374109F73
 CUP F89D21000020001

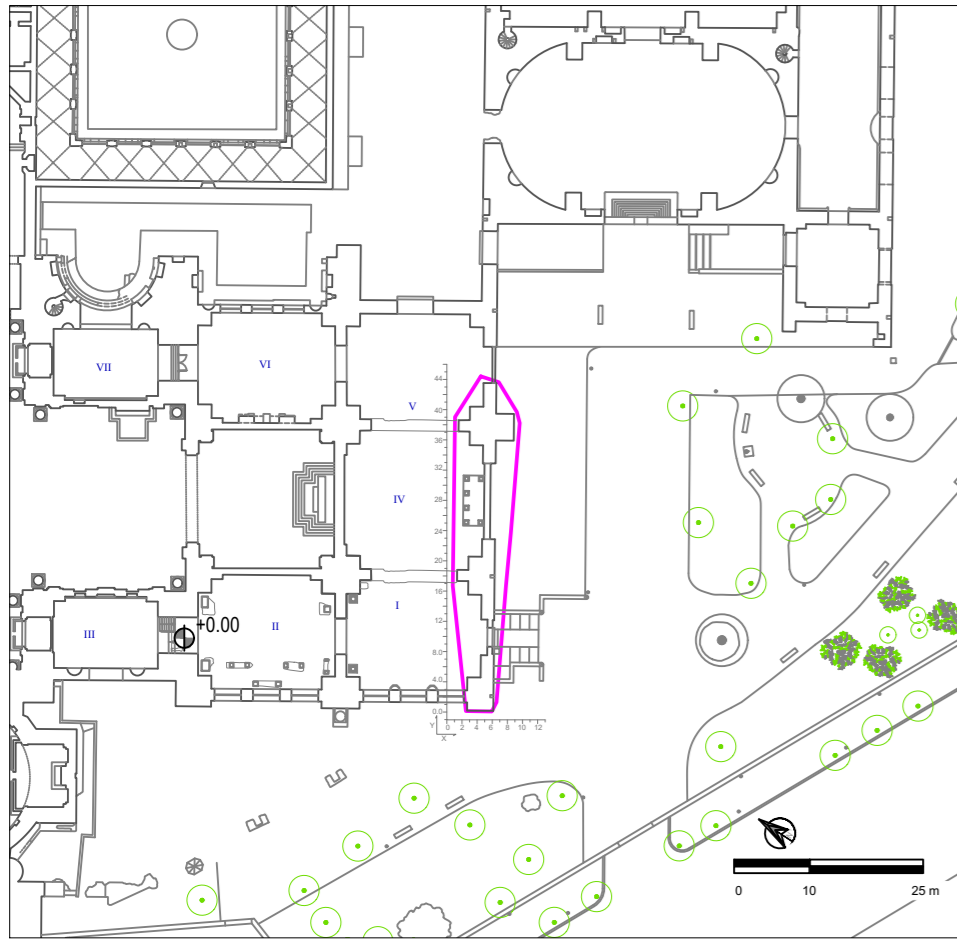
RIF. INTERNI
 CO-049_22_archi
 ELABORAZIONE MG.Idili
 VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
 APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

OGGETTO
 Indagine ERT a terra
 sezioni 2D
DATA CONSEGNA
 10 Ottobre 2022

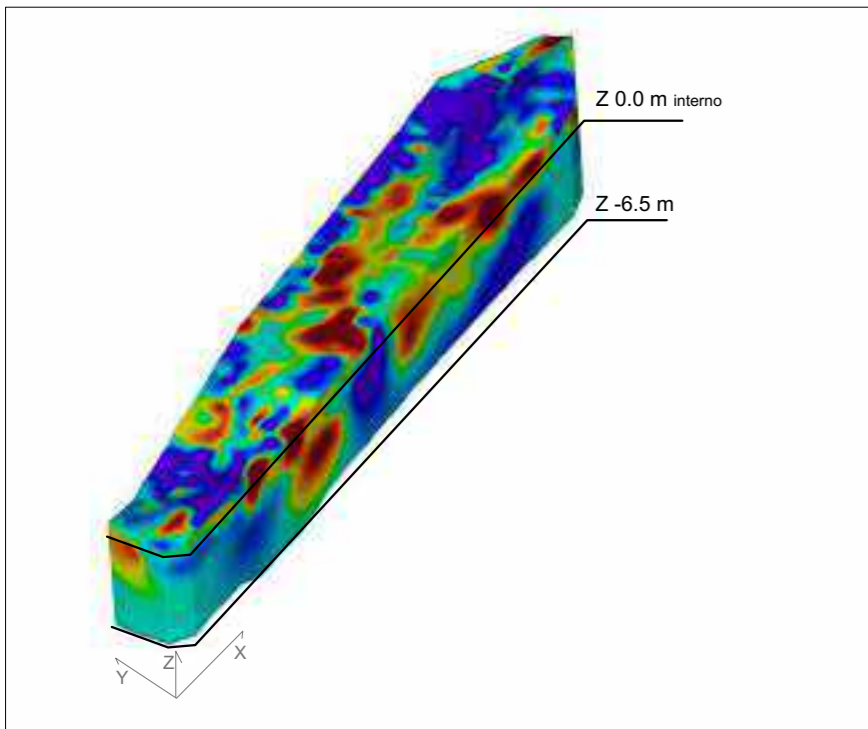
TAVOLA
2

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI E DEI CUNICOLI

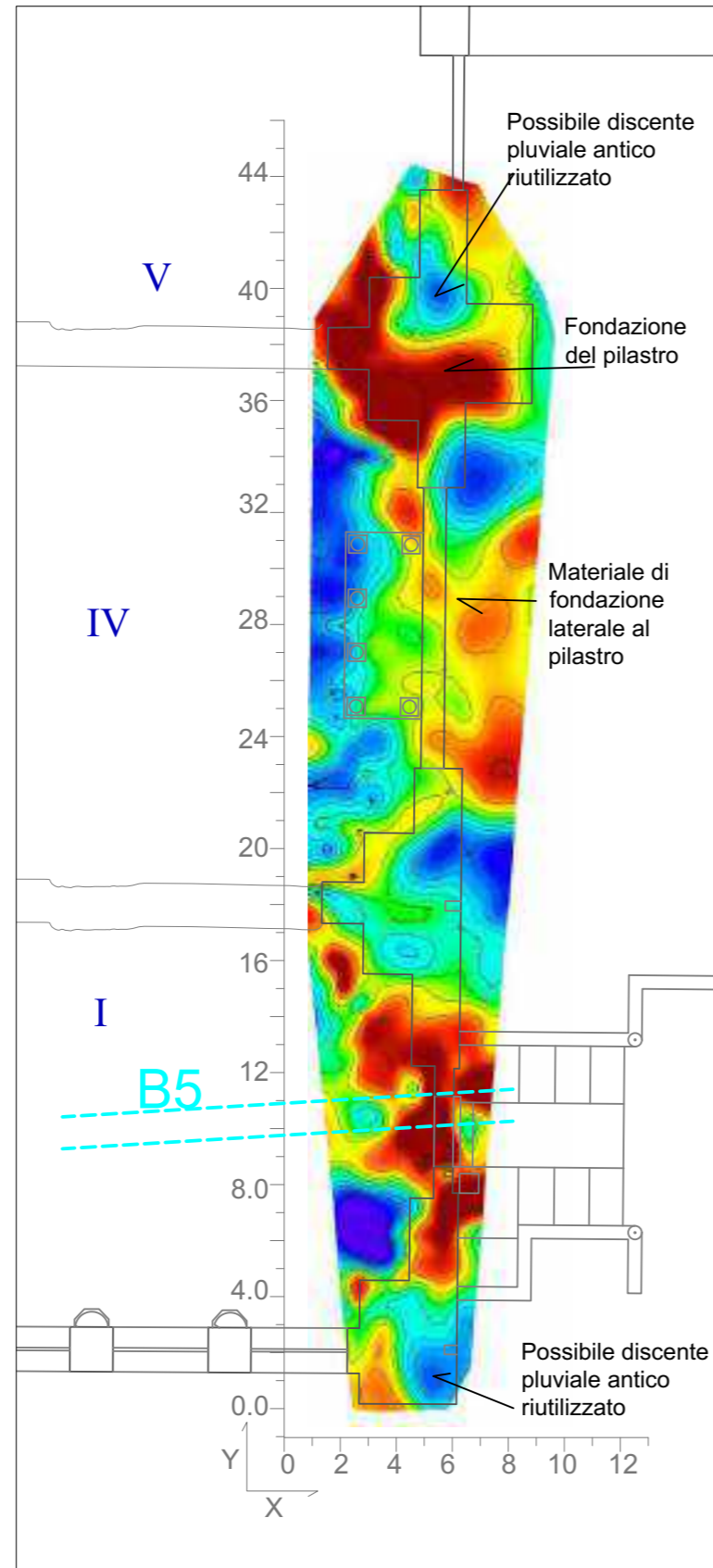
UBICAZIONE IN PIANTA DELL'AREA DI INDAGINE ERT 3D



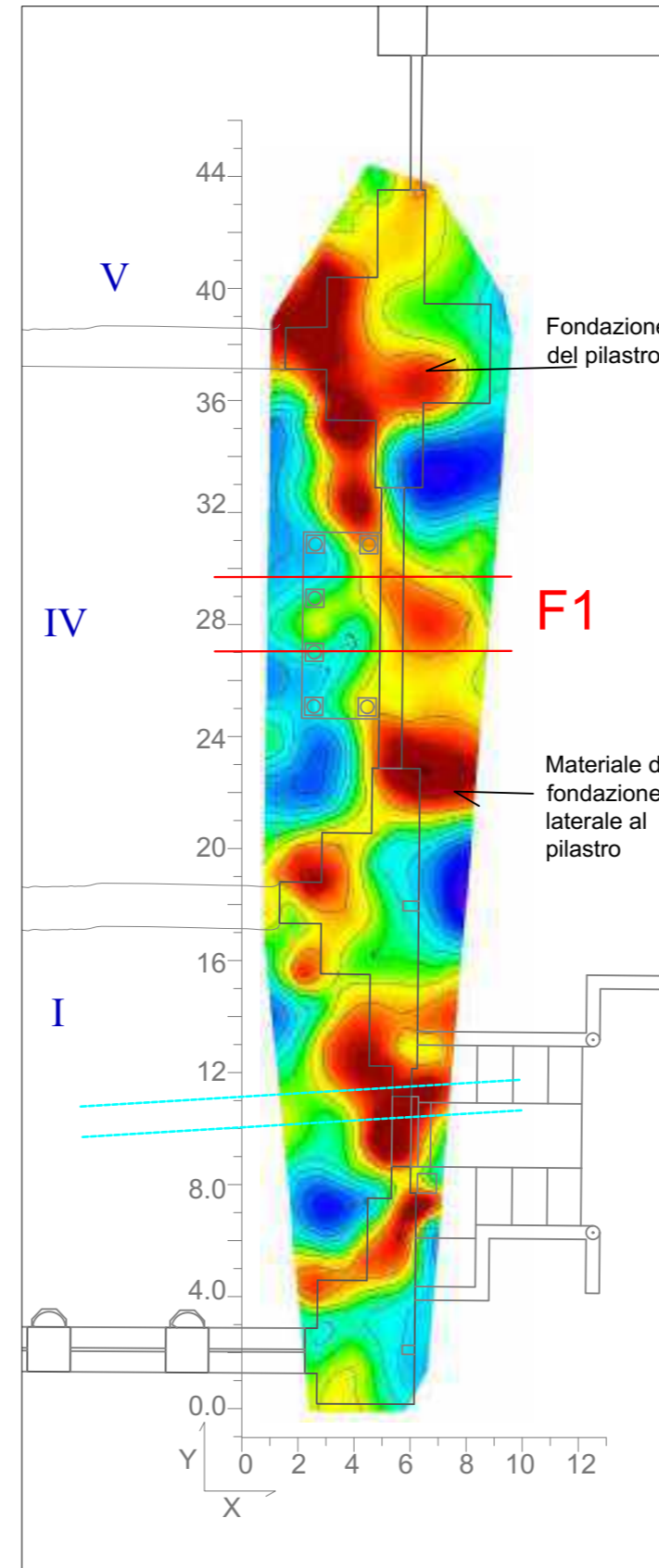
VOLUME DI INDAGINE ERT 3D



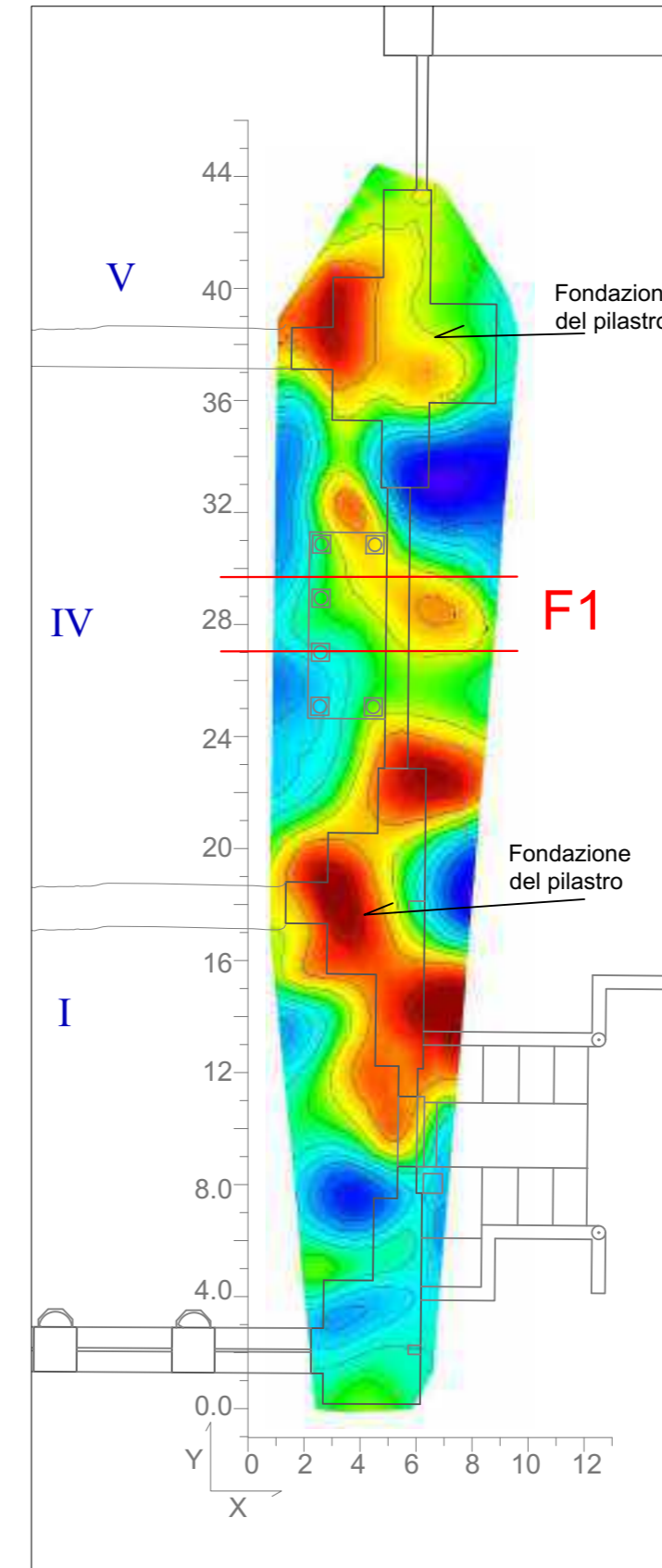
PIANO ERT 3D Z -1.0 m



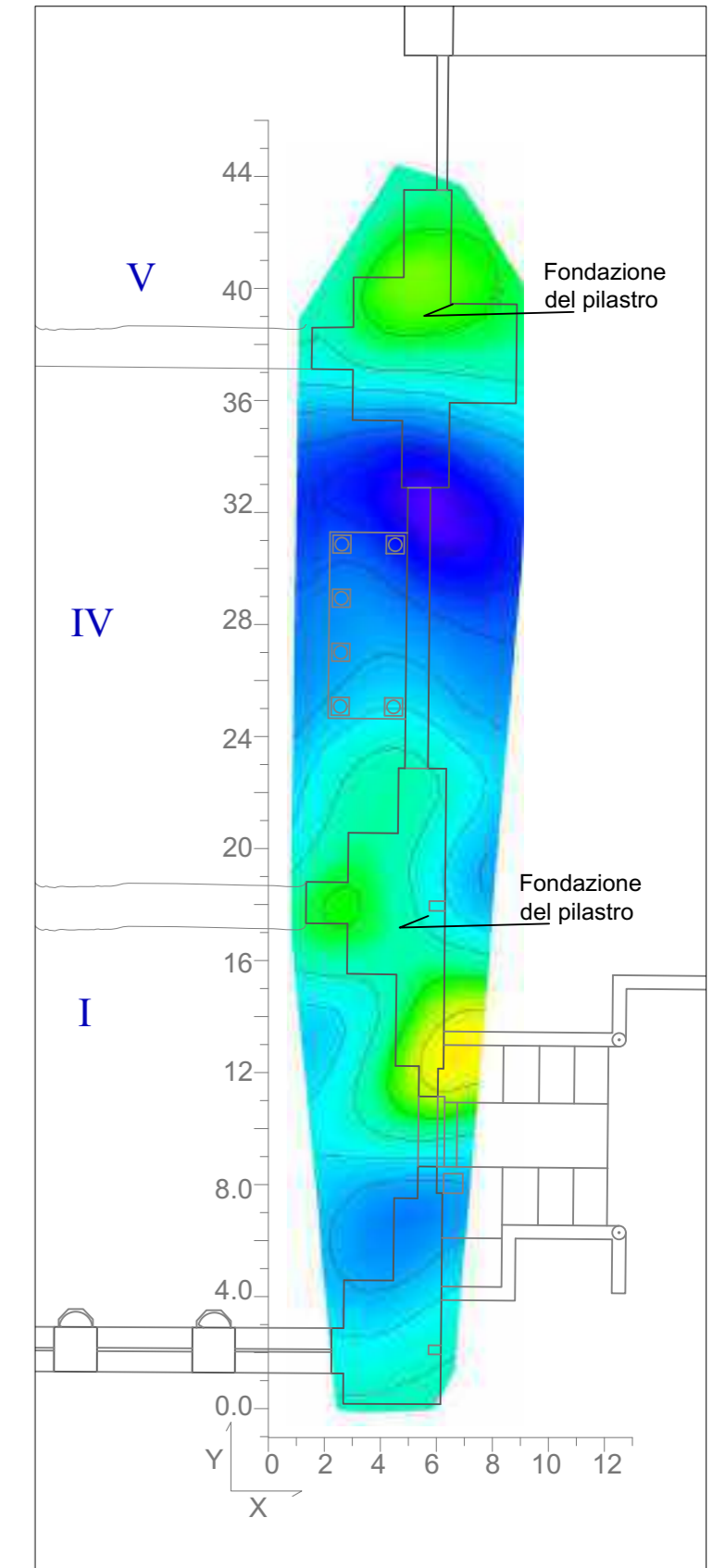
PIANO ERT 3D Z -2.0 m



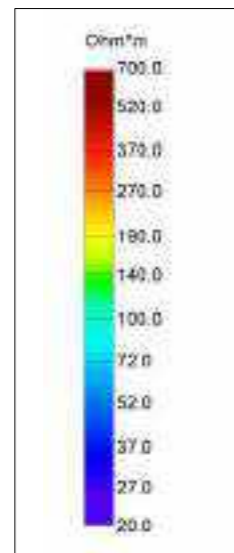
PIANO ERT 3D Z -3.0 m



PIANO ERT 3D Z -5.5 m



Scala dei valori di resistività (Ohm*m)



LEGENDA INDAGINE ERT 3D

- Cunicoli di adduzione indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- Possibili cunicoli di adduzione
- Cunicoli di scarico indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- Possibili cunicoli di scarico
- fondazione dei pilastri
- materiale di fondazione laterale ai pilastri
- +0.00 Quota di riferimento in Aula II



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO

Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

RIF. INTERNI

CO-049_22_archi

ELABORAZIONE MG.Idili
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

OGGETTO

Indagine ERT 3D a terra

DATA CONSEGNA
10 Ottobre 2022

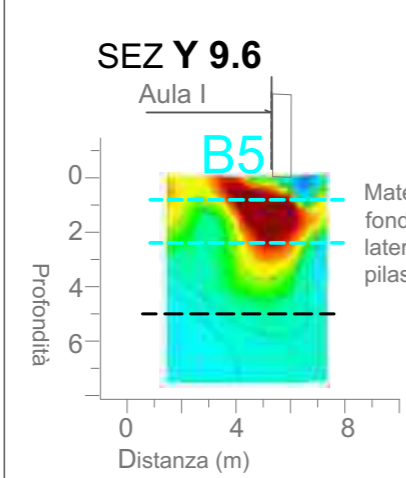
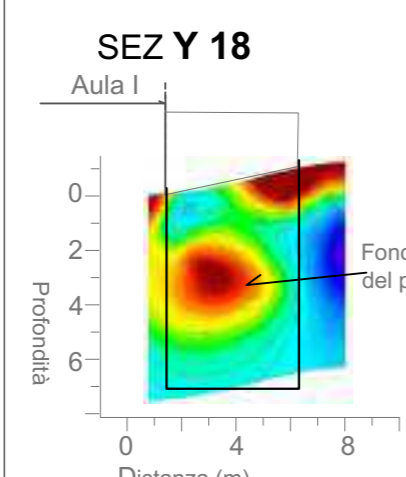
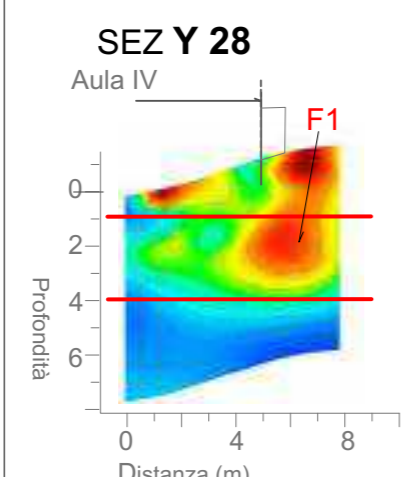
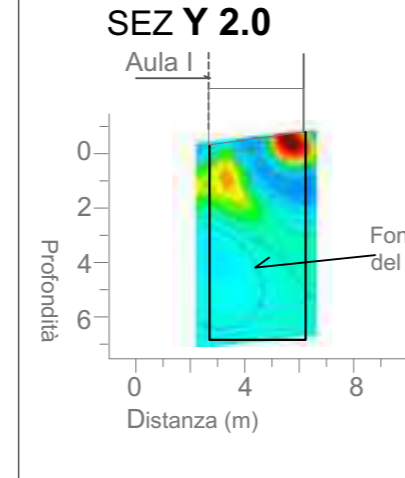
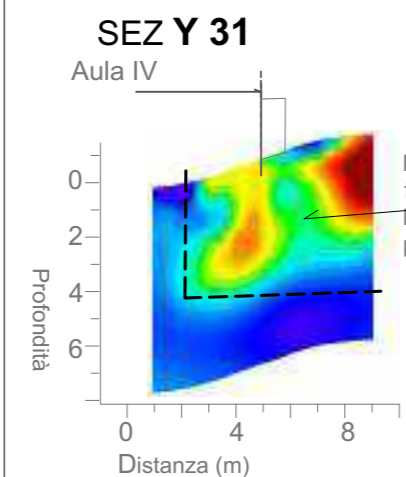
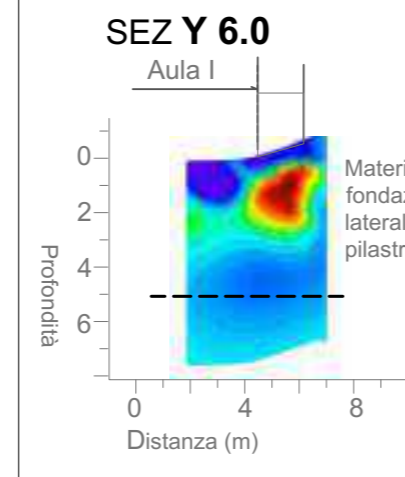
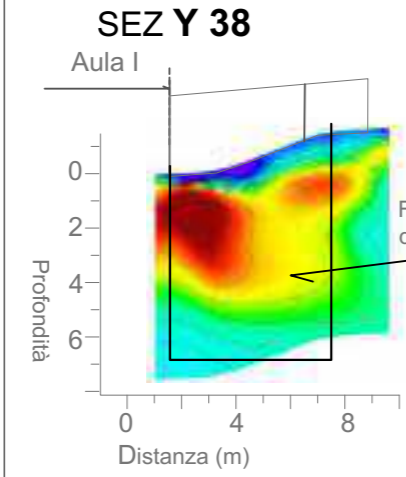
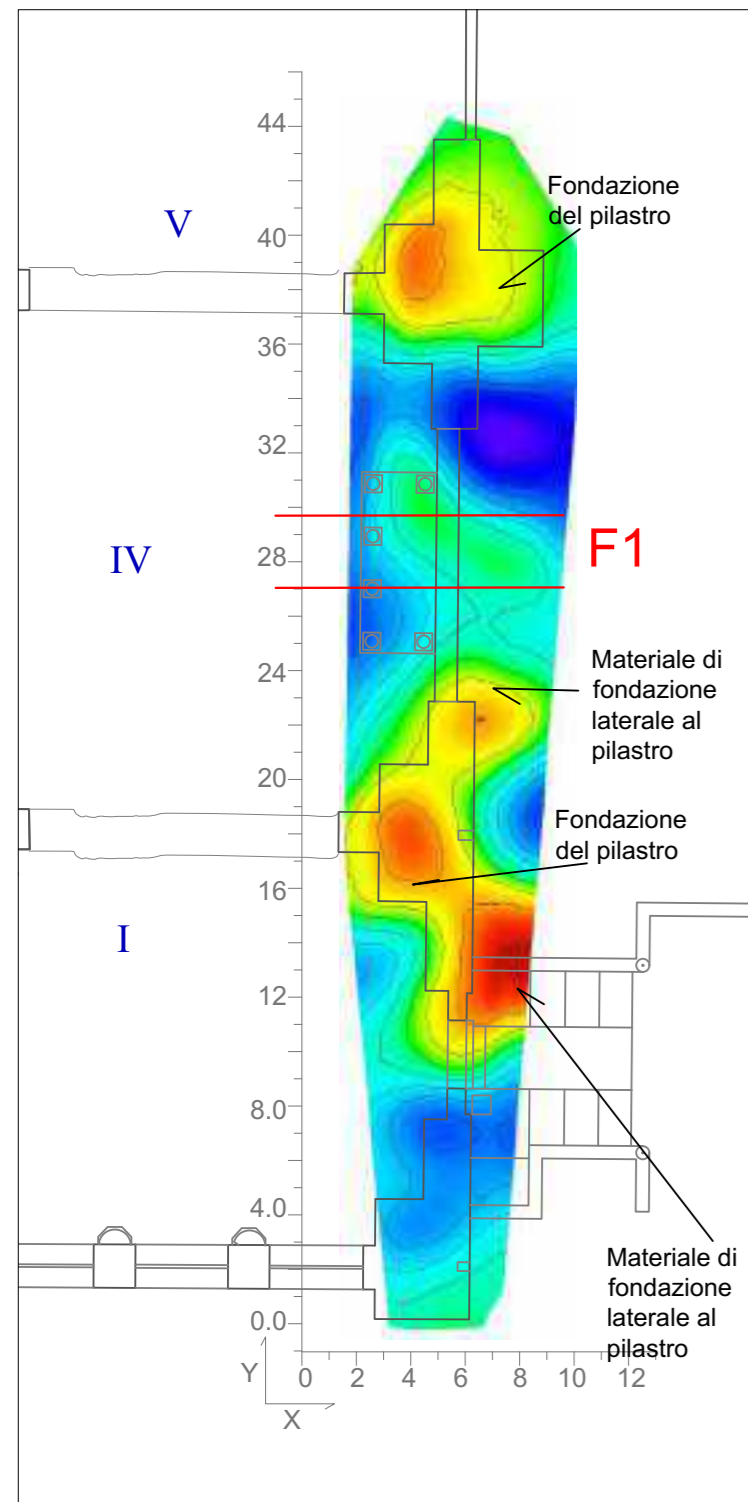
TAVOLA

3

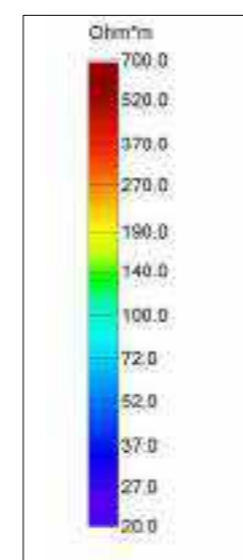


INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DELLE FONDAZIONI E DEI CUNICOLI

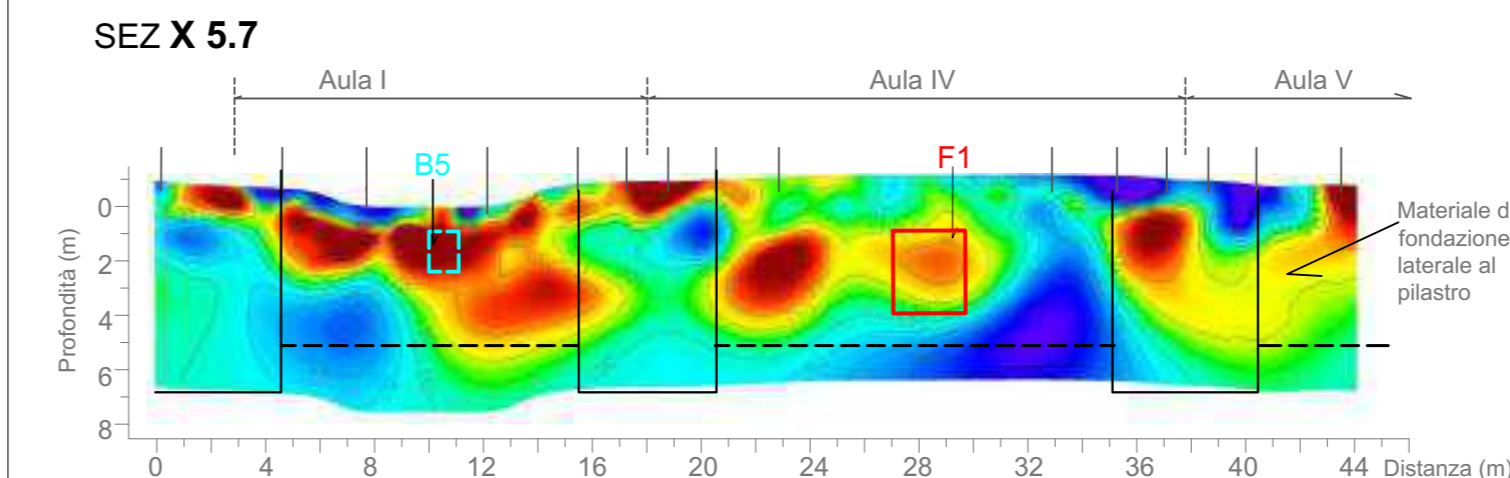
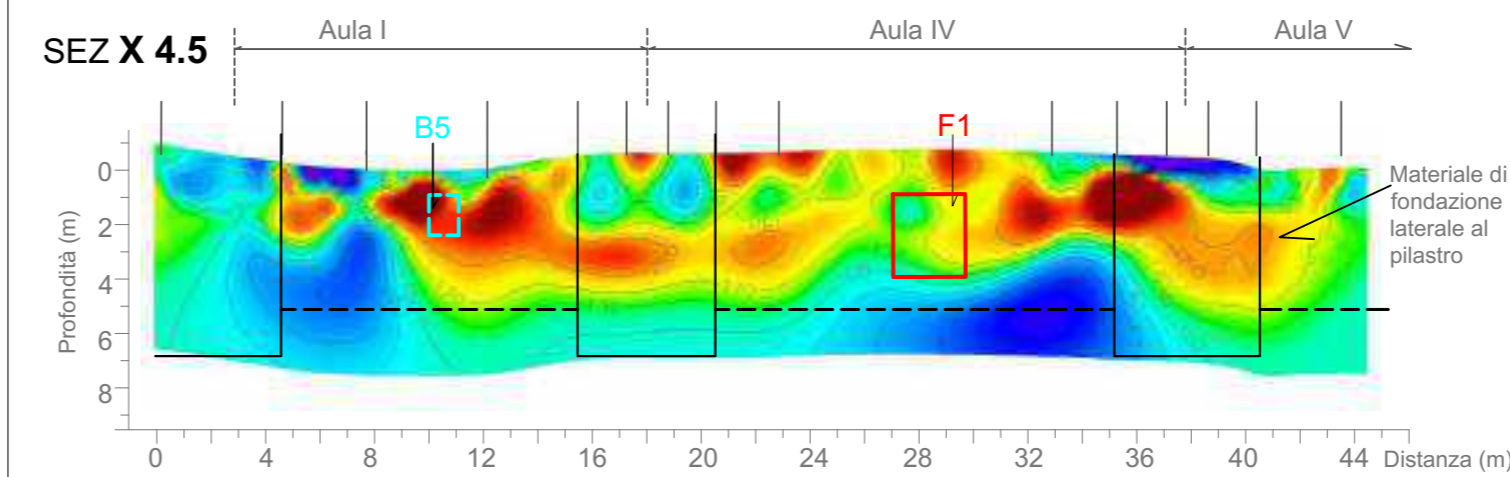
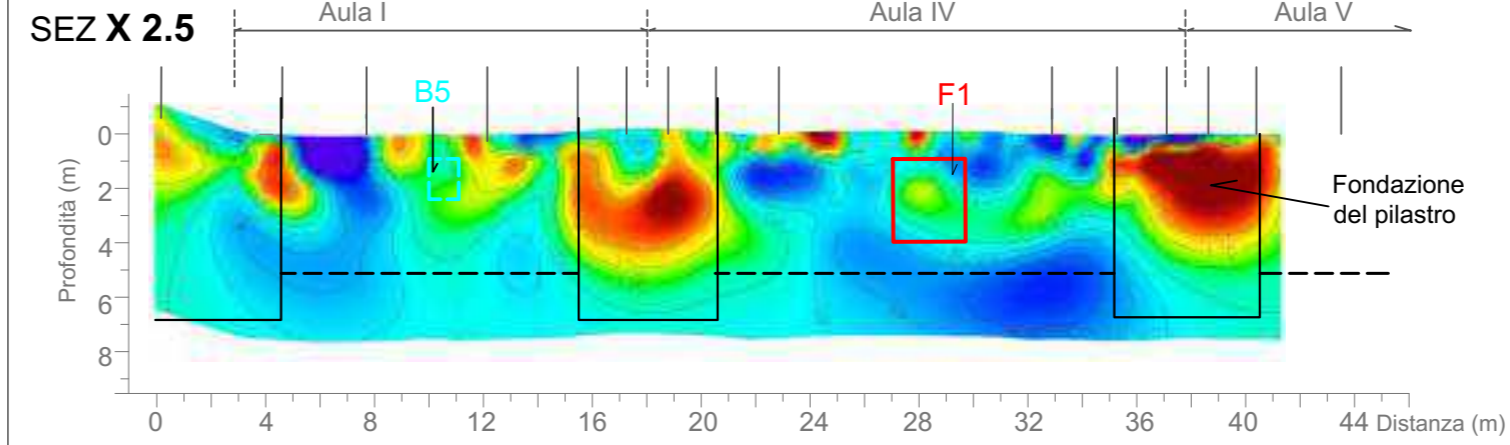
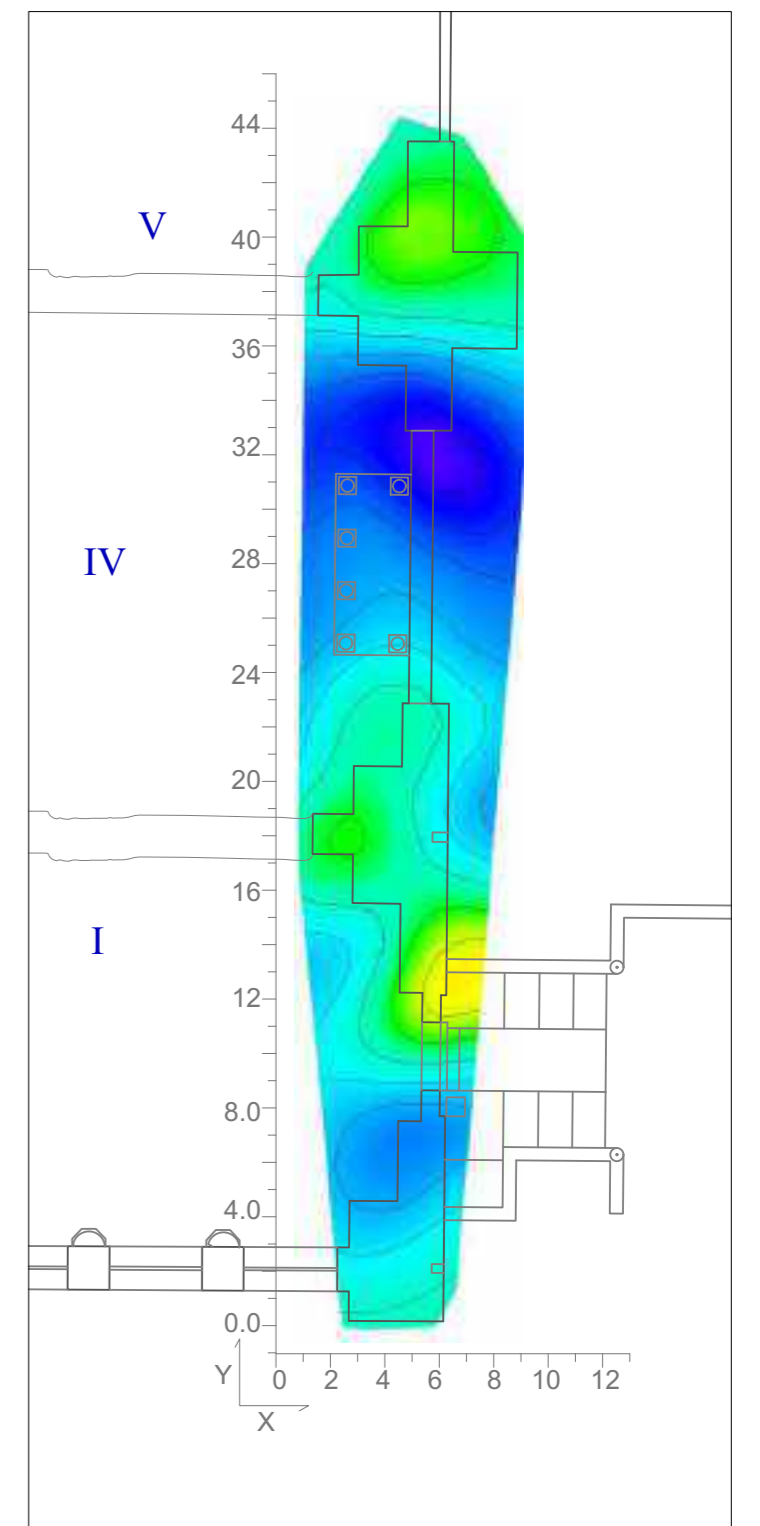
PIANO ERT 3D Z -4.0 m



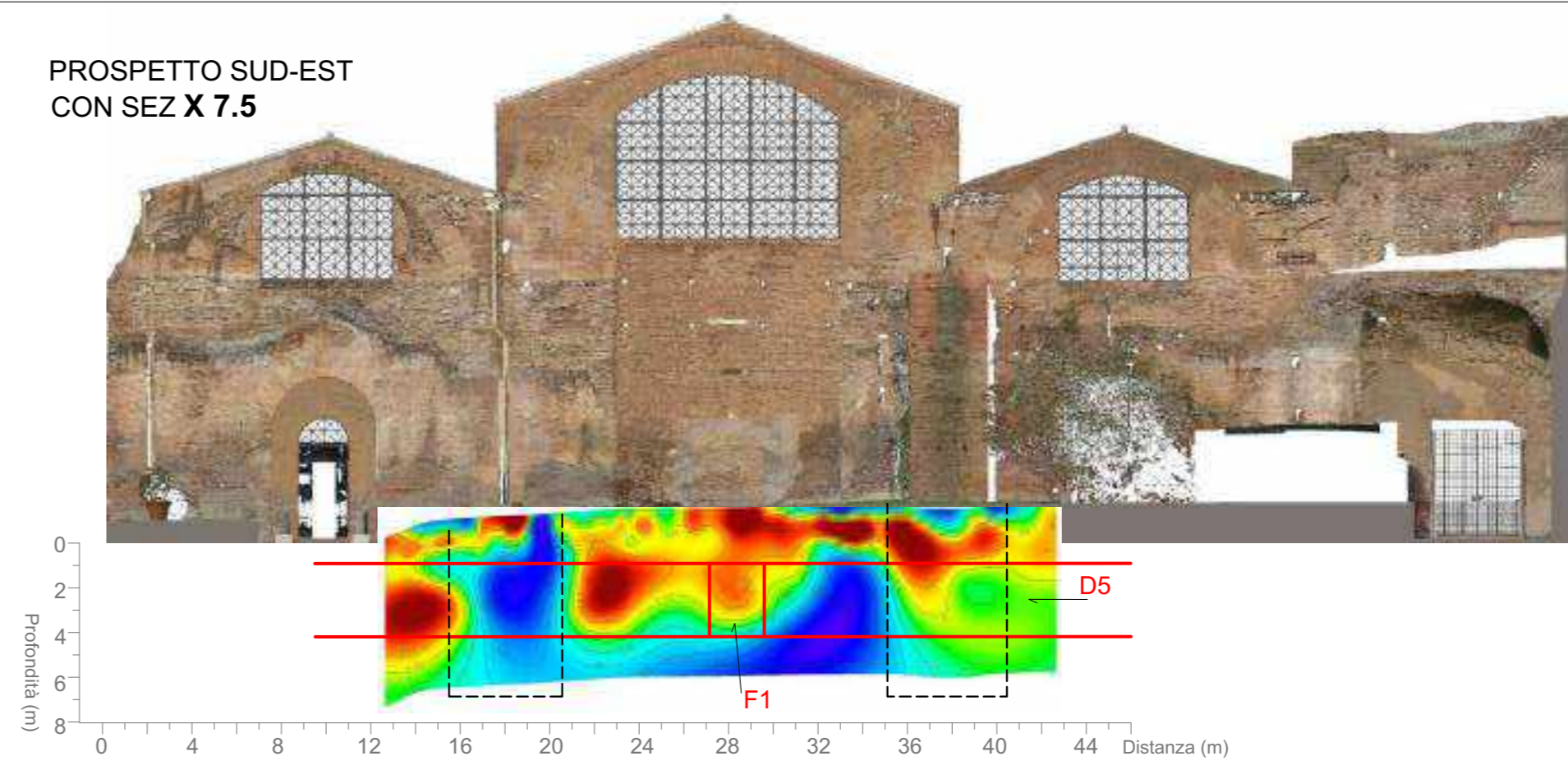
Scala dei valori di resistività (Ohm*m)



PIANO ERT 3D Z -5.5 m



PROSPETTO SUD-EST CON SEZ X 7.5



LEGENDA INDAGINE ERT 3D

- Cunicoli di adduzione indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- Possibili cunicoli di adduzione
- Cunicoli di scarico indicati negli estratti degli "Impianti tecnici delle terme di Diocleziano"
- Possibili cunicoli di scarico
- fondazione dei pilastri
- materiale di fondazione laterale ai pilastri
- \oplus +0.00 Quota di riferimento in Aula II



Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione 44 del 02-02-2022 del CSLP, Servizio Tecnico Centrale

CLIENTE

Ministero della Cultura
Museo Nazionale Romano in Roma
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO

Servizio di diagnostica strumentale
Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

RIF. INTERNI

CO-049_22_archi

ELABORAZIONE
VERIFICA
APPROVAZIONE

MG.Idili
Arch. Annalisa Morelli
Ing. Paolo Chiara

OGGETTO

Indagine ERT 3D a terra

DATA CONSEGNA

10 Ottobre 2022

TAVOLA

4