



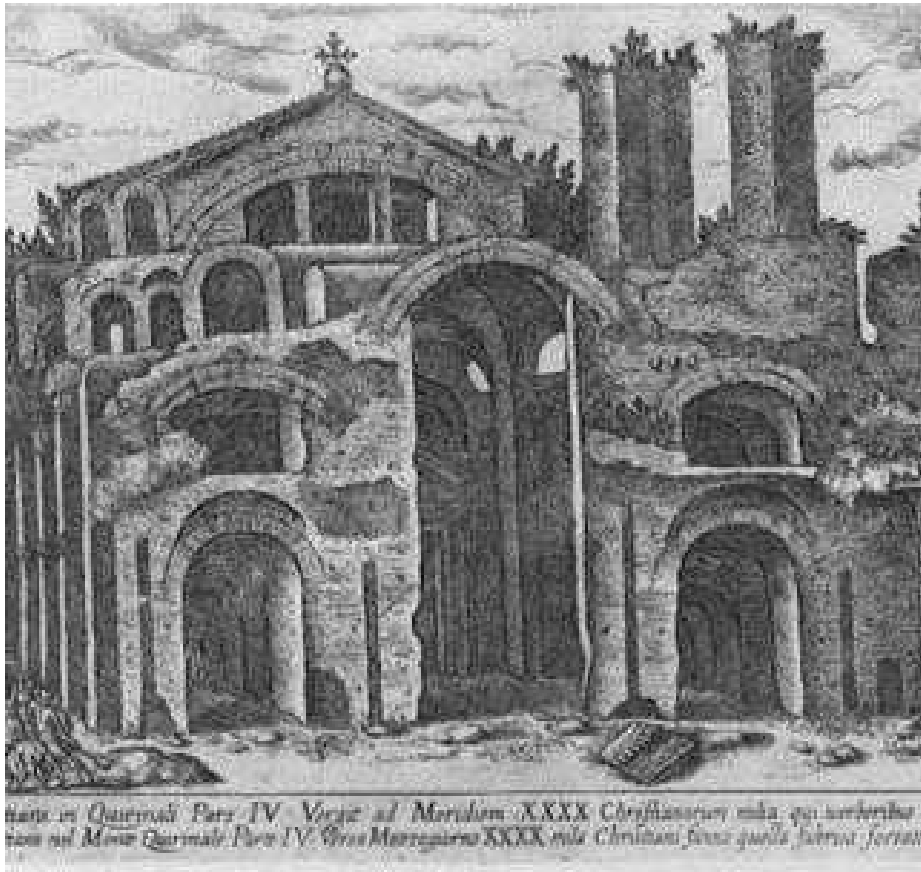
Ministero della cultura
museo nazionale romano

**Piano nazionale per gli investimenti complementari
al Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR)
Decreto-legge 6 maggio 2021, n. 59,
convertito, con modificazioni, dalla legge 1° luglio 2021, n. 101**

**Intervento n. 8 - URBS. Dalla città alla campagna romana
Museo Nazionale Romano
Sotto-Intervento n. 2 - “Terme di Diocleziano - Grandi Aule”
CUP F89D21000020001**

DOCUMENTO DI INDIRIZZO DELLA PROGETTAZIONE

(art. 23, comma 4, D.lgs. 50/16 e ss. mm. e ii.)



Direttore del MNR
Prof. *Stéphane Verger*

Il Responsabile Unico
del Procedimento
(art. 31 D.lgs. 50/2016 e ss. mm. e ii.)
Arch. *Brunella Imparato*

Collaborazione tecnico-
progettuale
Arch. *Mauro Marzullo*

UFFICIO TECNICO
n.°22/2023

visto il 29/06/2023

Responsabile dell'UT
e Supporto al RUP
Arch. *Saveria Petillo*

Allegato 8 - Indagini diagnostiche - Campagna di indagini, prove e rilievi

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

Prove non invasive sulle volte delle Grandi Aule

Rilievo geometrico delle capriate metalliche

Tecniche: Georadar ad alta frequenza, Videoendoscopia, osservazioni visive, prelievo di campioni per analisi petrografiche

RELAZIONE TECNICA

Ns. Rif.: CO-049_22

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
1					
Ø	Ottobre 2022	Ing. Erika Lorenzini	arch. Conservatore BCA Annalisa Morelli 	Direttore tecnico Ing. Paolo Chiara 	Emissione

INDICE

1.	PREMESSA.....	4
2.	UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	6
3.	TECNICHE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE UTILIZZATE	8
	3.1 Indagine Georadar (G).....	8
	3.2 Indagine videoendoscopica in foro	11
4.	RISULTATI	12
	4.1 INDAGINI ESEGUITE SULLE VOLTE.....	12
	4.1.1 Analisi della Volta dell’Aula I	12
	4.1.2 Analisi della Volta dell’Aula II	14
	4.1.3 Analisi della Volta dell’Aula V	20
	4.1.4 Analisi della Volta dell’Aula VI.....	24
	4.2 RILIEVO GEOMETRICO DELLA CAPRIATA DELLA COPERTURA DELL’AULA IV	27
5.	CONCLUSIONI.....	28

ALLEGATI

Elaborato grafico 1A1_codice prova V, Gpr, Ma Indagine sulle Volte distinti in due parti. Volte I e II e Volte V e VI

Elaborato grafico 1B1_codice prova Ril_rilievo geometrico delle capriate

Elaborato grafico 1B2_codice prova Z_prove di laboratorio su campione di acciaio

Elaborato grafico 1B3_codice prova D_prove durometriche su acciaio

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.

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
- Pilastri 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 sulle volte di copertura, in particolare Georadar ad alta frequenza (1 GHz), analisi videoendoscopiche in fori esistenti e osservazioni dirette. Per quanto riguarda le capriate metalliche è stato eseguito un semplice rilievo geometrico manuale al fine di completare la ricostruzione strutturale di dettaglio della attuale copertura della Aula IV. Dal punto di vista della caratterizzazione degli acciai delle capriate sono state eseguite le prove durometriche indirette e il prelievo di un campione (esterno) per l'esecuzione delle prove di laboratorio, sia di tipo meccanico che chimico.

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 volte e alle capriate e sono stati denominati:

- 1A1_Codice prova V_videoendoscopia, GPR_georadar, Ma_prelievo malte
- 1B1_Codice prova Ril_rilievo geometrico
- 1B2_Codice prova Z_prelievo campione per prove di lab
- 1B3_Codice prova D_prove durometriche

2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI

La posizione delle prove, delle osservazioni e delle indagini sono descritte nell'allegato 0_Planimetria posizione prove eseguite su volte e capriate, di cui riportiamo l'estratto nella figura 2.1, con relativa legenda in figura 2.2

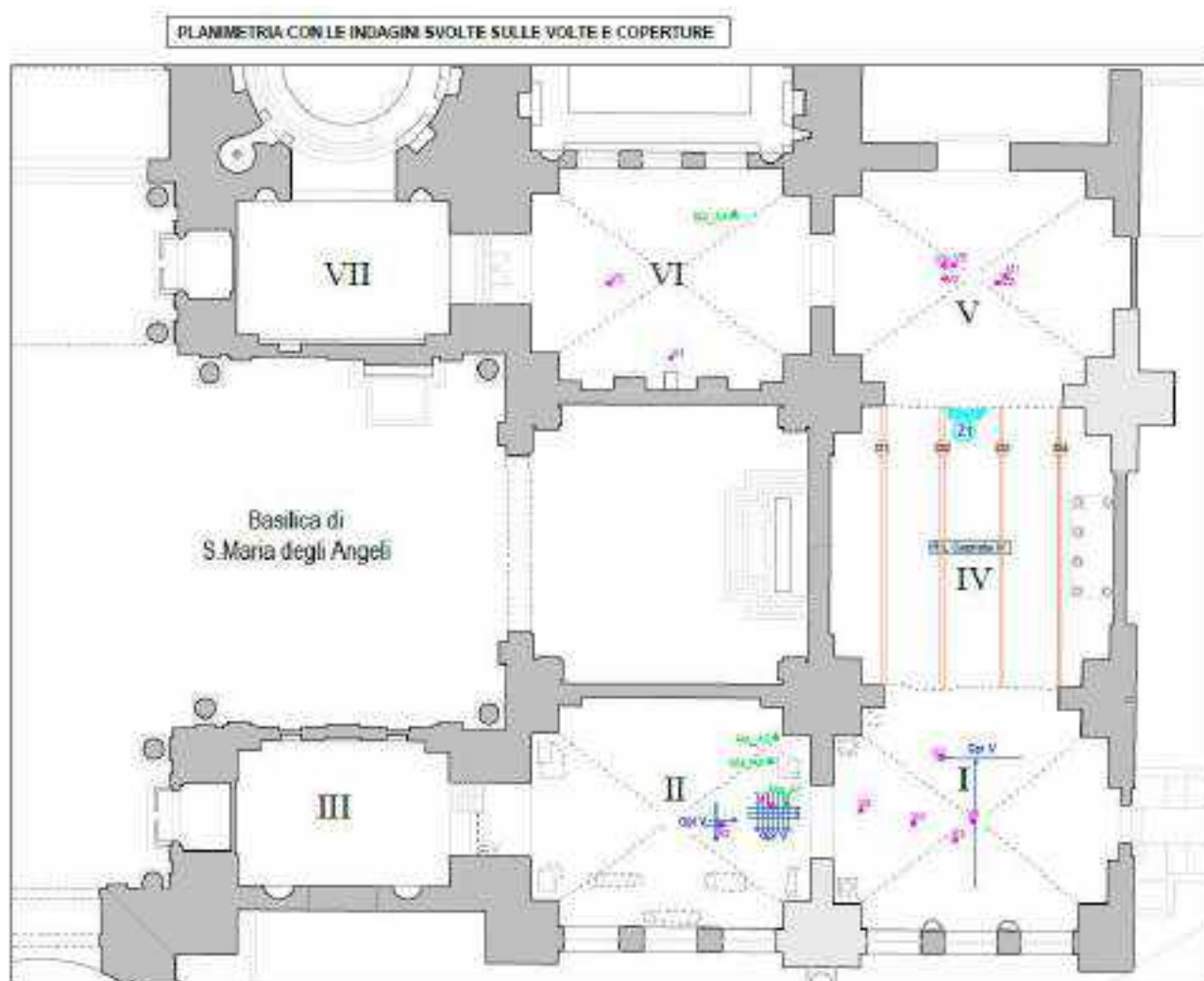


Figura 2.1 – Ubicazione in planimetria delle prove eseguite per la conoscenza delle volte e il rilievo delle capriate

INDAGINI SU VOLTE E COPERTURA	
INDAGINI SU VOLTE	
	Indagine georadar sulle volte
	Video endoscopio sulle volte
	Prelievo massa per osservazioni al microscopio ottico e analisi mineralogico-petrografiche
INDAGINI SU CAPRIATE	
	Rilievo dei dettagli costruttivi della copertura a capriate mediante software dell'Aula IV
	Prelievo di campione di acciaio dalle travi della capriata di copertura e analisi
	Prova di durezza su elementi in acciaio

Figura 2.2 – Legenda dei codici prova per le volte e le capriate

Rispetto al piano delle indagini sono state eseguite tutte le prove possibili in base alle disposizioni ricevute, tra cui l'impossibilità di raggiungere con il cestello le volte dell'Aula VII a causa della presenza del pavimento originale e la riduzione al minimo del numero di perforazioni sulle volte, utilizzando al meglio la presenza di fori preesistenti. Mentre per la raggiungibilità delle diverse parti di ogni volta di copertura il vincolo è stato rappresentato dalla presenza di reperti mobili a terra non spostabili e per questo vincolanti per la scelta della posizione del ragno elevatore.

Le volte analizzate sono quelle dell'Aula I, Aula II, Aula V e Aula VI. Le volte delle Aule III e VII non sono state indagate per l'impossibilità di posizionare il ragno, sia per la conservazione del pavimento originale sia per la presenza di reperti irrimovibili (caso dell'aula III).

Per la copertura metallica della Aula IV è stato eseguito il rilievo geometrico manuale con restituzione su base dwg e sono state eseguite le prove indirette di durezza dell'acciaio (vedi allegati 1B3) per ogni puntone delle 4 capriate ed è stato prelevato un campione per essere sottoposto alle prove meccaniche e chimiche richieste (vedi allegati 1B2).

3.TECNICHE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE UTILIZZATE

3.1 Indagine Georadar (G)

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.

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 soprattutto in applicazioni diverse dallo studio di sezioni murarie, e 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 tracce acquisite e le anomalie rilevate nelle strutture indagate.

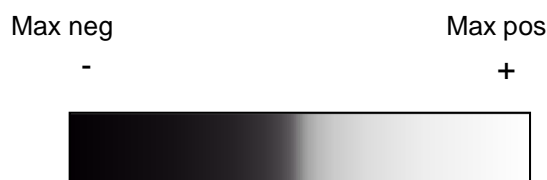
Il risultato dell'indagine radar 2D è una sezione continua del volume di struttura/suolo indagato in cui l'ascissa corrisponde al percorso dell'antenna e l'ordinata ai tempi

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. Questo nei casi in cui gli spazi e le superfici a disposizione siano tali da poter acquisire dati con la massima regolarità, e un passo regolare. Nel caso in oggetto di analisi sono state acquisite sezioni 2D la cui localizzazione rilevata con precisione, ha permesso comunque di poter posizionare al meglio le zone di interesse dal punto di vista della disomogeneità interna del pilastro, della cavità nel sottosuolo e degli spessori nelle volte.

La profondità è riferita alla superficie sulla quale è passata la strumentazione Georadar, nel caso delle volte alla superficie di intradosso.

In linea generale, oltre all'utilizzo per gli scopi connessi al presente lavoro, la tecnica 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 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.

I dati sono stati acquisiti tra il 12 e il 15 Settembre 2022. Gli elaborati relativi alle indagini sulle Volte sono stati consegnati in formato Pdf e in formato dwg editabile.

3.2 Indagine videoendoscopica in foro

Per eseguire l'indagine videoendoscopica è stato utilizzato lo strumento XL Vu VideoProbe della GE sensing end Inspection technologies.

Si tratta di un sistema dotato di luce a LED per ottenere immagini e filmati molto nitidi; la sonda che porta la luce è in fibra ottica di diametro 5mm e lunghezza 2m.

L'indagine con videoendoscopio è stata realizzata per lo più all'interno di fori esistenti trovati aperti, derivanti da campagne di indagine oppure da fasi di intervento di consolidamento precedenti.

4. RISULTATI

4.1 INDAGINI ESEGUITE SULLE VOLTE

Sia l'elaborato 1A1 dedicato alle indagini eseguite sulle Volte I e II che l'elaborato 1A1 dedicato alle analisi delle volte V e VI sono composti da 12 tavole grafiche, all'interno delle quali sono presentati tutti i risultati derivanti dai dati acquisiti e interpretati.

Di seguito riportiamo i risultati fondamentali emersi dal punto di vista degli spessori della volta, della caratterizzazione della zona di intercapedine tra volta e copertura e dello stato di conservazione della superficie di intradosso delle volte.

4.1.1 Analisi della Volta dell'Aula I

I risultati delle indagini eseguite sulla volta dell'Aula I sono descritti nelle tavole da 1 a 6 dell'Elaborato grafico 1A1_Volte I e II.

La somma dei dati radar acquisiti da intradosso della volta della Aula I è stata ricostruita secondo due sezioni continue denominate L1 e L2. Il dato emerso dai dati radar riguarda lo spessore della volta, confrontato e tarato grazie alla presenza di fori trovati sulla volta, nei quali sono state eseguite indagini videoendoscopiche. La sezione radar L1 ha la correlazione con la videoendoscopia V2 e la sezione radar L2 ha la videoendoscopia V1. Inoltre, grazie alla presenza di altri fori, sono state eseguite anche le videoendoscopie V3, V4 e V5.

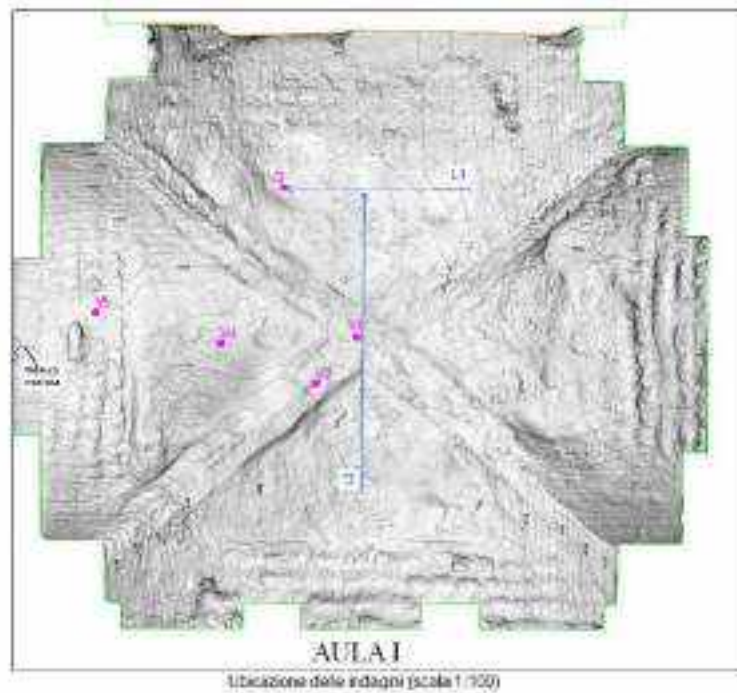


Figura 4.1.1.1 – Posizione delle indagini sulla volta dell'Aula I

Il confronto tra la sezione L1 e le immagini acquisite in V2 ha permesso di definire lo spessore delle vele di circa 25cm. La sezione vista in foro mostra una situazione di omogeneità con alternanza cromatica di colore giallo-arancio e bianco. Raggiunto l'estradosso della volta si trova l'intercapedine vuota con frenelli in laterizio su cui poggia la copertura a falde caratterizzata da tavelloni in laterizio.

Dalla sezione L2 che attraversa la chiave di volta passando per le due vele, si conferma lo spessore di queste ultime e si definisce la chiave di volta come un "pieno" in muratura che, grazie al foro presente, è stato osservato verticalmente con la videoendoscopia V1. Lo spessore attraversato misura 90cm e si presenta senza particolari discontinuità nella regolare alternanza malta-tufelli/laterizio. Il fondo foro mostra la presenza di malta compatta, caratterizzata dai suoi numerosi inerti scuri e grossolani.

La videoendoscopia V3 è stata eseguita sul costolone, all'interno di un altro foro preesistente, nel quale non si raggiunge il vuoto ma si conferma la presenza di muratura della stessa caratteristica trovata in V1 (chiave di volta). In questo punto si rilevano delle discontinuità, forse dovute alle iniezioni di malta nella volta. Si nota inoltre la presenza di un laterizio forato alla profondità di 80 cm dall'intradosso,

interpretato come zona di collegamento tra il costolone e un frenello di appoggio della copertura soprastante.

Il rilievo in foro eseguito in V4, trovato nella vela laterale alla vela analizzata con L1 e V2, conferma lo spessore della volta di circa 25cm e mostra la presenza di un altro frenello intercettato dal foro stesso.

L'ultimo punto disponibile trovato sulla volta dell'Aula I si trova sull'arcone tra Aula I e Aula II, ed è stato analizzato con la videoendoscopia V5. Il foro sempre di circa 90cm di profondità, attraversa circa 60cm di spessore della volta e poi raggiunge l'intercapedine tra estradosso e copertura soprastante. All'interno della intercapedine si vede da vicino uno dei frenelli, del quale è stato osservato il livello caotico e irregolare di messa in opera.

Nella tavola 6 dell'elaborato sono riportate le osservazioni eseguite sul livello superficiale dell'intradosso della volta. In particolare è stata rilevata la presenza di un "intonaco proiettato" che in sezione risulta di colore bianco-calce, nettamente in contrasto con il colore interno al foro giallo-arancio. Si tratta di uno spessore di circa 2-3cm che sottoposto a manuali verifiche acustiche, sembra non del tutto aderente alla superficie originale di intradosso della volta. Le osservazioni ravvicinate hanno infatti messo in evidenza microfessurazioni diffuse su questo strato moderno proiettato, il cui rischio di distacchi localizzati non è da sottovalutare. Nella stessa tavola è stato inoltre ricostruita la geometria di distribuzione e diffusione delle cannule di iniezione all'intorno dei costoloni.

4.1.2 Analisi della Volta dell'Aula II

I risultati delle indagini eseguite sulla volta dell'Aula II sono descritti nelle tavole da 7 a 12 dell'Elaborato grafico 1A1_Volte I e II.

Di seguito sono descritti i dati radar acquisiti sulla vela e le verifiche in foro con cui sono state osservate le condizioni di conservazione della copertura.

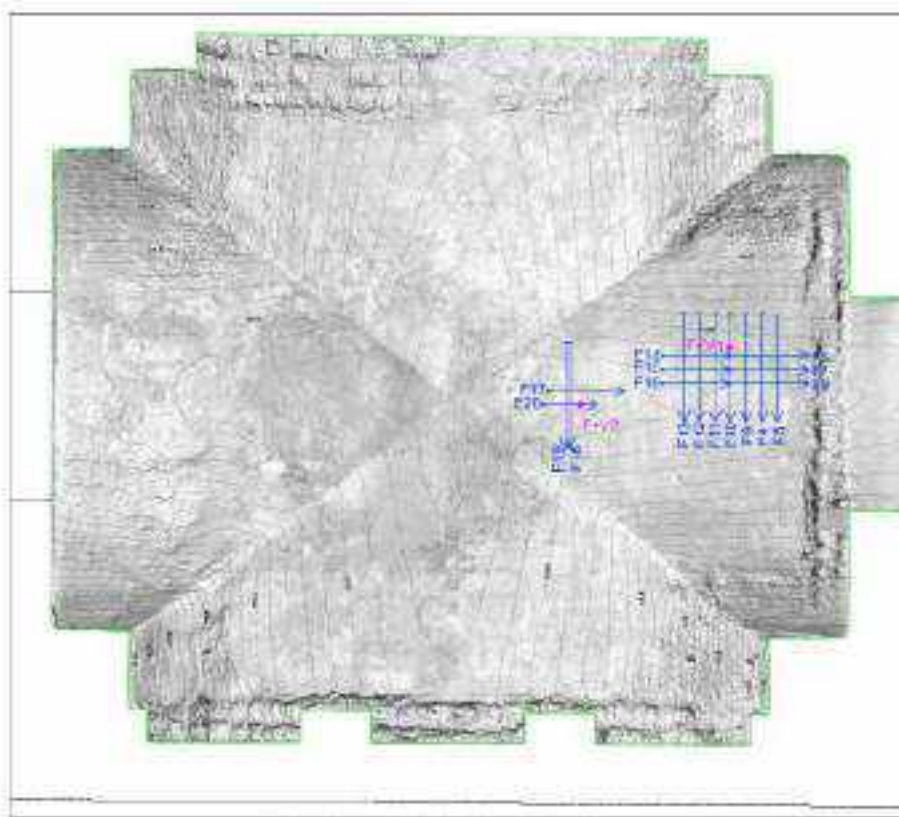


Figura 4.1.2.1 – Posizione delle indagini sulla volta dell'Aula II

Grazie alle sezioni radar in cui è stata rilevata l'armatura e a minimi saggi localizzati in cui è stato rilevato il diametro dei ferri, è stata ricostruita la geometria e l'armatura della volta e delle nervature in C.A. La videoendoscopia è stata eseguita in fori da noi realizzati, le cui posizioni sono state scelte grazie alla indagine georadar, al fine di evitare l'intersezione con una delle nervature ben visibili in tempo reale dal dato radar acquisito. La ricostruzione raggiunta è stata inoltre confrontata con i dati storici forniti, nei quali si parlava solo di nervature estradossate e non del rifacimento completo della volta stessa.

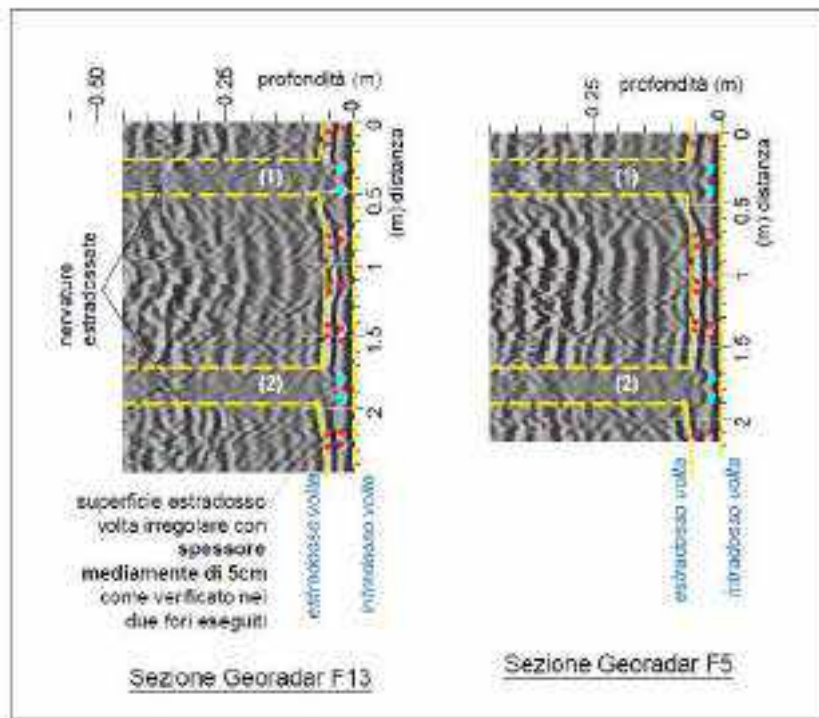


Figura 4.1.2.1 – Esempio di sezioni radar con sovrapposta l'interpretazione

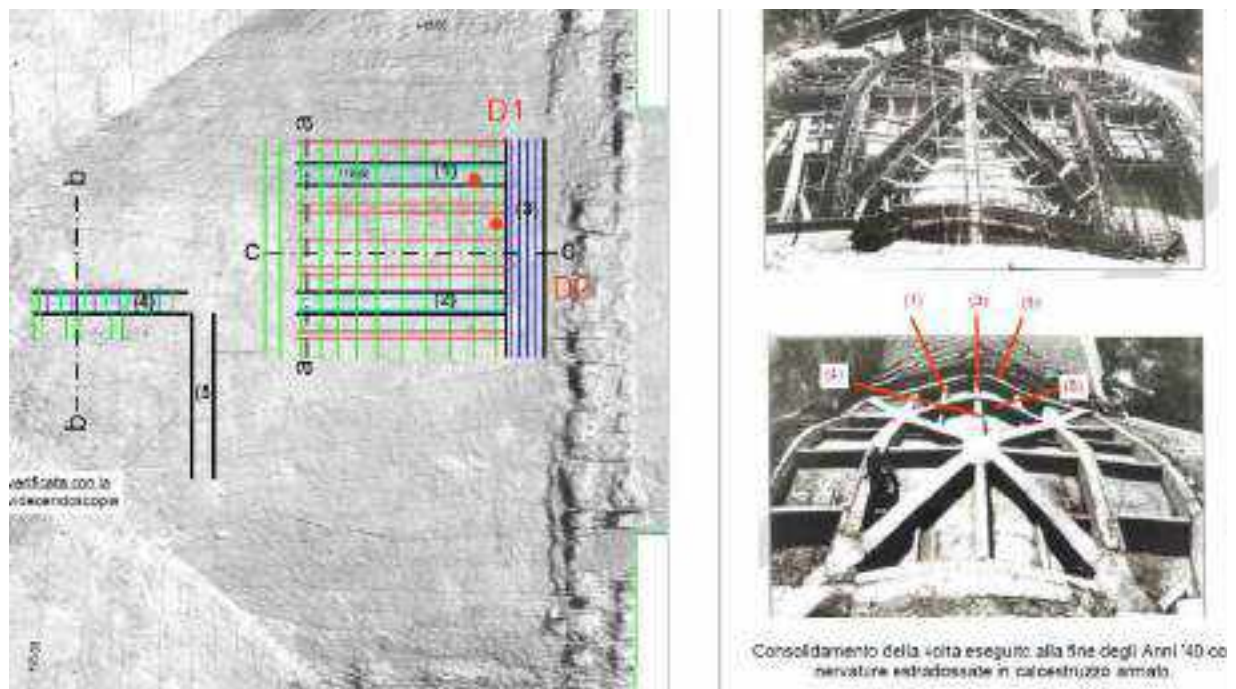


Figura 4.1.2.2 – Sintesi tra la ricostruzione della geometria delle nervature estradossate e della armatura di volta e nervature stesse e confronto con le immagini degli anni 40.

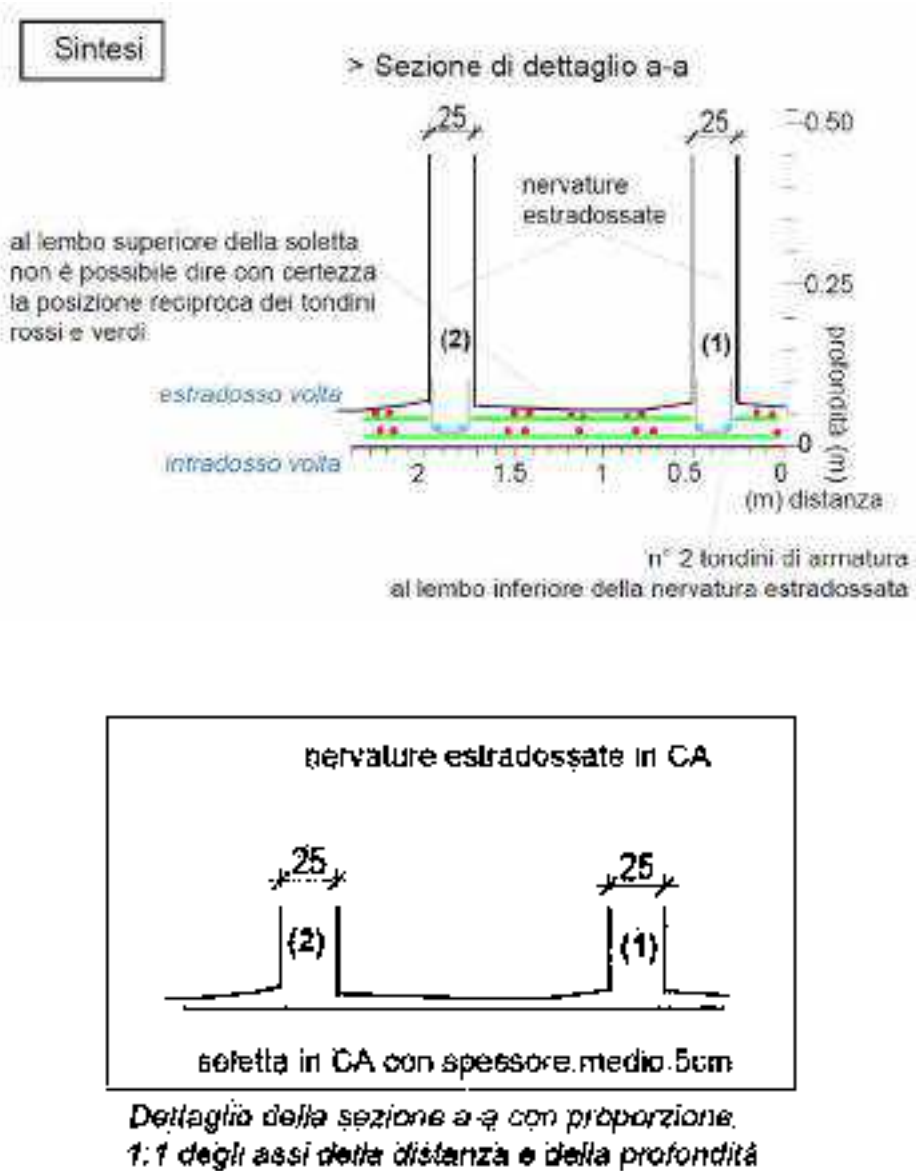


Figura 4.1.2.3– Sezione a-a, sopra derivante direttamente dai dati radar in cui le scale di distanza e profondità (X,Y) non sono uguali, sotto la ricostruzione di sintesi della stessa sezione in scala 1:1.

Il dettaglio di tutti i diametri rilevati o stimati, è descritto nella tavola 10 dell'Elaborato grafico.

Dalla ispezione in videoendoscopia sono emersi dettaglio sia sulle strutture in cemento armato che sulla copertura, in particolare per il suo stato di degrado, derivante da possibili infiltrazioni di umidità reiterate nel tempo. Le putrelle sono infatti in avanzato stato di corrosione mentre alcuni tavelloni risultano sfondellati, mentre le nervature in cemento armato hanno in alcuni tratti i ferri scoperti e ossidati.



Figura 4.1.2.4– Ricostruzione sintetica della sezione compresa tra volta e copertura

Le nervature estradossate oltre una certa quota diventano pilastri sempre in C.A. o comunque sovrastrutture in migliore stato di conservazione rispetto alle nervature sottostanti.

Il calcestruzzo risulta facilmente perforabile e campionabile, per questo è stato raccolto del materiale denominato campione A1, che ne evidenzia le dimensioni degli inerti da 1 a 4cm



Figura 4.1.2.5 Calcestruzzo prelevato all'intradosso della volta dell'aula II con il campione A1

Sempre sulla volta dell'Aula II sono stati interessanti le osservazioni dirette che hanno permesso di prelevare alcuni campioni e definire il “campo” della volta in C.A. rispetto alla parte originale della struttura.

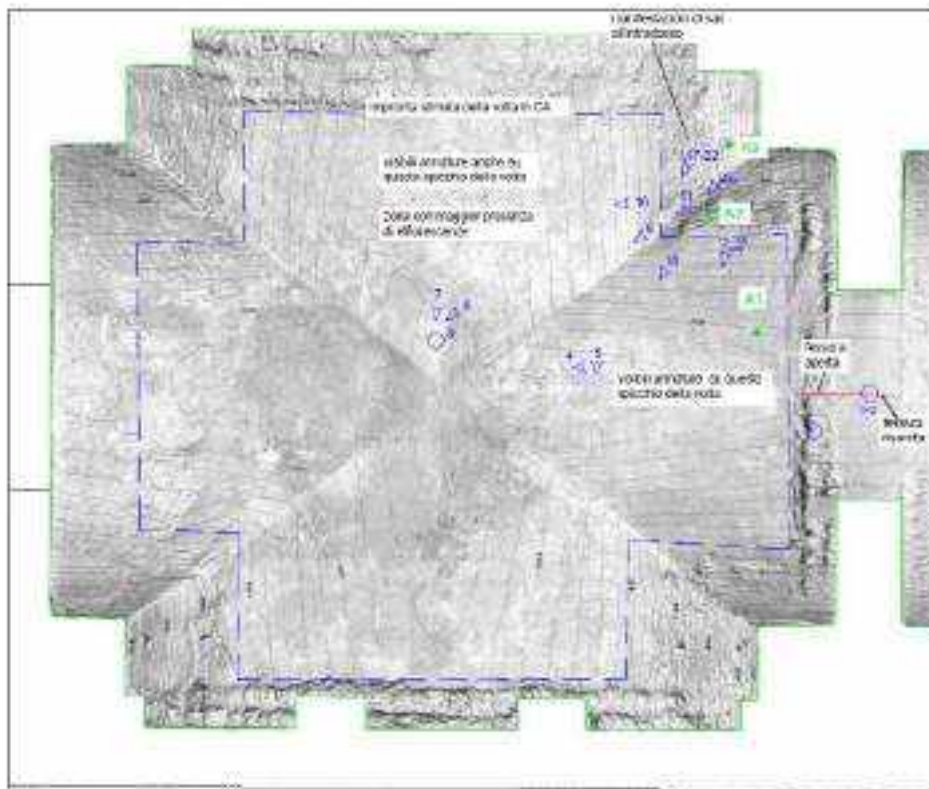


Figura 4.1.2.6 Con il tratteggio blu è definito il limite tra la struttura originale e la struttura in C.A.

Grazie alle osservazioni visive della volta in C.A. è stato possibile rilevare la presenza di:

- Armature scoperte e ossidate;
- Vespai di ghiaia;
- Diffuse macchie di efflorescenze saline.

Le efflorescenze saline, causate dalla percolazione di sali del cemento armato, sono dovute alle infiltrazioni attraverso la copertura e il terrazzo visibili con le ispezioni videoendoscopiche.

Grazie alle osservazioni visive della volta originale residua è stato possibile rilevare:

- La frattura parzialmente risarcita in corrispondenza dell'arcone tra la volta I e II.
- Tufelli a vista a causa dello stato di degrado.
- Intonaco sui tufelli in fase avanzata di esfoliazione e distacco in corrispondenza della zona al limite tra la volta originale e la volta in C.A.
- Intonaco originale della volta in stato di degrado avanzato con manifestazione di efflorescenze in corrispondenza delle zone dei piedritti.

Sulla volta dell'aula II sono stati prelevati altri due campioni di malta A2 e A3. I risultati delle analisi mineralogico-petrografiche sono descritti in dettaglio nella "Relazione 3F (e 1A2)_codice prova Ma_Indagine su Malte". In particolare, l'analisi del campione A2 prelevato dalla volta in muratura residua al di sotto delle reni mette in evidenza che la malta è analoga a quella analizzata nei pilastri.

4.1.3 Analisi della Volta dell'Aula V

I risultati delle indagini eseguite sulla volta dell'Aula V sono descritti nelle tavole da 1 a 7 dell'Elaborato grafico 1A1_Volte V e VI. Dalla tavola 8 alla 12 sono invece descritti i risultati ottenuti sulla volta dell'Aula VI.

La presenza della fitta rete metallica superficiale di protezione che riprende il motivo geometrico della crociera non ha permesso l'utilizzo della tecnica georadar, per questo motivo la volta è stata indagata solamente tramite videoendoscopia in foro. Sono state eseguite n°5 videoendoscopie, di cui n°4 in fori esistenti.

Grazie alle indagini videoendoscopiche e alle osservazioni visive effettuate da intradosso è stato verificato che la volta dell'aula V è per metà in cemento armato e per metà in muratura, come descritto nella relazione del piano di indagini diagnostiche.

Sulla **porzione di volta in C.A.** sono state eseguite due videoendoscopie. Con i due punti di verifica diretta V1 e V2 è stata rilevato:

- Lo spessore della soletta della porzione di volta in CA pari a 5cm, come nella volta dell'aula II.
- La presenza dell'intercapedine tra la volta in CA e la copertura.
- La tipologia di copertura, realizzata con una doppia orditura di putrelle e tavelloni.
- La presenza di nervature in CA che risultano in buono stato di conservazione rispetto alle nervature estradossate della volta dell'aula II.



Figura 4.1.3.1 Foto di dettaglio del pilastro in C.A. e della copertura in putrelle e tavelloni

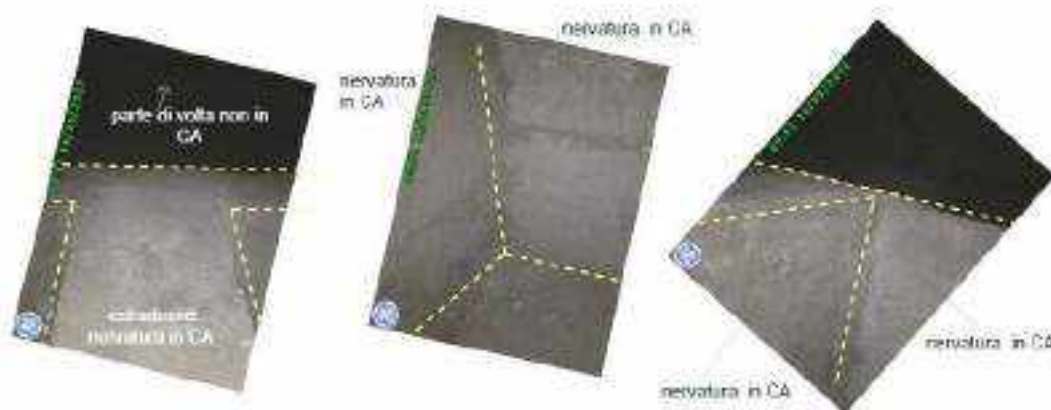


Figura 4.1.3.2 Nervature estradossate in C.A.

Dalle osservazioni condotte nell'intercapedine tra la volta in CA e la copertura è stato possibile anche osservare:

- La presenza di un pilastro di mattoni appoggiato sopra la nervatura estradossata. Sul pilastro è murata in appoggio la putrella dell'orditura principale della copertura. Questo appoggio non risulta ben realizzato.
- Possibili colature di materiale a base di resina probabilmente provenienti da interventi a livello della copertura.

Sulla **porzione di volta originale** (in muratura) sono state effettuate 3 videoendoscopie V3, V4 e V5. In tutti e 3 i punti di verifica si nota la regolare alternanza dei tufelli/laterizio e della malta.

La videoendoscopia V3 è stata eseguita all'interno di un foro esistente. Lo spessore attraversato misura 80cm e presenta una discontinuità a 30cm che identifica il possibile limite della volta. Oltre 30 cm di profondità è possibile che il foro preesistente abbia intercettato un frenello fatto di materiale pieno o un maggior spessore della volta o il riempimento.

Le videoendoscopie V4 e V5 sono state eseguite all'interno di fori esistenti. Lo spessore attraversato in corrispondenza di V4 misura 85cm, mentre lo spessore attraversato in corrispondenza di V5 misura 90cm. In entrambi i casi è presente una discontinuità a 35cm che identifica il possibile limite della volta. Oltre 35cm di profondità è possibile

che il foro preesistente abbia intercettato un frenello fatto di materiale pieno o un maggior spessore della volta o il riempimento.

Sull'intradosso della porzione della volta in C.A. sono state rilevate le seguenti evidenze:

- Strato di malta superficiale sopra il calcestruzzo con spessore 0,5-1cm che risulta soggetto a distacchi. Nelle foto riportate nella tavola 6 sono visibili le zone di distacco della malta (le zone più chiare) e le corrispondenti porzioni di malta già distaccata trattenuta dalla rete metallica di intradosso.
- Presenza di vespai.
- Zona localizzata con fessurazioni e possibile riempimento.

Grazie al saggio localizzato D1 sulla porzione di volta in C.A. sono state rilevate le caratteristiche di un tondino. Il ferro in oggetto con diametro $\varnothing 10$ è liscio ed ossidato.



Figura 4.1.3.2 Malta già staccata e trattenuta dalla rete metallica di intradosso

4.1.4 Analisi della Volta dell'Aula VI

I risultati delle indagini eseguite sulla volta dell'Aula VI sono descritti nelle tavole da 8 a 12 dell'Elaborato grafico 1A1_Volte V e VI.

Sulla volta dell'aula VI sono state eseguite n°2 indagini videoendoscopiche in fori esistenti e numerose osservazioni sullo stato di conservazione visibile da intradosso ad occhio nudo. In entrambi i punti si nota la regolare alternanza dei tufelli/laterizi e malta.

Lo spessore attraversato con il foro preesistente V1 misura 88cm e presenta una discontinuità a 35cm che identifica il possibile limite della volta. Oltre 35 cm di profondità è possibile che il foro preesistente abbia intercettato un frenello fatto di materiale pieno o un maggior spessore della volta o il riempimento.

Lo spessore attraversato con il foro preesistente V2 misura 70cm e non presenta particolari discontinuità che possano essere associate al possibile limite della volta.

Dall'alternanza di tufelli/laterizi e dalla colorazione della malta di entrambi i punti di verifica V1 e V2, si può pensare che il materiale attraversato sia tutto della volta originale. Il materiale intercettato dai fori esistenti non è associabile alla contro volta in CA citata nei documenti allegati al piano delle indagini.

Con le osservazioni visive sull'intradosso della volta dell'aula VI è stato possibile verificare la presenza di alcuni degli interventi di restauro e consolidamento citati nella relazione del piano delle indagini. Sono state infatti rilevate:

- Iniezioni armate con interasse 60x60cm e tondino di armatura con diametro Ø10.
- Iniezioni di malta con interasse di 30cm, la cui distribuzione non risulta regolare.
- Presenza interventi localizzati, come la zona con tufelli/laterizi inseriti all'interno di calcestruzzo moderno.



Figura 4.1.4.1 Dettaglio dell'iniezione armata (a sinistra) e dettaglio dell'iniezione di malta (a destra).



Figura 4.1.4.2 Ricostruzione della distribuzione delle due tipologie di iniezioni.

In corrispondenza di una zona non fissa dell'intradosso, quindi a rischio caduta, è stato prelevato il campione di malta denominato A4. I risultati delle analisi mineralogico-petrografiche sono descritti in dettaglio nella "Relazione 3F (e 1A2)_codice prova Ma_Indagine su Malte".



Figura 4.1.4.3 Dettaglio del prelievo del campione di malta A4

In relazione allo stato di conservazione è possibile riportare le seguenti evidenze visive:

- Presenza di molti punti soggetti a distacco come quello del campione A4, dovuti all'assenza di uno strato di malta di intradosso (tipo l'intonaco proiettato presente nell'aula I).
- Laterizi disposti “quasi” in foglio sull'intradosso della volta e impronte di laterizi staccati. Tale dettaglio può far supporre che siano presenti molti punti soggetti a distacco.

4.2 RILIEVO GEOMETRICO DELLA CAPRIATA DELLA COPERTURA DELL'AULA IV

Il rilievo geometrico delle capriate della copertura dell'aula IV è rappresentato graficamente nell'“Allegato 1B1” composto da 3 tavole fornite in versione pdf e in versione editabile dwg.

Tramite il rilievo geometrico sono stati rilevati: gli elementi strutturali che compongono le capriate (puntoni, catene, ecc.), le travi perimetrali di appoggio, il pacchetto di copertura, gli apparecchi di appoggio e i dettagli costruttivi delle unioni presenti (bullonate o saldate).

Inoltre grazie alla verifica diretta con videoendoscopia è stata rilevata la lunghezza di appoggio delle travi perimetrali sulla muratura.



Figura 4.2.1 Rilievo dei dettagli costruttivi della capriata di copertura dell'aula IV.

Sulle capriate sono state effettuate 4 indagini durometriche ed un prelievo di acciaio, il quale è stato sottoposto a prova di trazione e ad analisi chimiche e metallografiche consultabili nell'allegato specifico.

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati descritti i risultati ottenuti dalle indagini georadar, videoendoscopiche e visive sulle volte delle aule I, II, V e VI. Rispetto a tutte le informazioni descritte nei risultati riguardanti le caratteristiche geometriche della volta e della copertura, di seguito si sintetizzano gli aspetti di rischio non strutturali derivanti dallo stato di conservazione osservato durante le indagini.

Tutte le volte delle aule analizzate presentano particolari situazioni di distacco superficiale.

Nella volta I si tratta dell'intonaco "proiettato" con spessore medio di 2-3cm caratterizzato da microfessure e con risposta acustica manuale non soddisfacente, è facilmente soggetto a distacco.

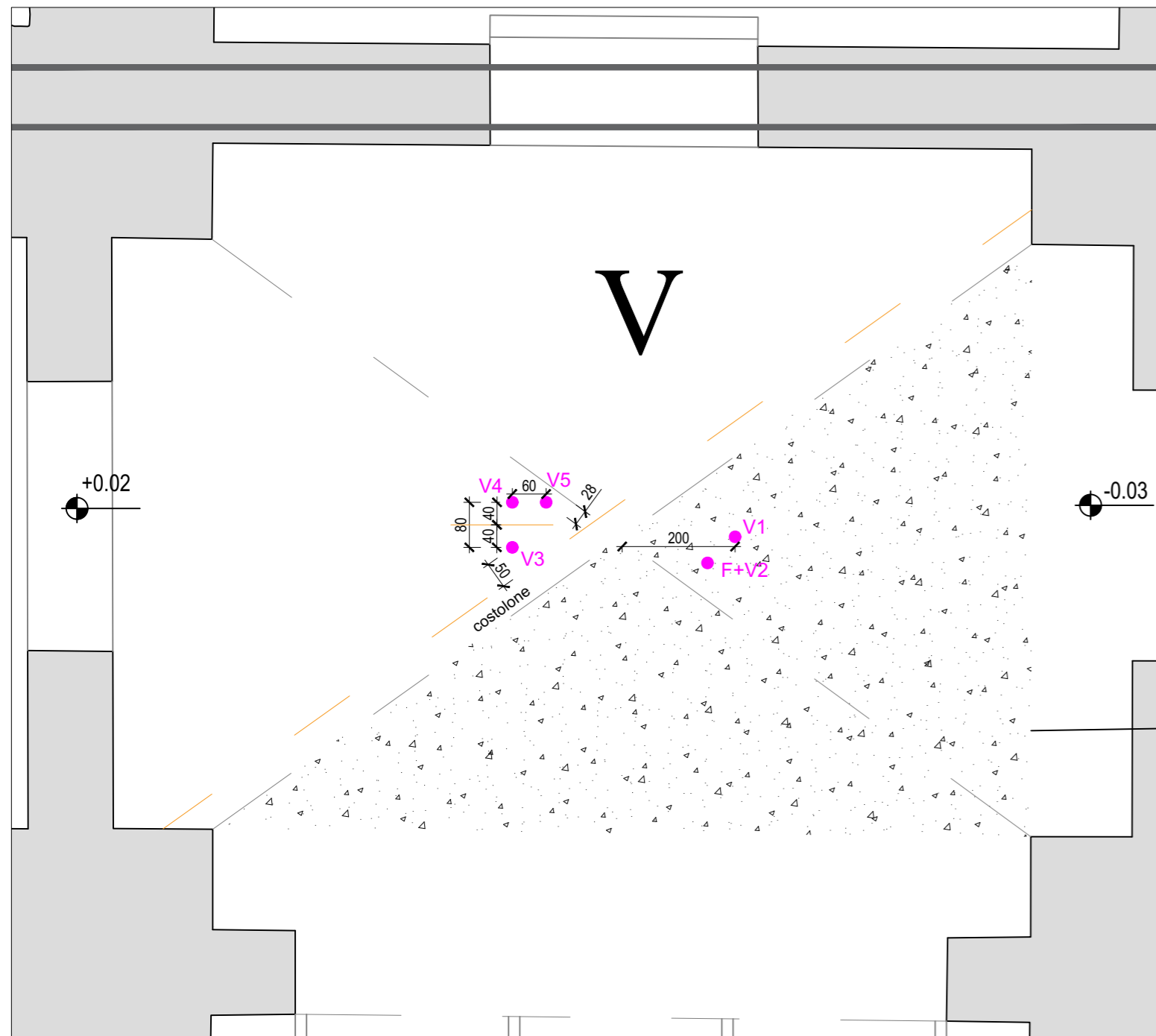
La volta V mostra distacchi di malta in atto, ma grazie alla presenza della rete di protezione, al momento il rischio di caduta a terra delle parti non più adese alla superficie è ridotto.

La variabilità della superficie di intradosso della volta dell'aula VI, dovuta a presumibili fasi di restauro, rende disomogeneo il comportamento dell'intera volta rispetto alle diverse sollecitazioni ambientali, portando a possibili conseguenti distacchi, non solo di frammenti di intonaco ma anche di inerti di varia dimensione.

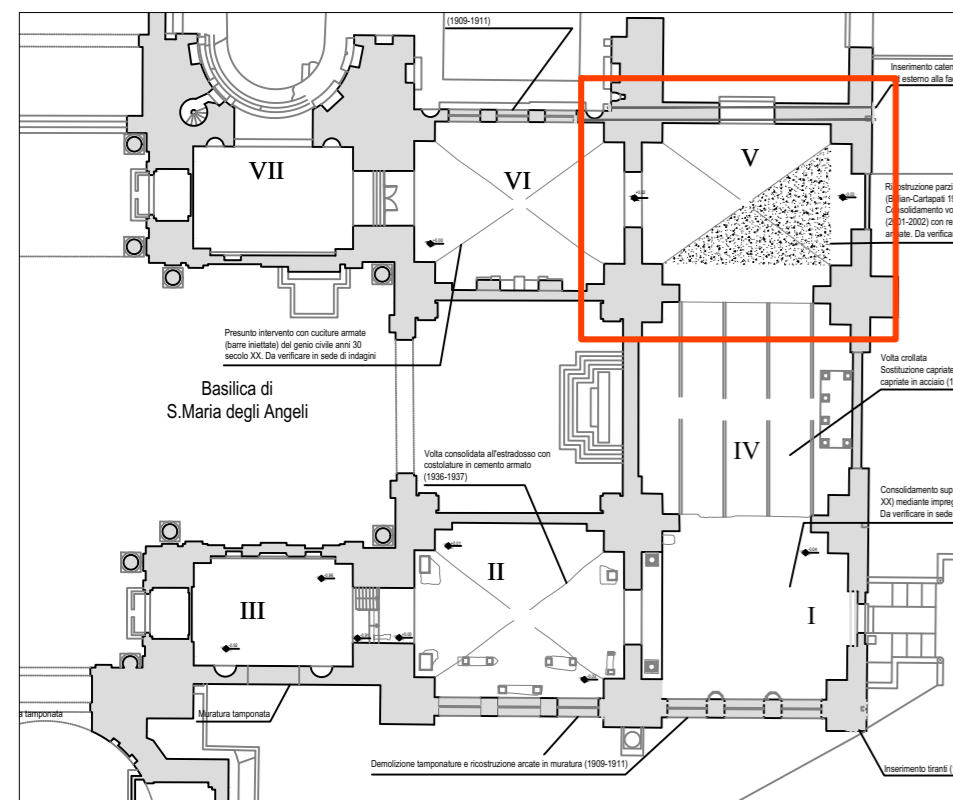
Per quanto riguarda la volta dell'aula II le zone a rischio di distacco sono localizzate soprattutto al di sotto delle reni, in corrispondenza del punto di contatto tra la muratura originale e la volta in C.A. Inoltre, sulla volta in calcestruzzo dell'aula II la presenza di vespai, infiltrazioni e dimensioni rilevanti degli inerti del calcestruzzo rende possibili i distacchi del ridotto copriferro.

La copertura soprastante la volta dell'aula II mostra segni di avanzato stato di degrado, probabilmente dovuto a infiltrazioni pregresse.

Analisi delle volte - Aula V



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula V

N.B.
- n° 4 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti
- eseguito n°1 foro per videoendoscopia su volta parziale in CA.

Legenda

- F+V Foro + videoendoscopia
- V Videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta

Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

AULA V (Parte di volta in CA): Video endoscopia V2

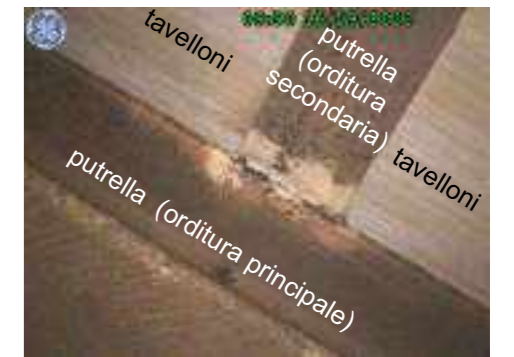
Foro effettuato sulla parte di volta in CA.
Foro di 5cm di profondità nella soletta della volta.



Foto all'interno del foro realizzato nella soletta in CA di 5cm di spessore.



Intradosso della copertura



Dettaglio della copertura

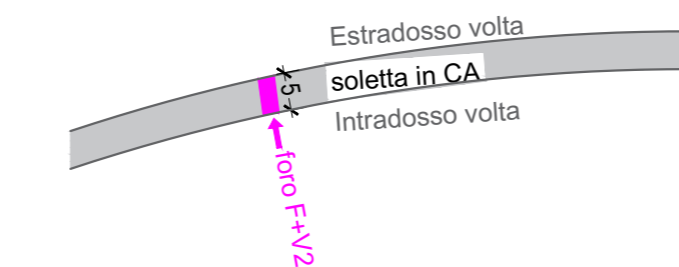
Putrella grande, orditura principale della copertura.

copertura con putrelle e tavelloni
Intradosso copertura

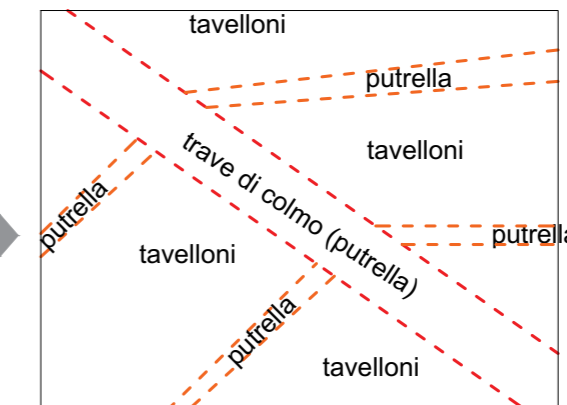
intercapedine



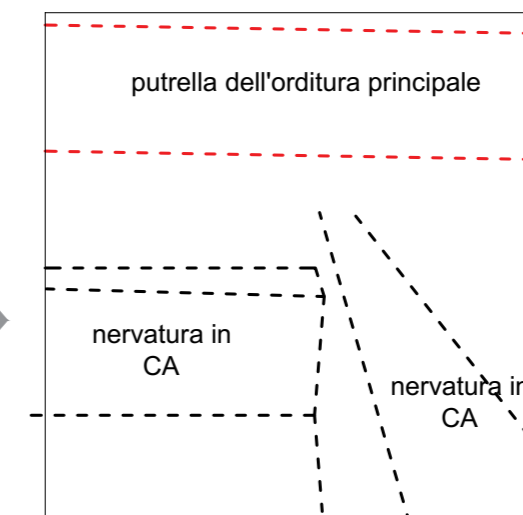
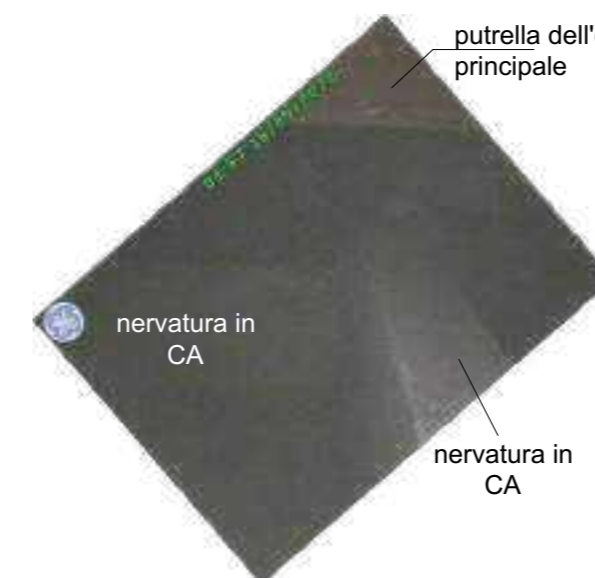
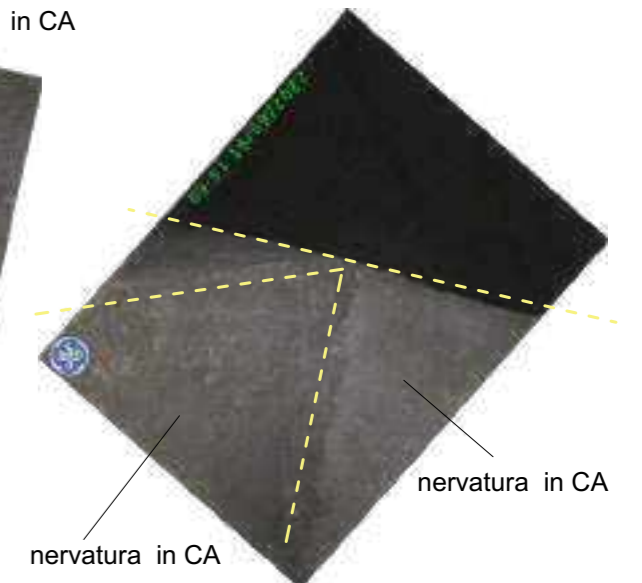
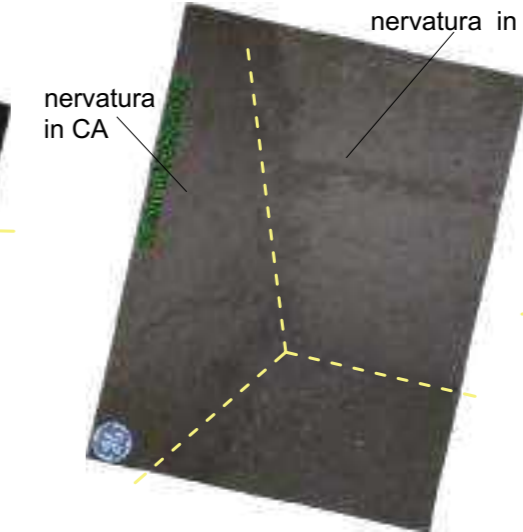
nervatura estradossata in CA



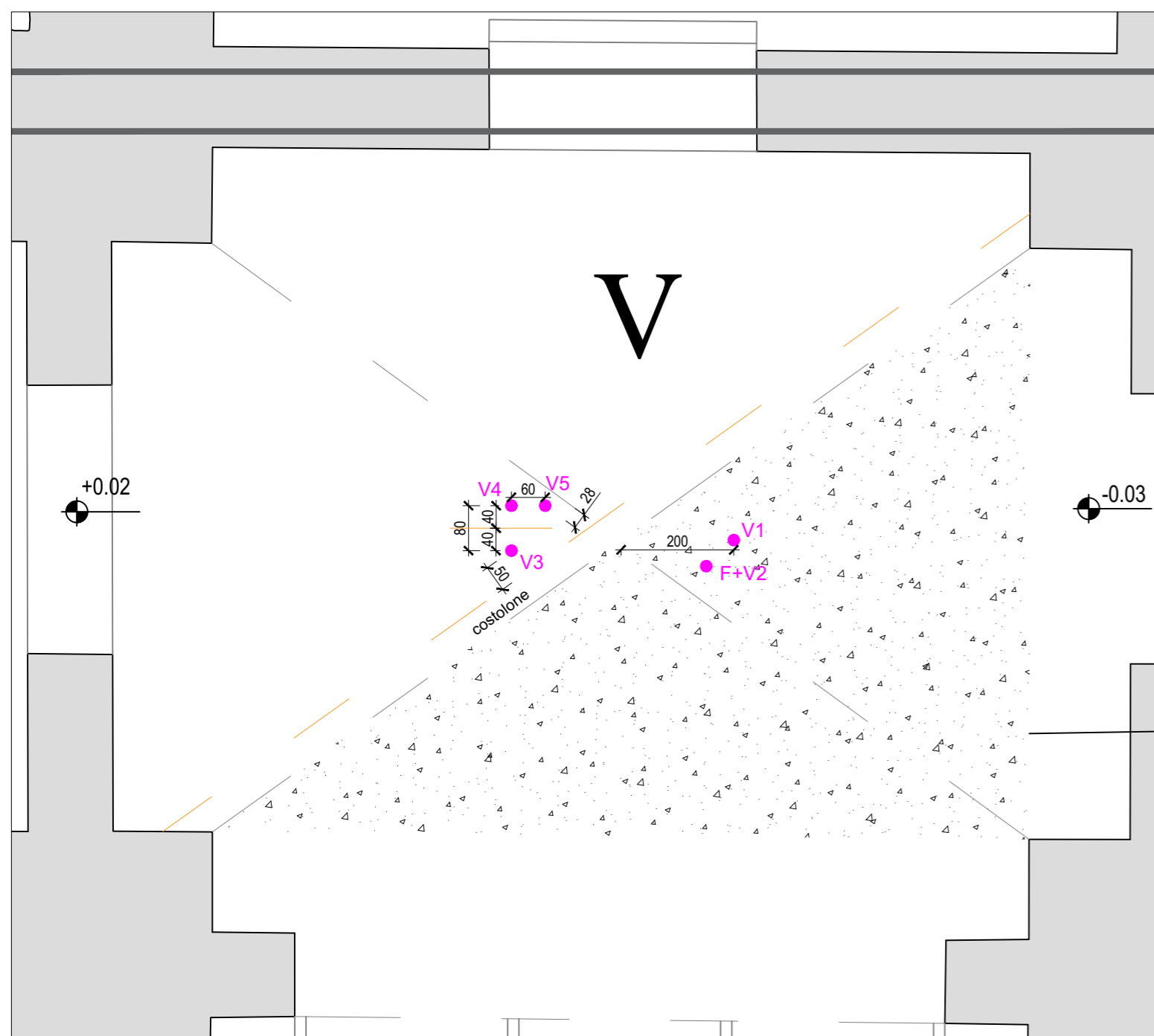
nervatura estradossata in CA



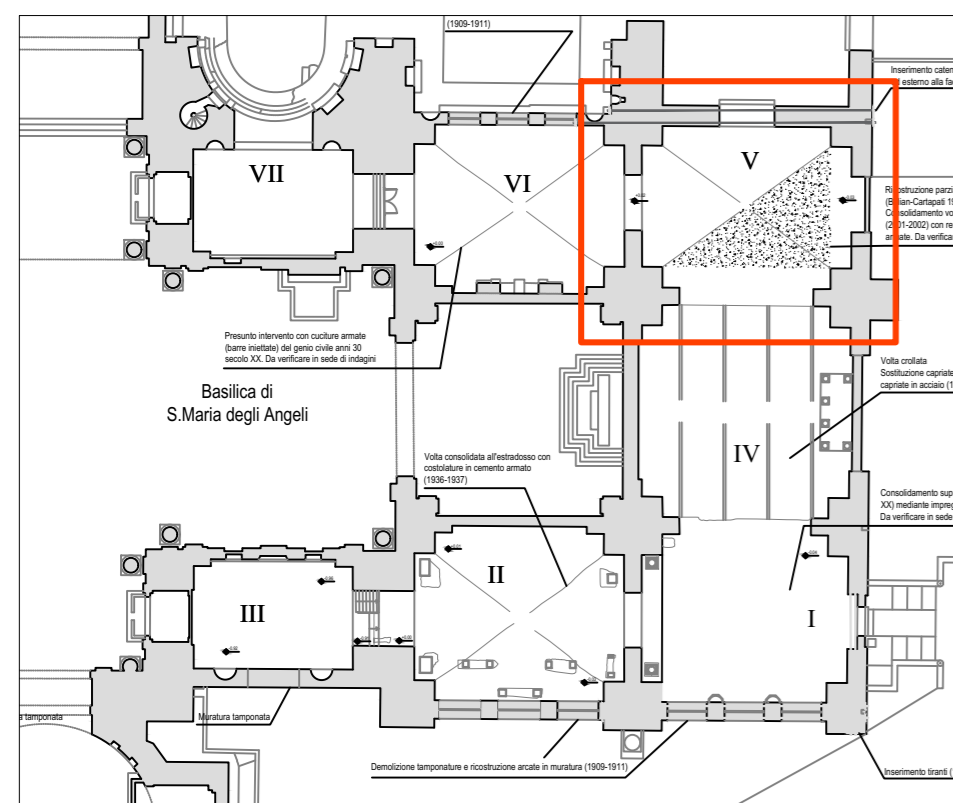
- Note:
- La soletta della porzione di volta in CA ha uno spessore di 5cm.
 - Sono visibili le nervature in CA.
 - Lo stato di conservazione delle nervature è buono.
 - La copertura è realizzata con tavelloni e una doppia orditura di putrelle.



Analisi delle volte - Aula V



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula V

N.B.
- n° 4 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti
- eseguito n°1 foro per videoendoscopia su volta parziale in CA.

Legenda

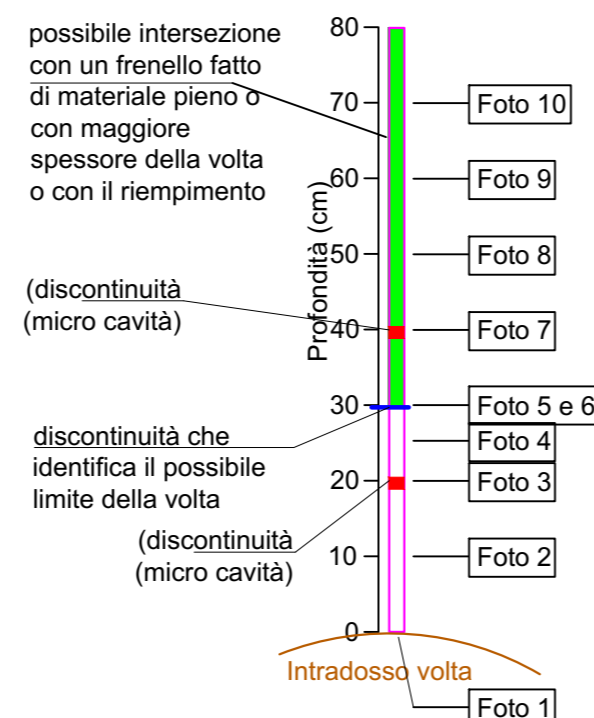
- F+V Foro + videoendoscopia
- V Videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta

Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

AULA V (Parte di volta originale): Video endoscopia V3

Foro esistente di 80 cm di profondità.



N.B. Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.



Foto 4 scattata a 25 cm da inizio foro



Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro

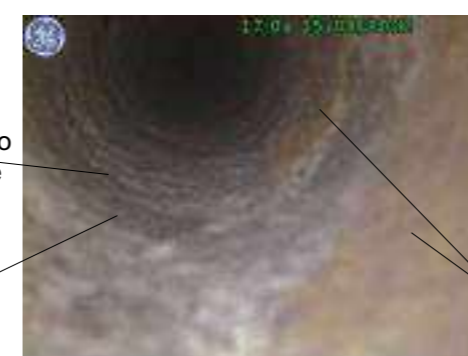


Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro



Foto 1 scattata fuori dal foro



Foto 8 scattata a 50 cm da inizio foro



Foto 7 scattata a 40 cm da inizio foro



Foto 6 scattata a 30 cm da inizio foro (dettaglio)



Foto 5 scattata a 30 cm da inizio foro

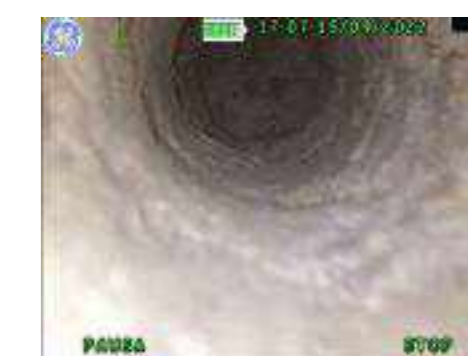


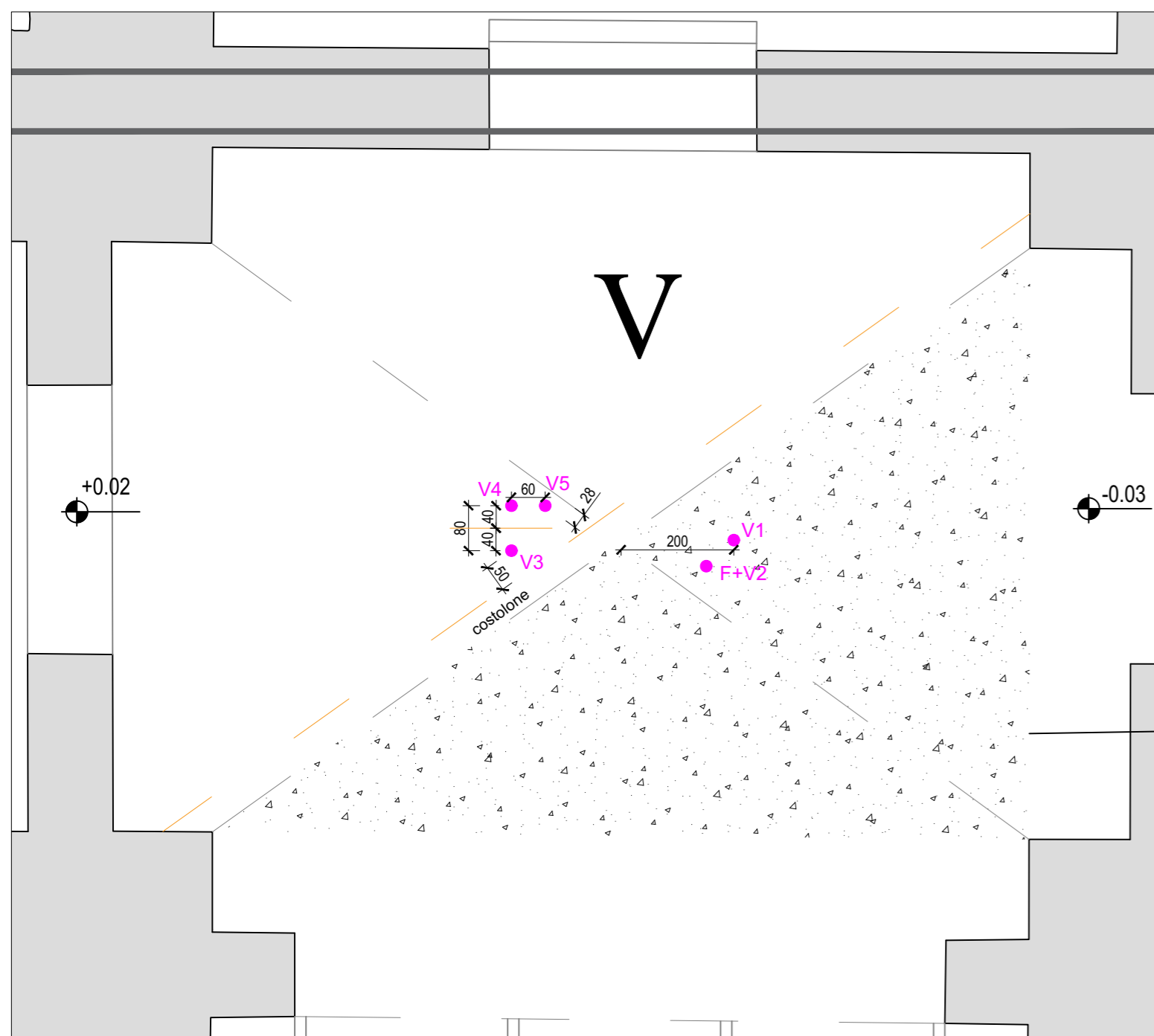
Foto 10 scattata a 70 cm da inizio foro

pareti foro compatte con alternanza di tufelli/laterizi e malta

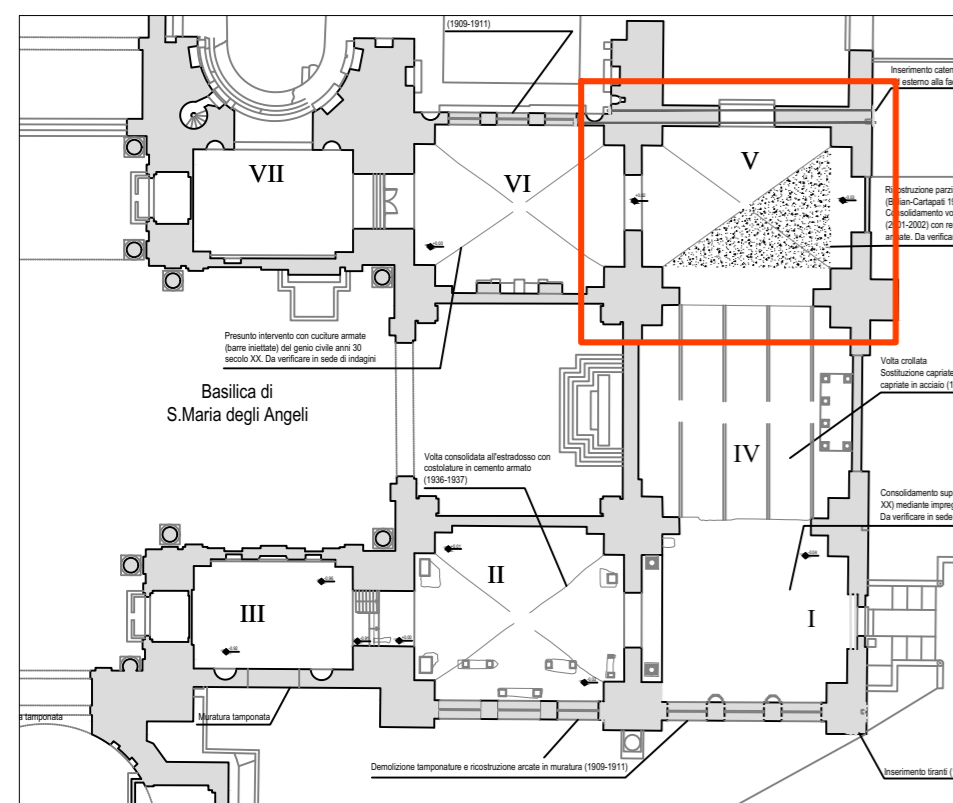


Foto 9 scattata a 60 cm da inizio foro

Analisi delle volte - Aula V



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula V

N.B.
- n° 4 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti
- eseguito n°1 foro per videoendoscopia su volta parziale in CA.

Legenda

- F+V Foro + videoendoscopia
- V Videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta

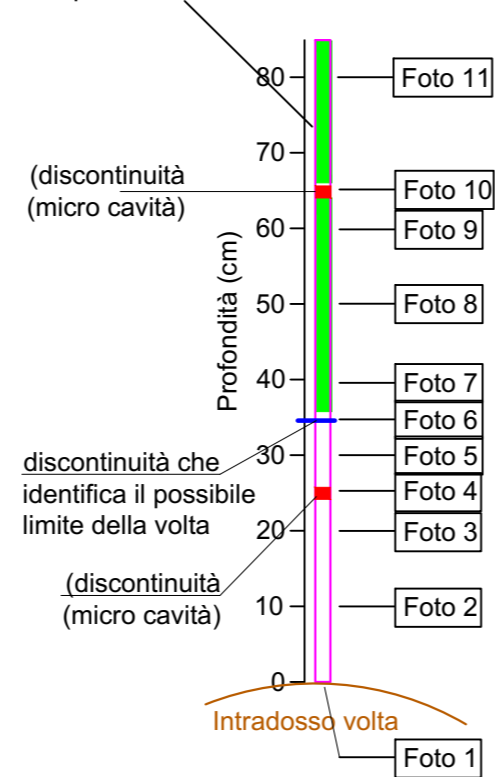
Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

AULA V (Parte di volta originale): Video endoscopia V4

Foro esistente di 85 cm di profondità.

possibile intersezione con un frenello fatto di materiale pieno o con maggiore spessore della volta o con il riempimento



N.B. Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.



Foro esistente in cui è stata eseguita la videoendoscopia V4

Foto 4 scattata a 25 cm da inizio foro

Foto 8 scattata a 50 cm da inizio foro

Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro

Foto 7 scattata a 40 cm da inizio foro

Foto 11 scattata a 80 cm da inizio foro

Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro

Foto 6 scattata a 35 cm da inizio foro

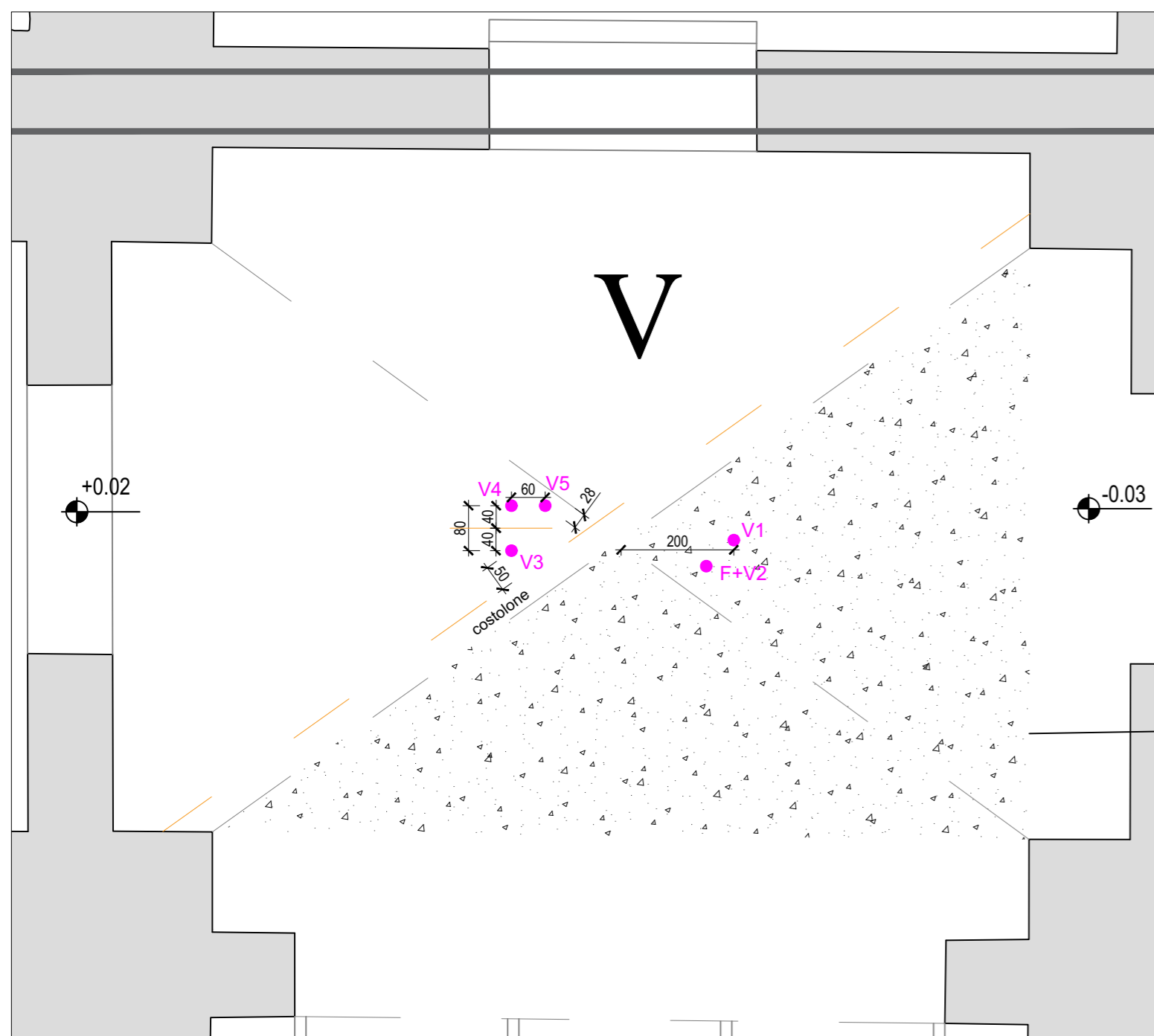
Foto 10 scattata a 65 cm da inizio foro

Foto 1 scattata fuori dal foro

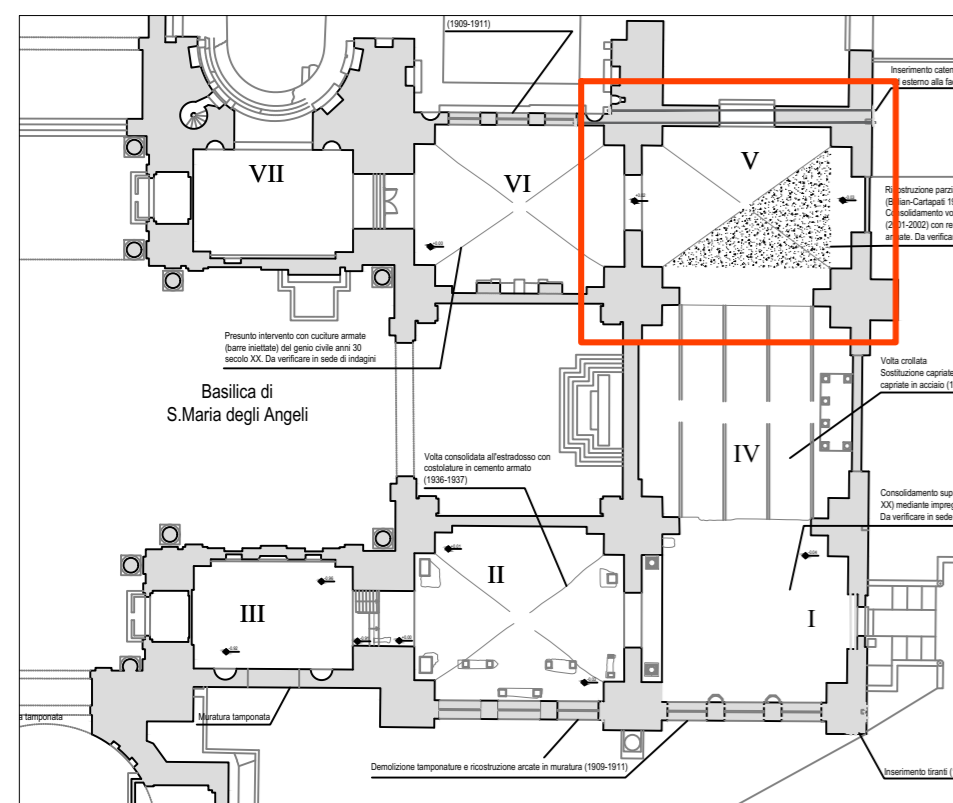
Foto -5 scattata a 30 cm da inizio foro

Foto 9 scattata a 60 cm da inizio foro

Analisi delle volte - Aula V



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula V

N.B.
- n° 4 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti
- eseguito n°1 foro per videoendoscopia su volta parziale in CA.

Legenda

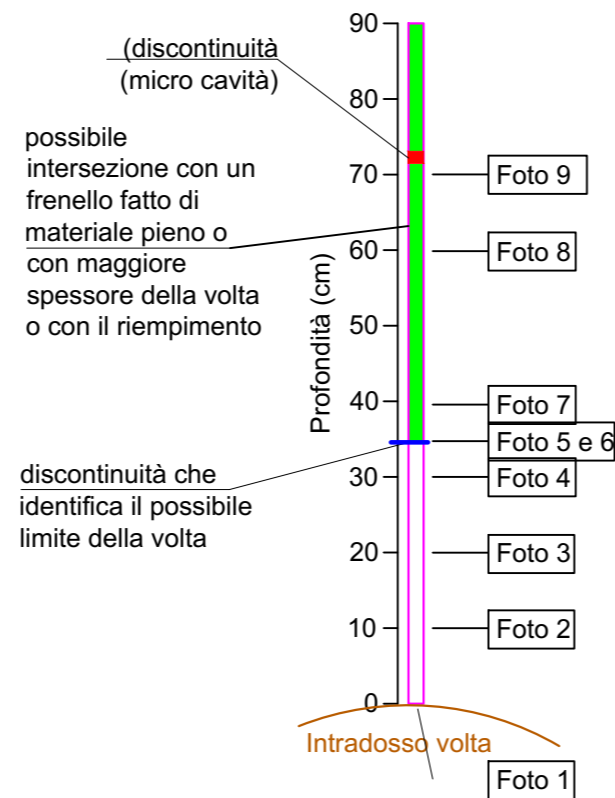
- F+V Foro + videoendoscopia
- V Videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta

Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

AULA V (Parte di volta originale): Video endoscopia V5

Foro esistente di 90 cm di profondità.



N.B. Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.



Foro esistente in cui è stata eseguita la videoendoscopia V5

<p>tufelli/laterizio</p> <p>Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro</p>	<p>tufelli/laterizio</p> <p>Foto 6 scattata a 35 cm da inizio foro</p>	<p>discontinuità (micro cavità)</p> <p>Foto 9 scattata a 70 cm da inizio foro</p>
<p>parete foro irregolare</p> <p>Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro</p>	<p>discontinuità che identifica il possibile limite della volta</p> <p>Foto 6 scattata a 35 cm da inizio foro</p>	<p>tufelli/laterizio</p> <p>pareti foro compatte</p> <p>Foto 8 scattata a 60 cm da inizio foro</p>
<p>Foto 1 scattata fuori dal foro</p>	<p>discontinuità che identifica il possibile limite della volta</p> <p>Foto 4 scattata a 30cm da inizio foro</p>	<p>malta</p> <p>tufelli/laterizio</p> <p>pareti foro compatte</p> <p>Foto 7 scattata a 40 cm da inizio foro</p>

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

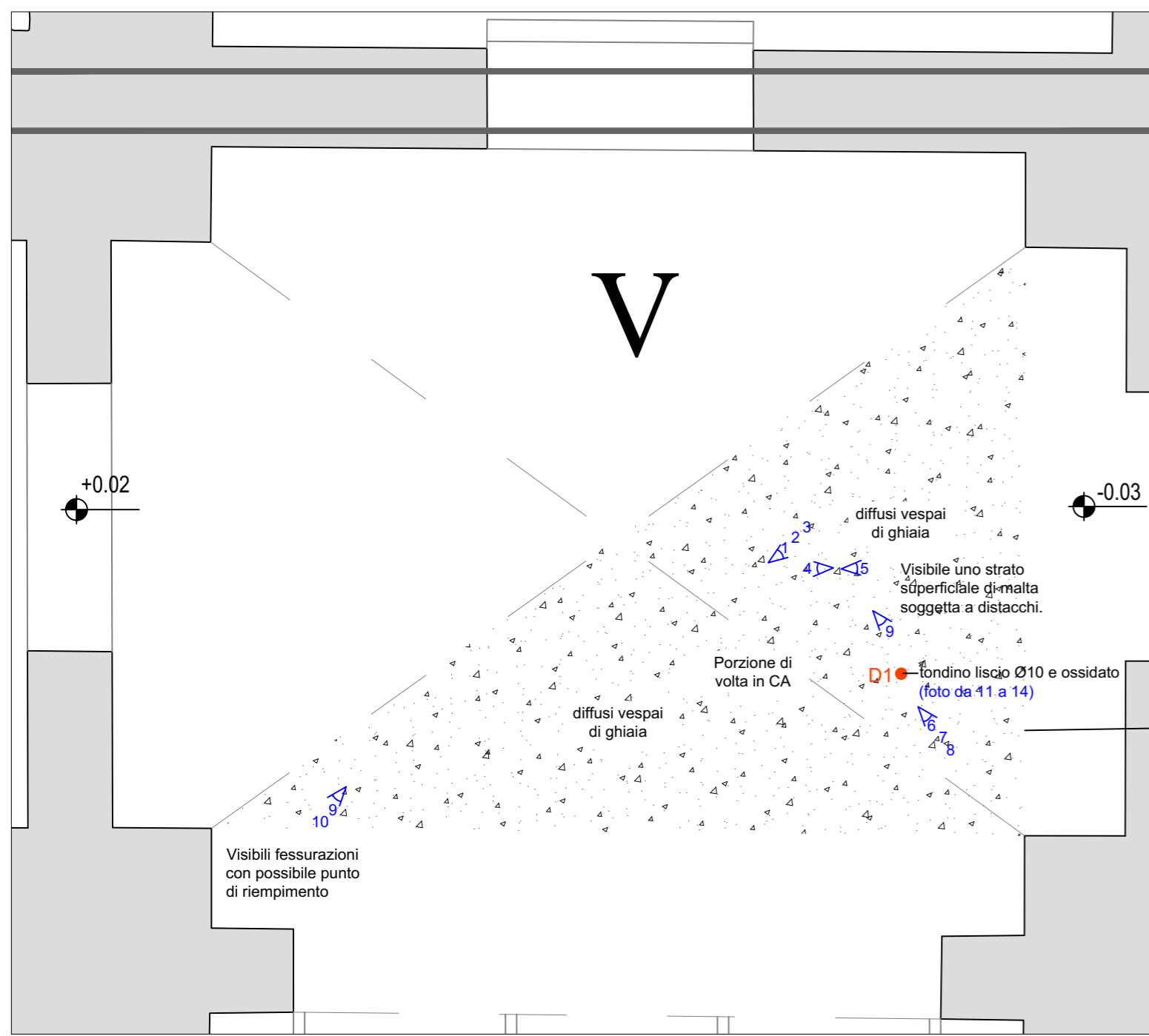
PROGETTO
Servizio di diagnostica strumentale - Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO
Analisi delle volte - Aula V
Indagine videoendoscopica ed osservazioni visive per lo stato di conservazione

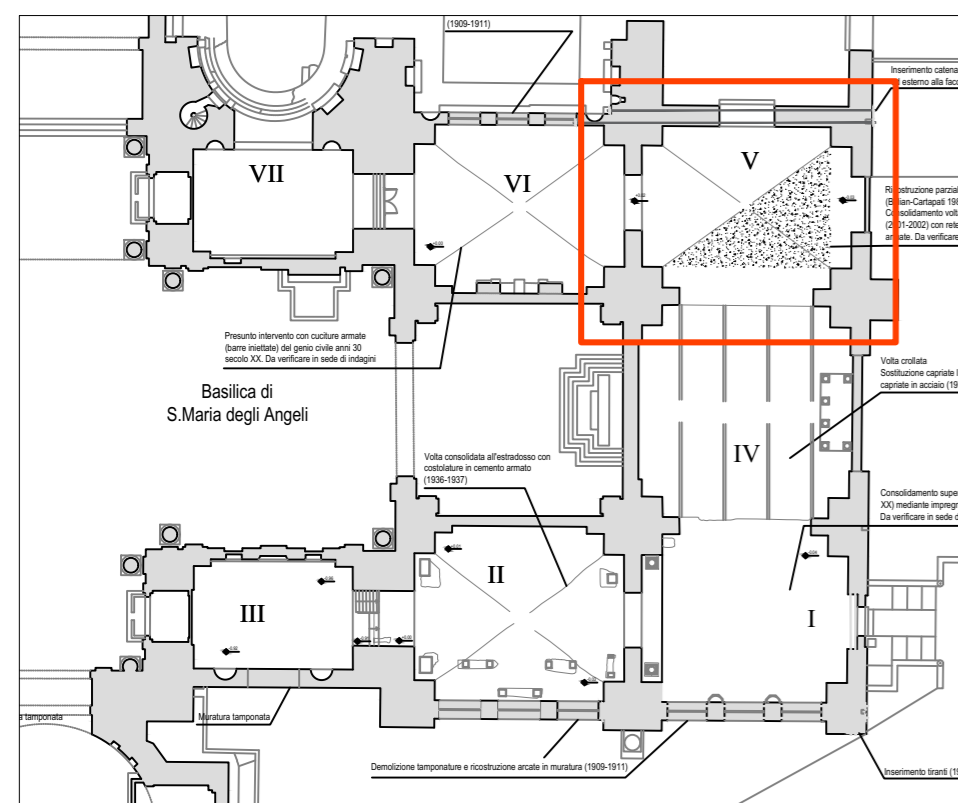
ELABORAZIONE VERIFICA APPROVAZIONE	Ing. Erika Lorenzini Arch. Annalisa Morelli Ing. Paolo Chiara	DATA CONSEGNA 5 Ottobre 2022	RIF. INTERNI CO-049_22_archi
--	---	--	--

TAVOLA
5

Analisi delle volte - Aula V



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive

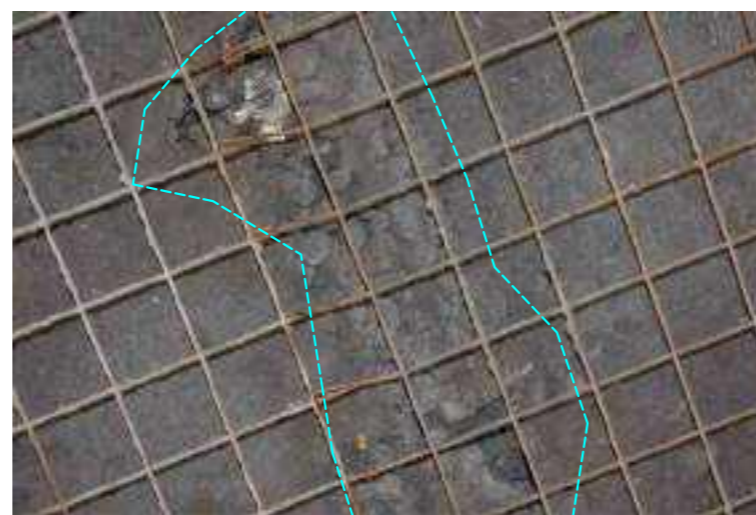


Aula V

- Legenda**
- F+V Foro + videoendoscopia
 - V Videoendoscopia
 - D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
 - A Prelievo campioni di malta

AULA V : Indagine visiva

Foto 1



Visibili vespai all'intradosso della volta in CA

Foto 2



Visibili vespai all'intradosso della volta in CA

Foto 3



Visibili vespai all'intradosso della volta in CA

Foto 4



Intradosso della volta in CA

Foto 5



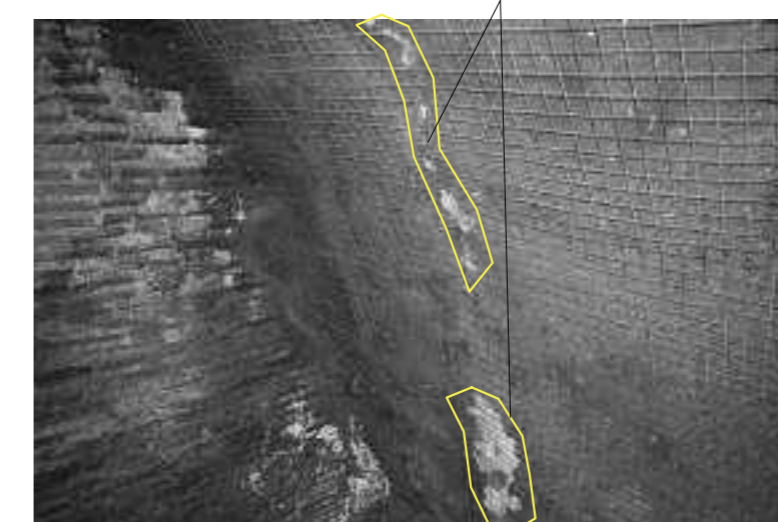
Foto 6



La malta è soggetta a distacchi. Nelle foto sopra riportate sono visibili le zone di distacco della malta, che in parte è già caduta e trattenuta dalla rete metallica di intradosso.

zona da cui deriva il distacco

Foto 7



zona da cui deriva il distacco della malta

Foto 8



zona da cui deriva il distacco della malta

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

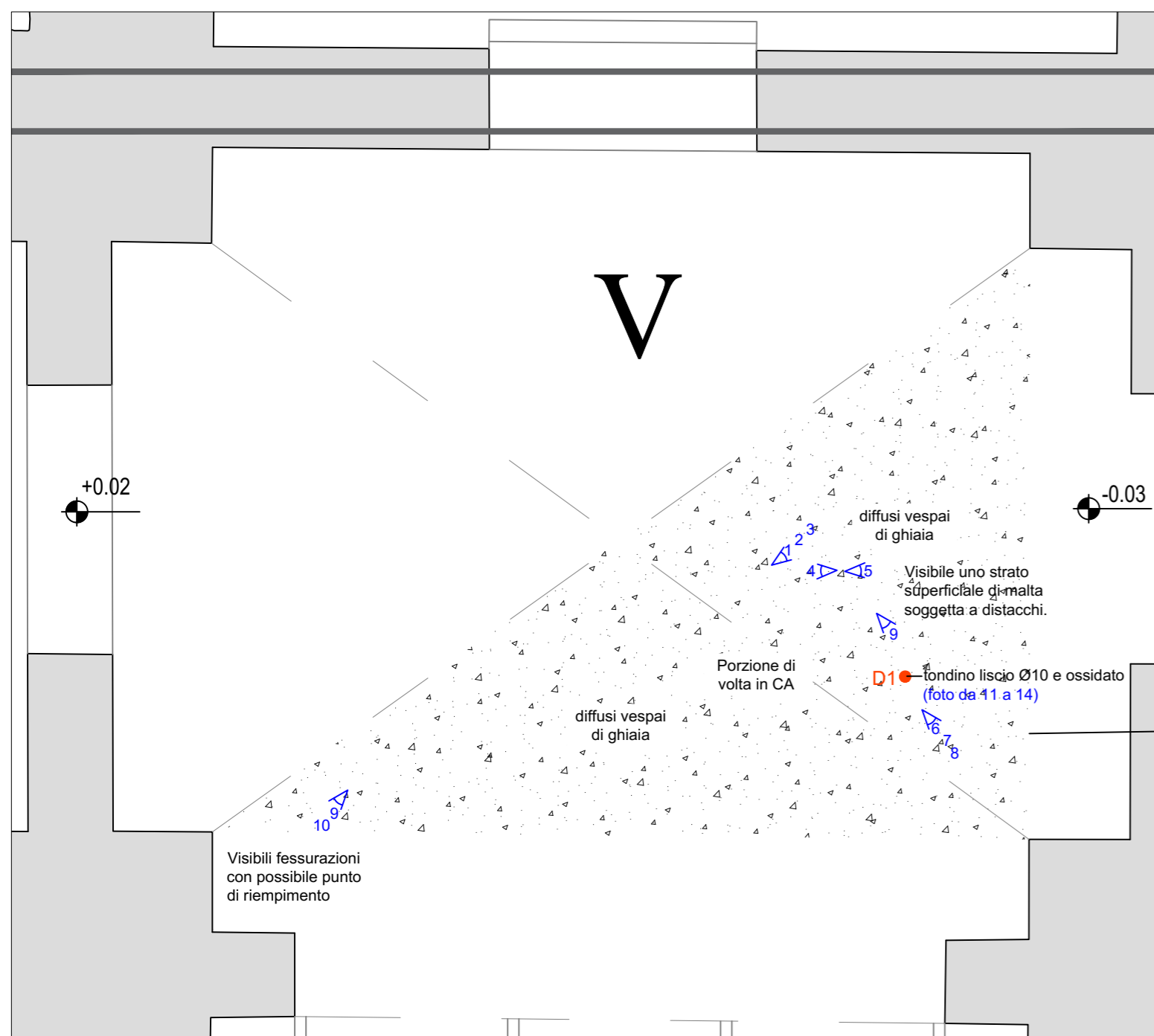
PROGETTO
Servizio di diagnostica strumentale - Campagna di indagini, prove e rilievi
CIG 9374109F73
CUP F89D21000020001

OGGETTO
Analisi delle volte - Aula V
Indagine videoendoscopica ed osservazioni visive per lo stato di conservazione

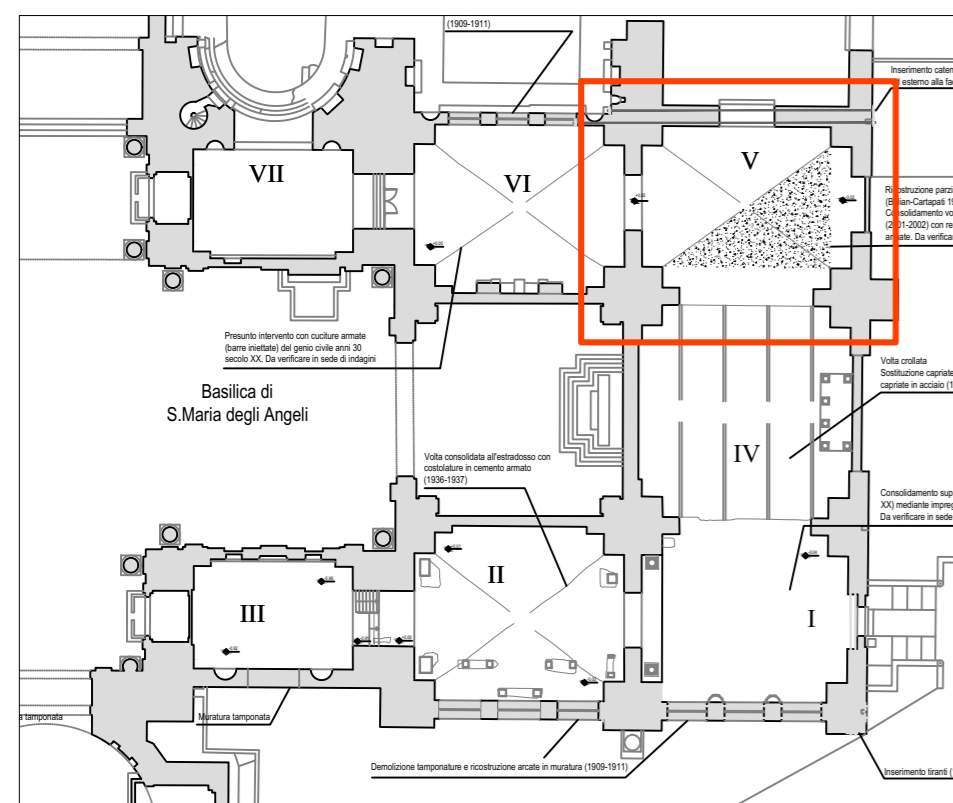
ELABORAZIONE VERIFICA APPROVAZIONE	Ing. Erika Lorenzini Arch. Annalisa Morelli Ing. Paolo Chiara	DATA CONSEGNA 5 Ottobre 2022	RIF. INTERNI CO-049_22_archi
--	---	--	--

TAVOLA
6

Analisi delle volte - Aula V



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive



Aula V

- Legenda**
- F+V Foro + videoendoscopia
 - V Videoendoscopia
 - D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
 - A Prelievo campioni di malta

AULA V : Indagine visiva

Foto 9



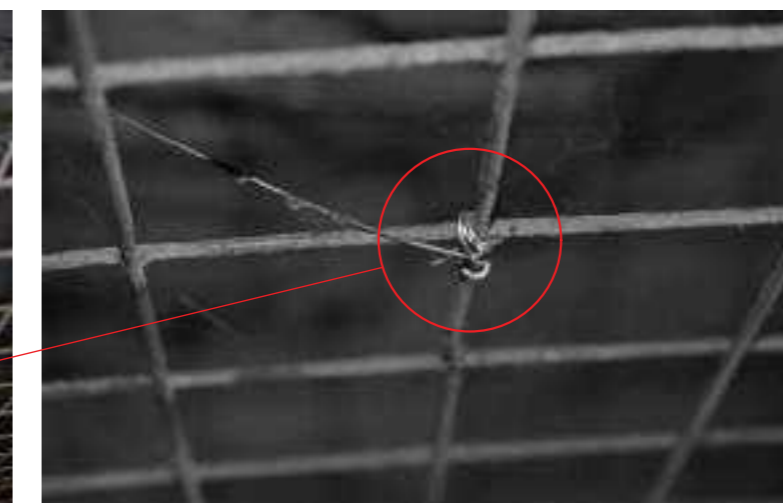
Aula IV

Foto 10



Visibili fessurazioni con possibile punto di riempimento

Dettaglio del sistema di appensione della rete metallica



AULA V : Saggio localizzato D1

Foto 11



Foto 12



Strato superficiale di malta di colore bianco associabile a calce, con spessore 0,5-1cm e facilmente soggetto a distacchi.

Tondino liscio Ø10 e ossidato. Il tondino risulta piegato nello spessore della volta.

Foto 13



(a)
Tondino liscio Ø10 e ossidato.

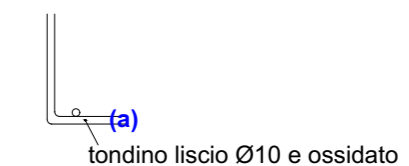
Foto 14



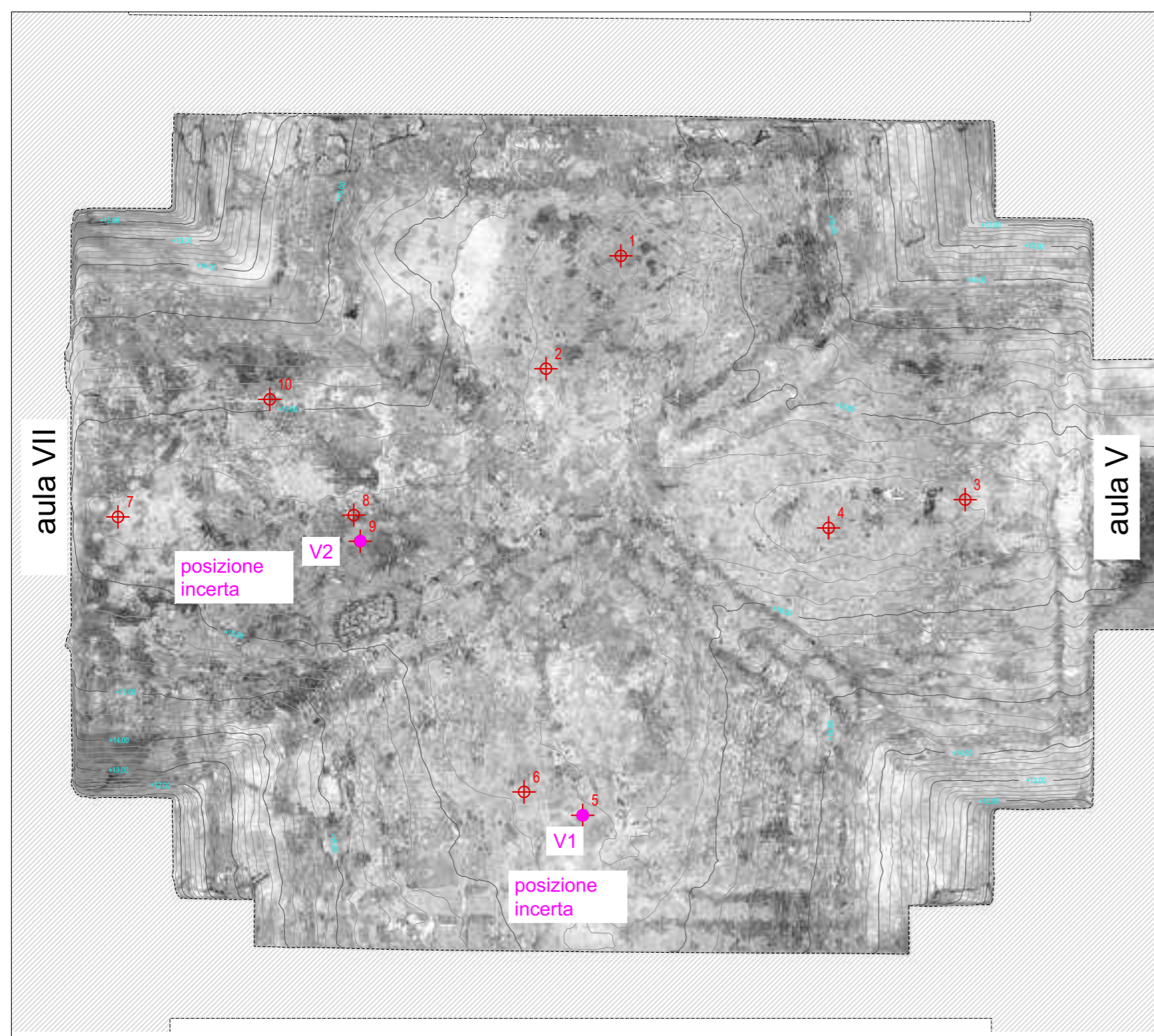
(a)
Tondino liscio Ø10 e ossidato.

Note:

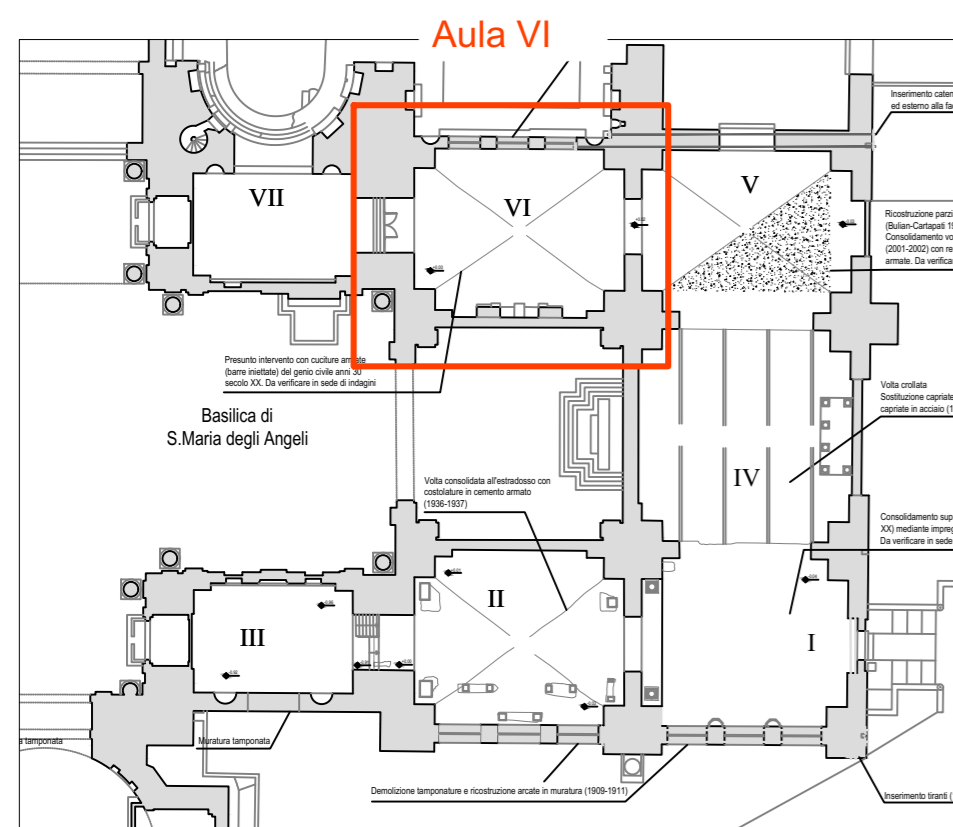
- Visibile uno strato superficiale di malta di colore bianco, con spessore 0,5-1cm e facilmente soggetto a distacchi.
- Individuato tondino liscio ossidato Ø10. Il tondino risulta piegato nello spessore della volta.



Analisi delle volte - Aula VI



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Legenda

- V Videoendoscopia
- A Prelievo campioni di malta

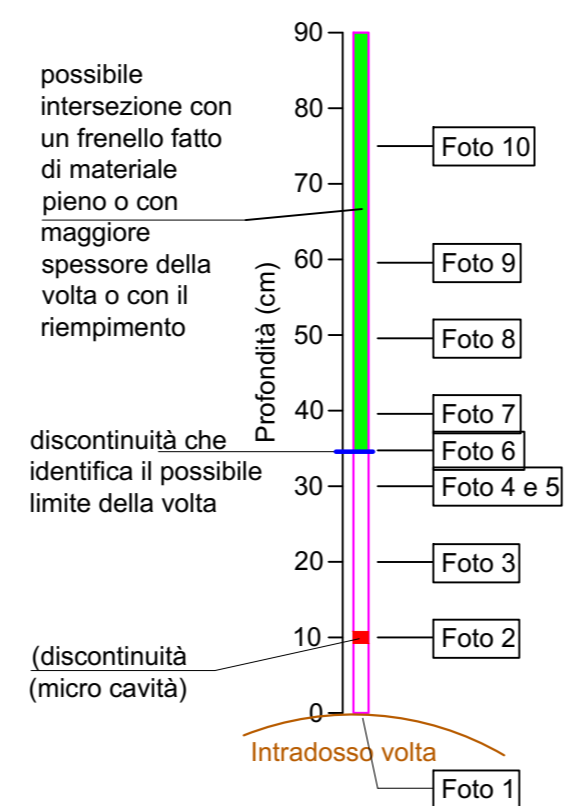
Sintesi videoendoscopia

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

N.B. n° 2 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti

AULA VI: Video endoscopia V1

Foro esistente di 88 cm di profondità.



- N.B.
- Si nota la continuità dell'alternanza dei tuffelli/laterizio e malta.
 - Dall'alternanza di tuffelli/laterizi e dalla colorazione della malta si può pensare che il materiale attraversato sia tutto della volta originale. Il materiale intercettato dai fori esistenti non è associabile alla contro volta in CA citata nei documenti allegati al piano delle indagini.



foro esistente in cui è stata eseguita la videoendoscopia V1



Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro

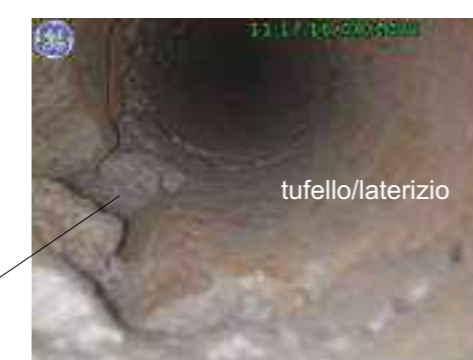


Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro



Foto 1 scattata fuori dal foro



Foto 7 scattata a 40 cm da inizio foro



Foto 6 scattata a 35 cm da inizio foro



Foto 10 scattata a 75 cm da inizio foro



Foto di dettaglio 5 scattata a 30 cm da inizio foro



Foto 9 scattata a 60 cm da inizio foro

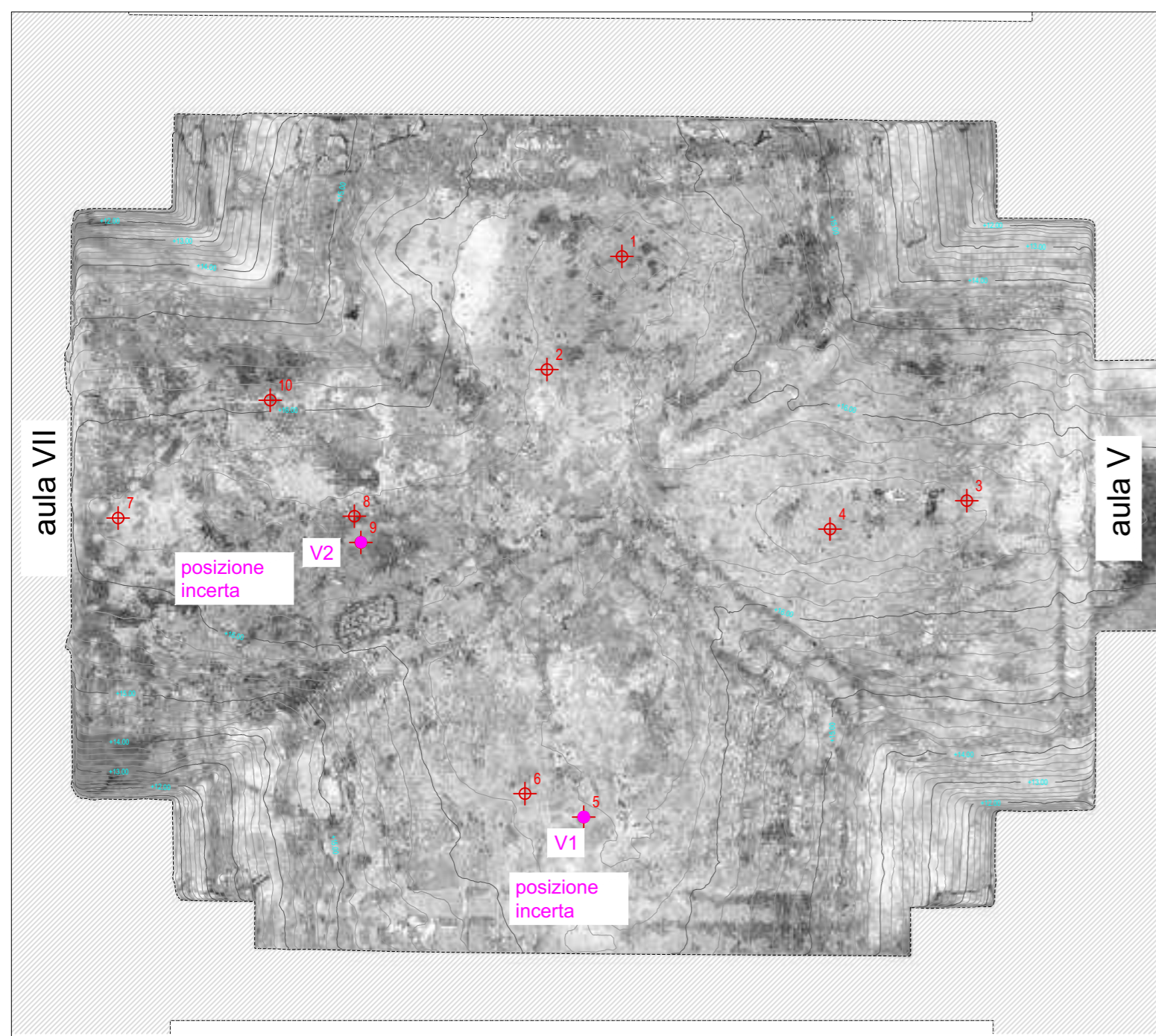


Foto 4 scattata a 30 cm da inizio foro

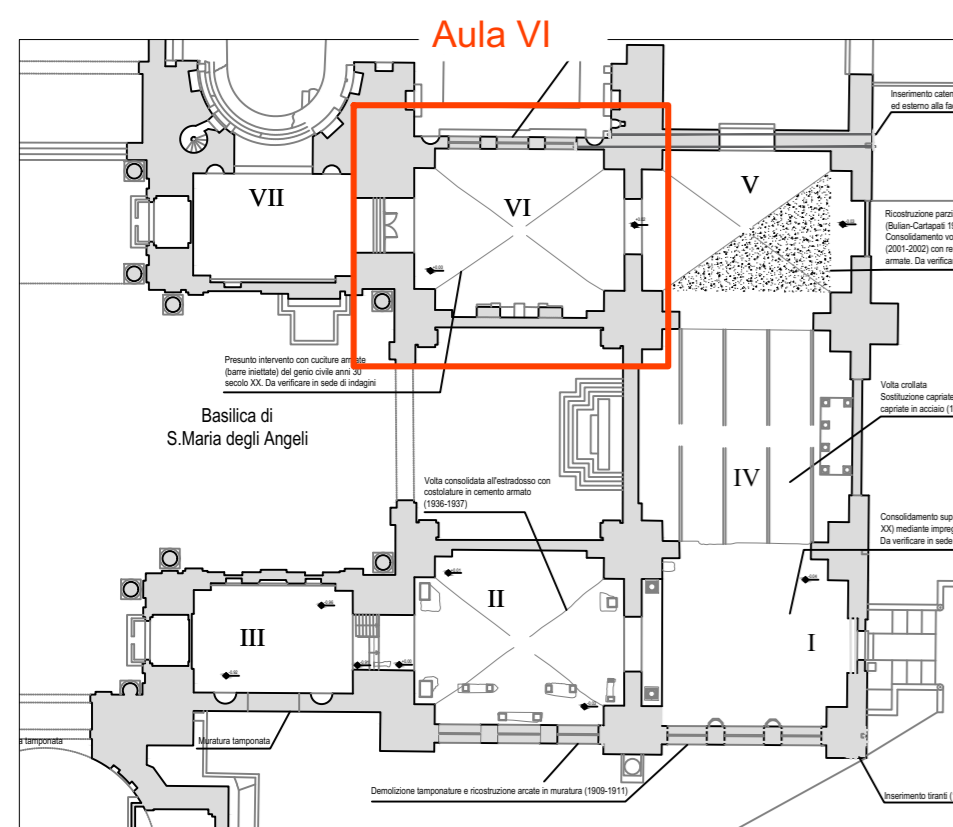


Foto 8 scattata a 50 cm da inizio foro

Analisi delle volte - Aula VI



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Legenda

- V Videoendoscopia
- A Prelievo campioni di malta

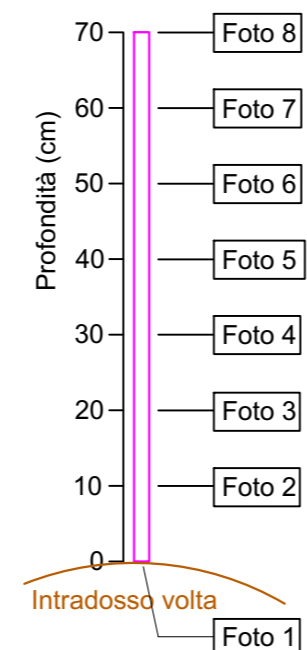
Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello/ maggiore spessore della volta/ riempimento
- discontinuità che identifica il possibile limite della volta

N.B. n° 2 videoendoscopie sono state eseguite in fori esistenti

AULA VI: Video endoscopia V2

Foro esistente di 70 cm di profondità.



- N.B.
- Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.
 - Non si rilevano zone di discontinuità (microcavità).
 - Non si rilevano zone di discontinuità che identificano il possibile limite della volta.
 - Dall'alternanza di tufelli/laterizi e dalla colorazione della malta si può pensare che il materiale attraversato sia tutto della volta originale. Il materiale intercettato dai fori esistenti non è associabile alla contro volta in CA citata nei documenti allegati al piano delle indagini.



foro esistente in cui è stata eseguita la videoendoscopia V2

Foto 1 scattata fuori dal foro

Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro

Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro

Foto 4 scattata a 30 cm da inizio foro

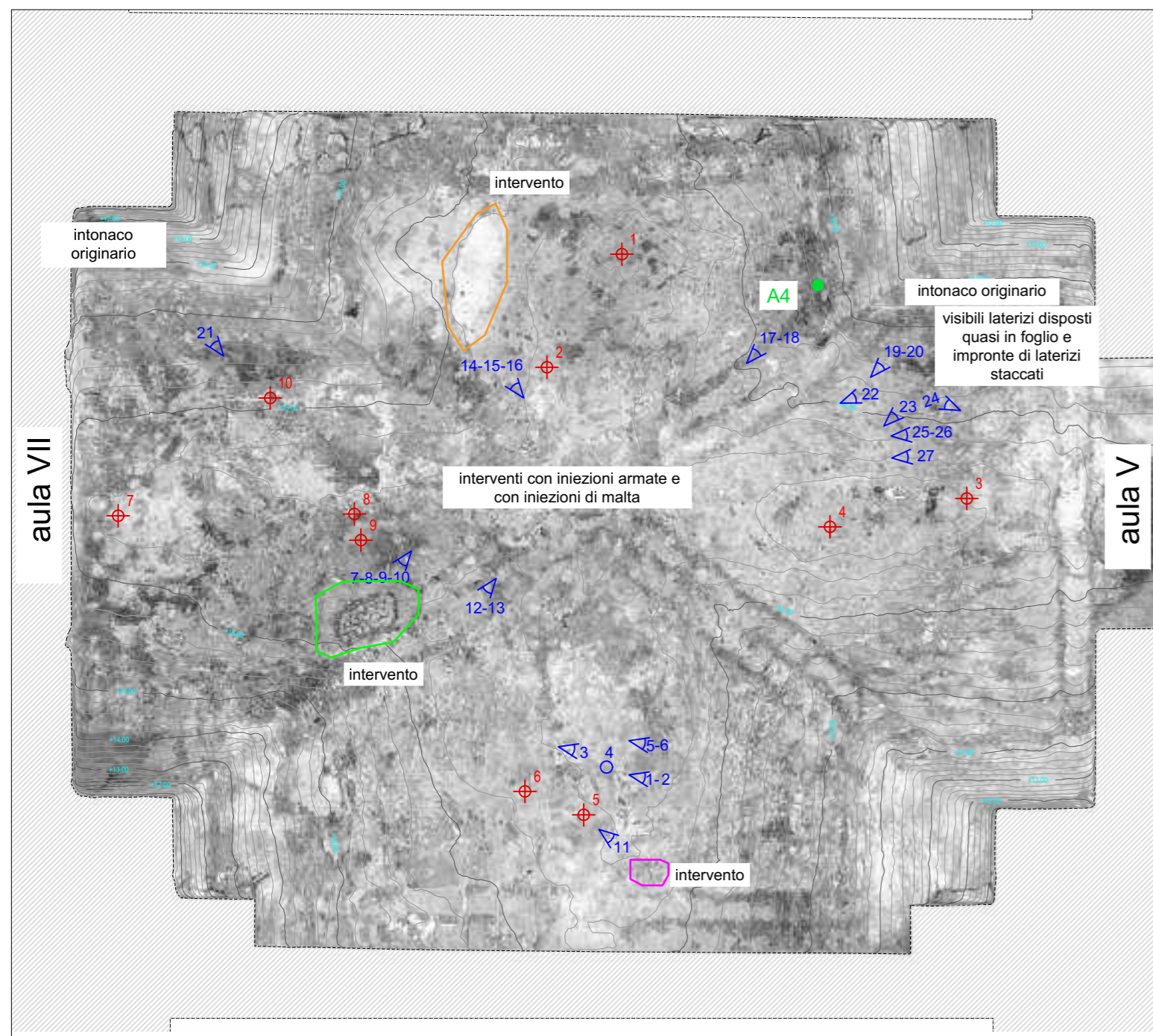
Foto 5 scattata a 40 cm da inizio foro

Foto 6 scattata a 50 cm da inizio foro

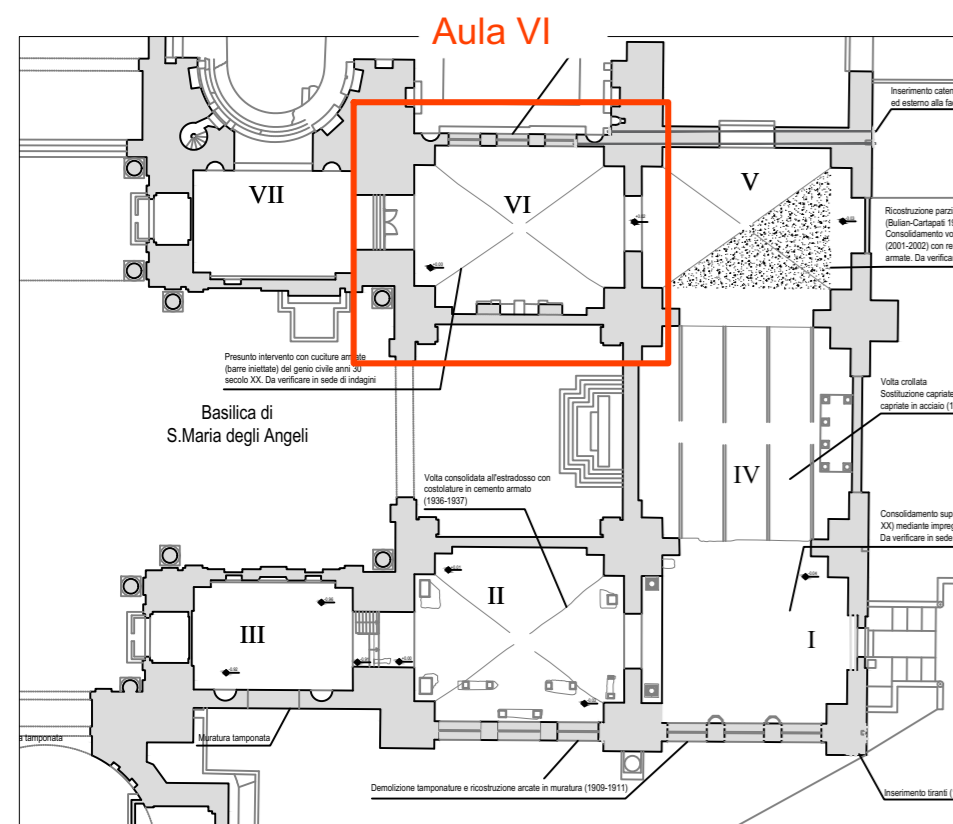
Foto 7 scattata a 60 cm da inizio foro

Foto 8 scattata a 70 cm da inizio foro (fine foro)

Analisi delle volte - Aula VI



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive



- Legenda**
- V Videoendoscopia
 - A Prelievo campioni di malta

AULA VI : Indagine visiva

> Intervento con iniezioni armate

Foto 1



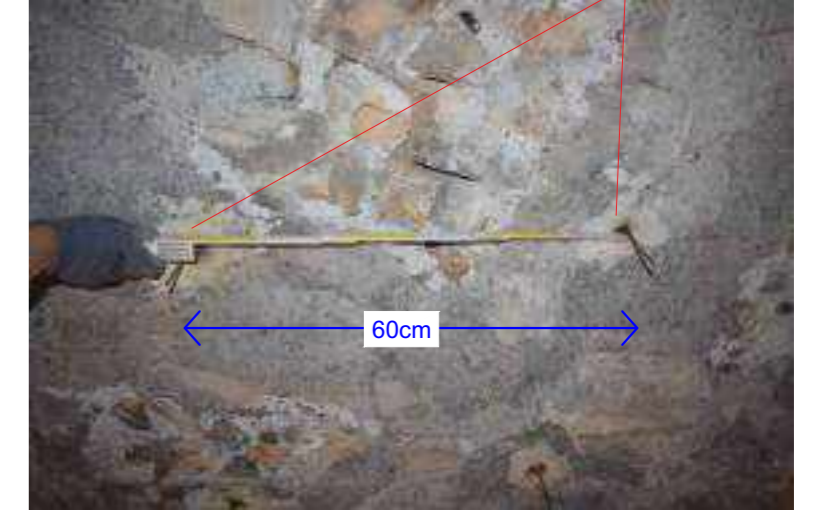
Iniezioni armate con tondini Ø10 disposti con interasse di 60x60cm.

Foto 2



malta di sigillatura del foro con processo di degrado dovuto all'ossidazione del ferro

Foto 3



Iniezione armata con tondino. Diametro tondino 10mm circa

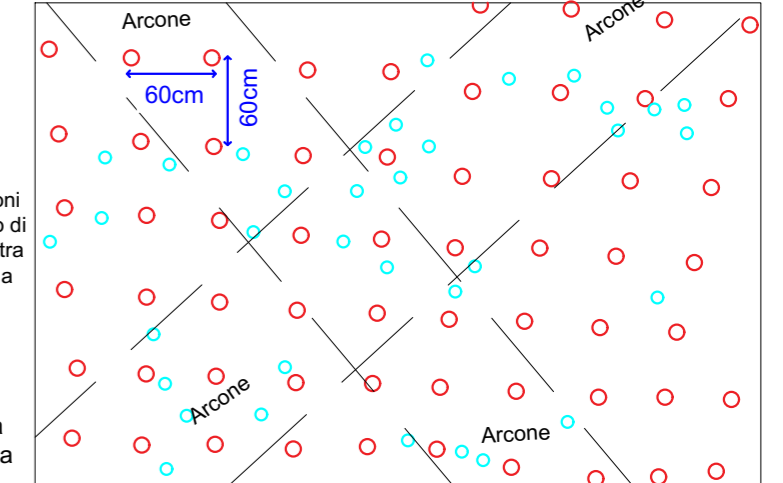
Foto 4



Dettaglio in corrispondenza del centro della volta

L'interasse delle iniezioni di malta è stato rilevato di 30cm, ma come dimostra lo schema ricavato dalla foto non è distribuito in modo omogeneo.

- Iniezione armata
- Iniezione di malta



AULA VI : Indagine visiva

> Intervento con iniezioni di malta

Foto 5

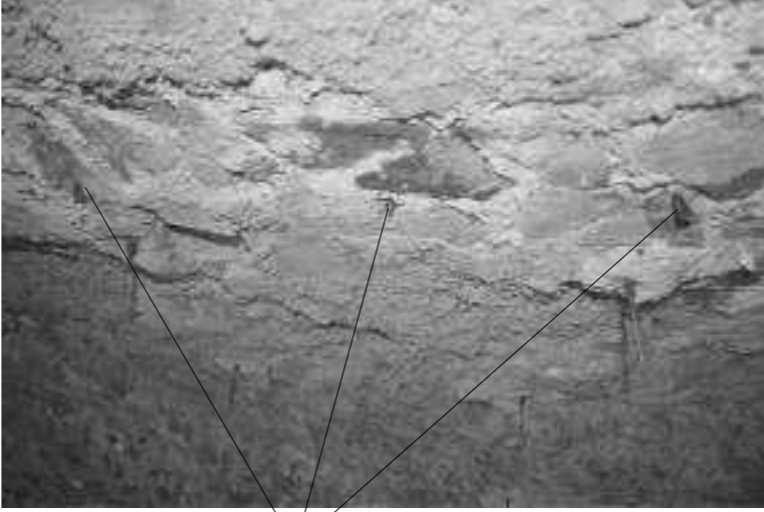


Foto 6



Dettaglio della cannula per l'iniezione di malta



Foto di dettaglio in corrispondenza del centro della volta

AULA VI : Indagine visiva

Foto 7



Foto 8



Intervento localizzato di rifacimento con tufelli e calcestruzzo moderno.

Foto 9



calcestruzzo moderno dati gli inerti diversi da quelli dell'opus caementicium

Tufelli/laterizio

Foto 10



tondino scoperto e ossidato all'interno di uno strato di calcestruzzo moderno

Visibile un tondino vicino all'area con tufelli.



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

Analisi delle volte - Aula VI
Indagine videoendoscopica ed osservazioni visive per lo stato di conservazione

ELABORAZIONE Ing. Erika Lorenzini
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

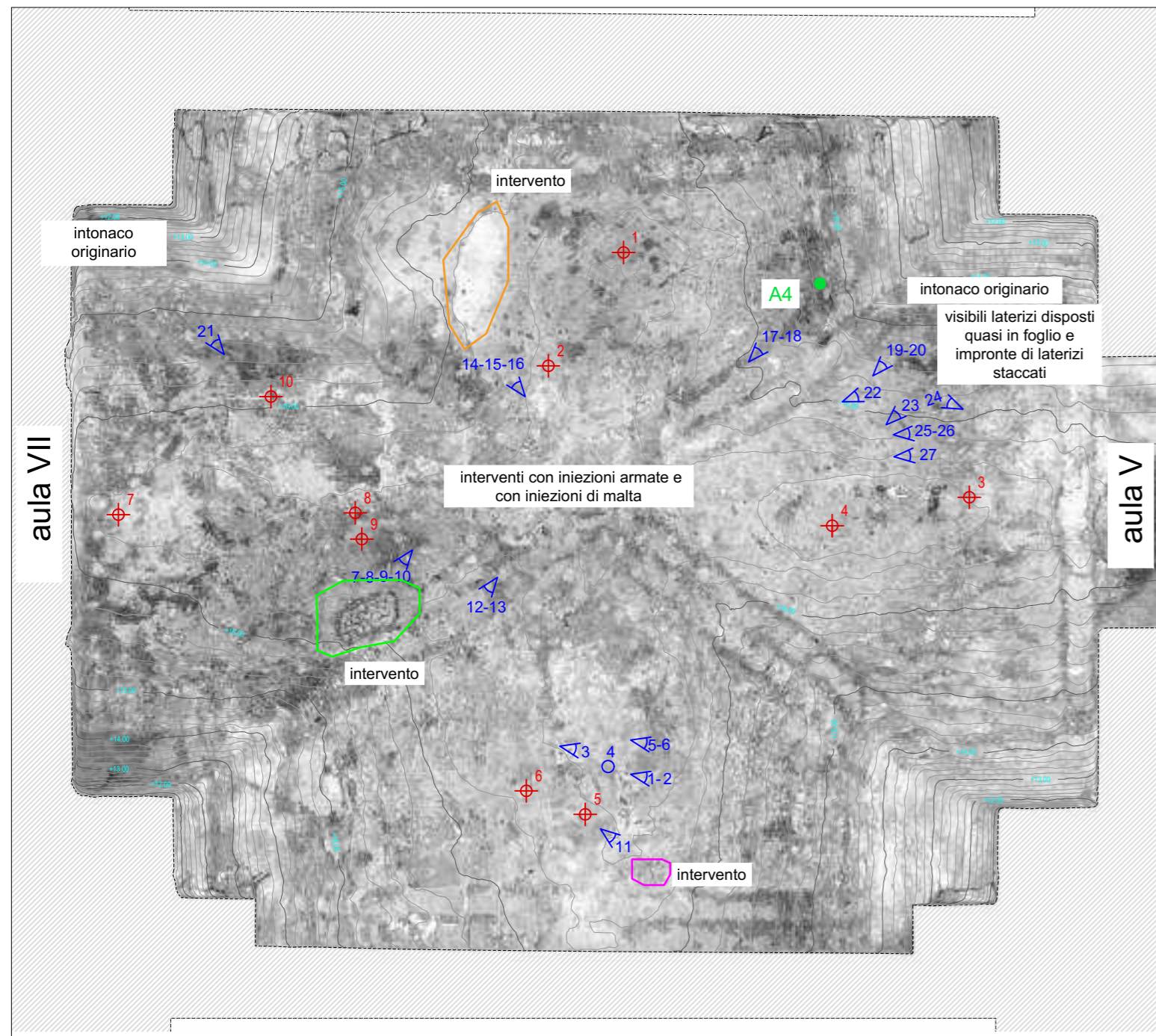
DATA CONSEGNA
5 Ottobre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

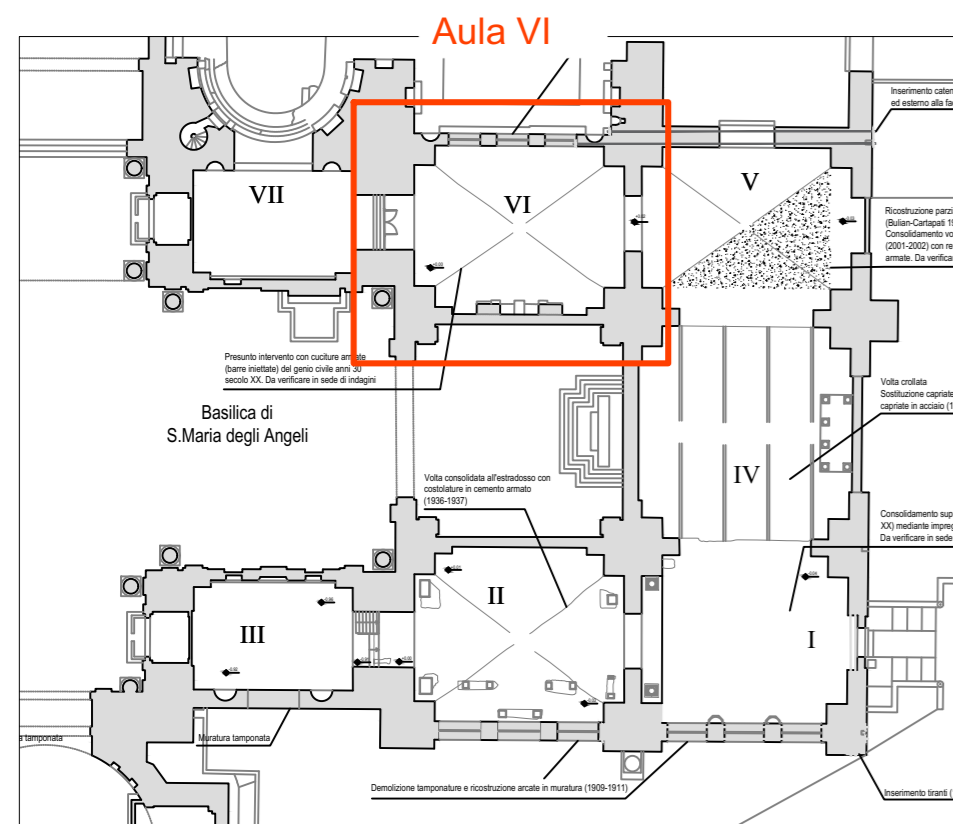
TAVOLA

10

Analisi delle volte - Aula VI



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive



- Legenda**
- V Videoscopica
 - A Prelievo campioni di malta

AULA VI : Indagine visiva

Foto 11



Visibile intervento con pezzi di mattoni/tuffelli

Foto 12



Dettaglio del costolone originario

Foto 13



Foto 14



Zona diversa dal tipico aspetto dell'intradosso della volta identificabile come possibile intervento localizzato di ripresa della muratura.

Foto 15



Foto 16

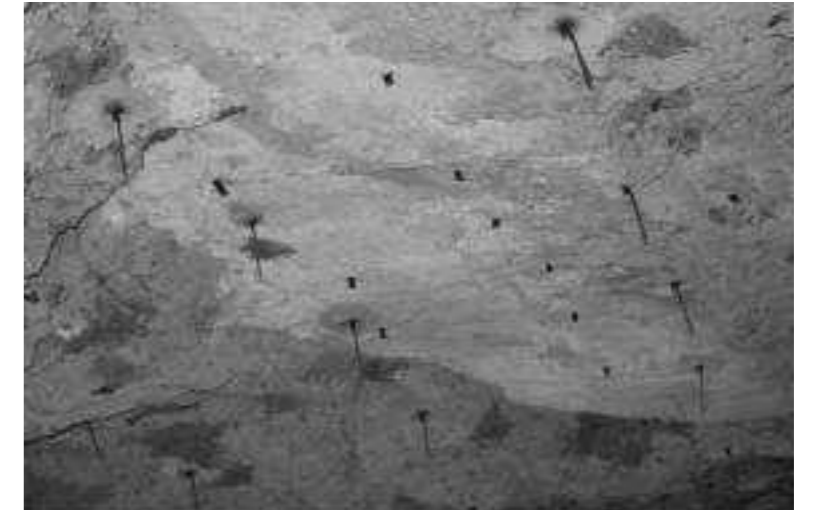


Foto 17



Campione prelevato A4 in corrispondenza di una zona non fissa, facilmente rimovibile, quindi a rischio caduta.

Foto 18



Data l'assenza di uno strato di malta di intradosso (tipo l'intonaco proiettato presente nell'aula I) sono presenti molti punti soggetti a distacco come quello del campione A4.



Campione prelevato A4

Foto 19

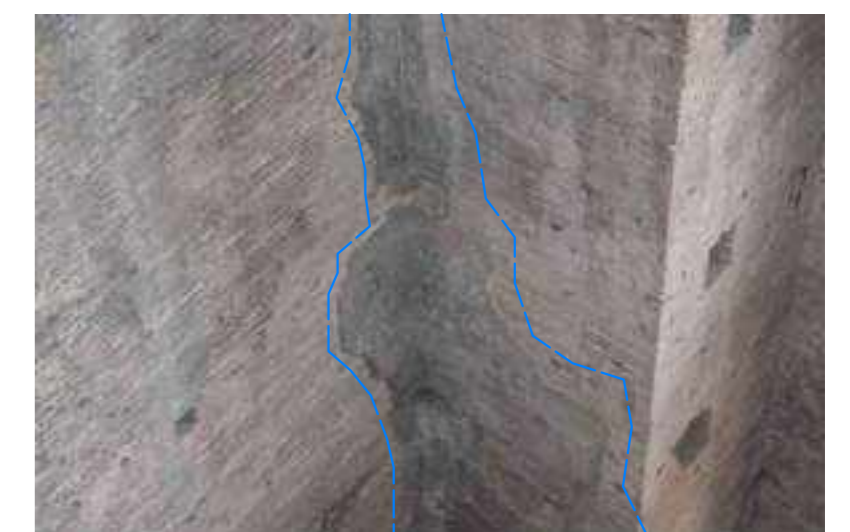


Foto 20

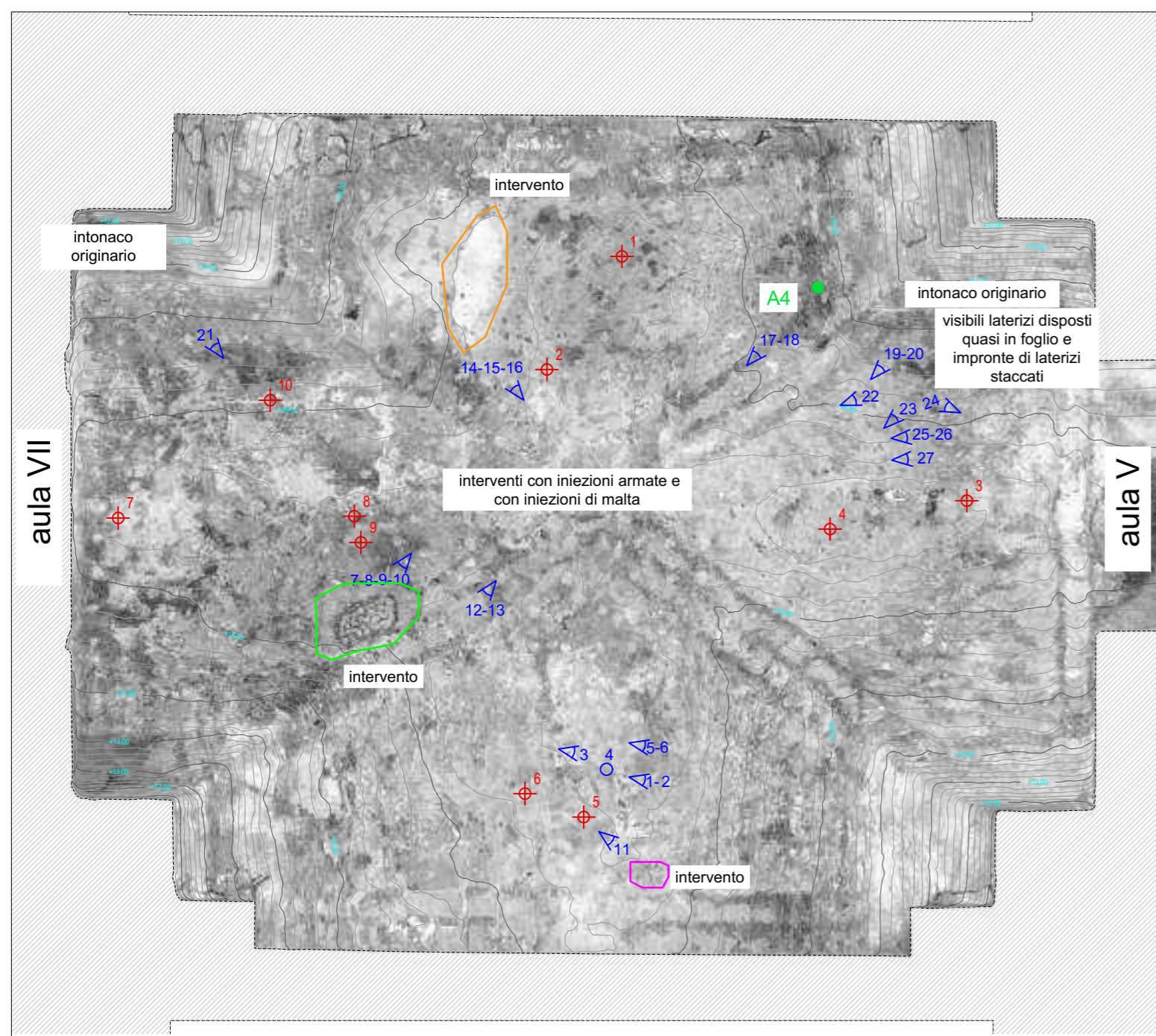


Dettaglio del possibile intonaco originale

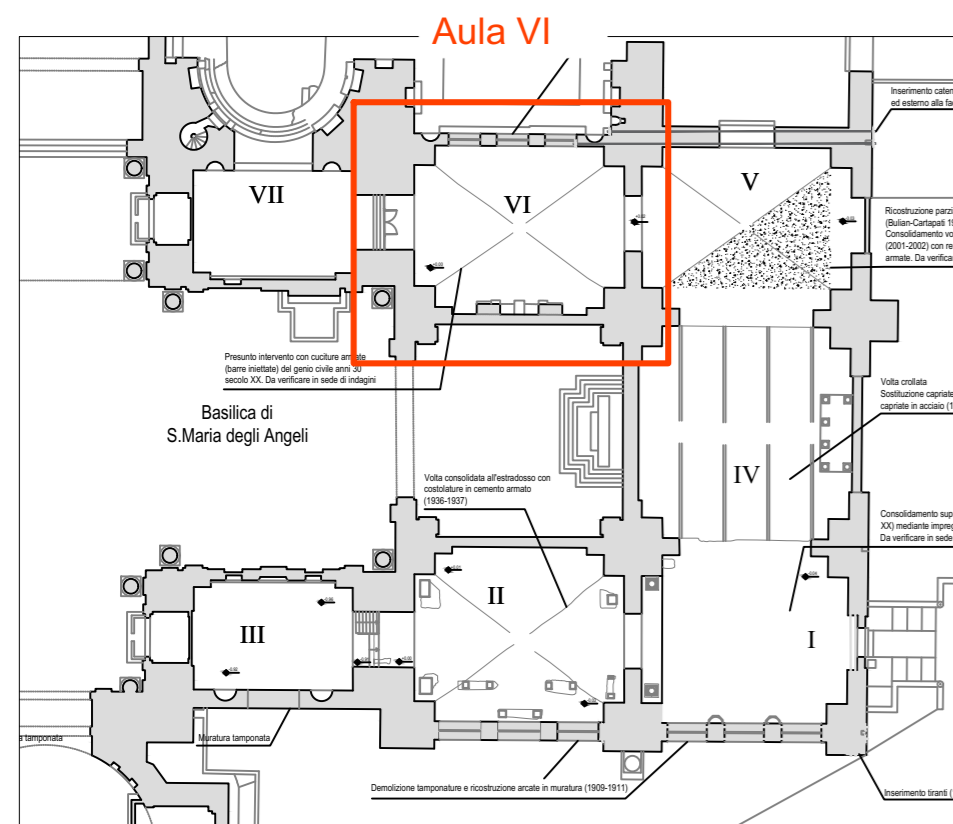
Foto 21



Analisi delle volte - Aula VI



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive



- Legenda**
- V Videoendoscopia
 - A Prelievo campioni di malta

AULA VI : Indagine visiva

Foto 22



Visibili laterizi sull'intradosso della volta disposti quasi in foglio (freccia verde) e impronte di laterizi staccati (freccia rosa)

Foto 23



Foto 24



Foto 25

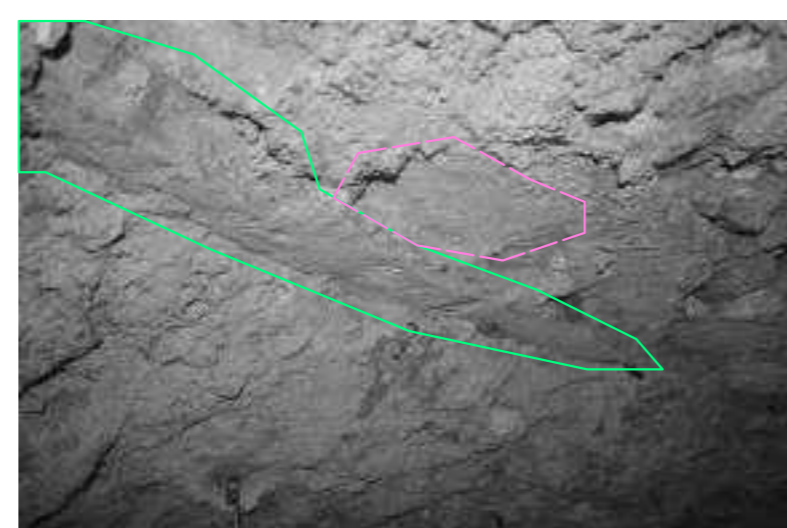


Foto 26



Foto 27

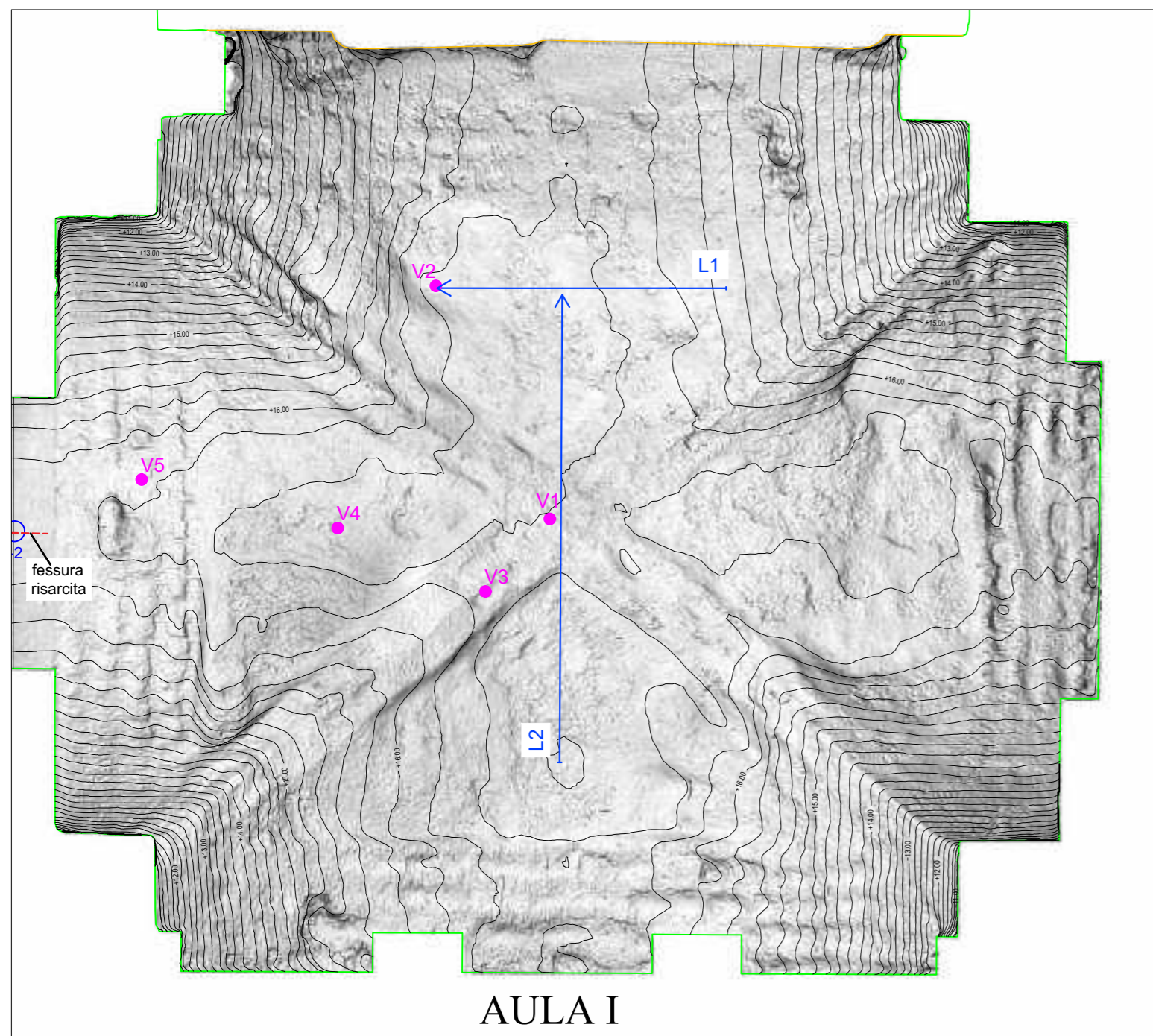


Visibili laterizi sull'intradosso della volta disposti quasi in foglio (verde) e impronte di laterizi staccati (rosa)

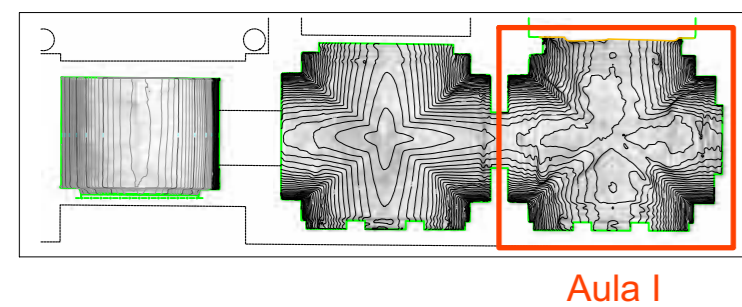
Note:

- Verificata la presenza di iniezioni armate con interasse 60x60cm e tendino di armatura Ø10.
- Verificata la presenza di iniezioni di malta. L'interasse delle iniezioni di malta è stato rilevato di 30cm, ma come dimostra lo schema ricavato dalla foto non è distribuito in modo omogeneo.
- Visibili interventi localizzati (ad esempio la zona con tufelli/laterizi inseriti all'interno di calcestruzzo moderno).
- Prelevato campione A4 in corrispondenza di una zona non fissa, facilmente rimuovibile, quindi a rischio caduta.
- Data l'assenza di uno strato di malta di intradosso (tipo l'intonaco proiettato presente nell'aula I) sono presenti molti punti soggetti a distacco come quello del campione A4.
- Evidenza di lacerti di intonaco originale.
- Visibili laterizi sull'intradosso della volta disposti quasi in foglio e impronte di laterizi staccati. Tale dettaglio può far supporre che siano presenti molti punti soggetti a distacco.

Analisi delle volte - Aula I

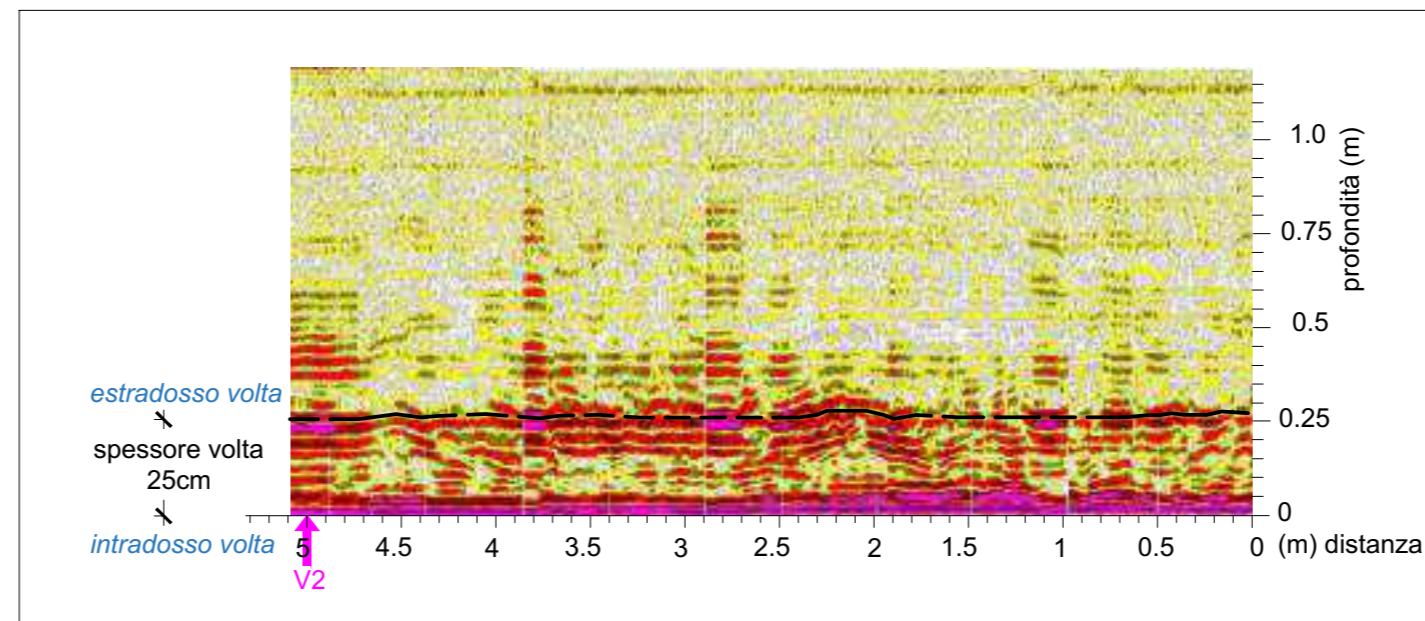
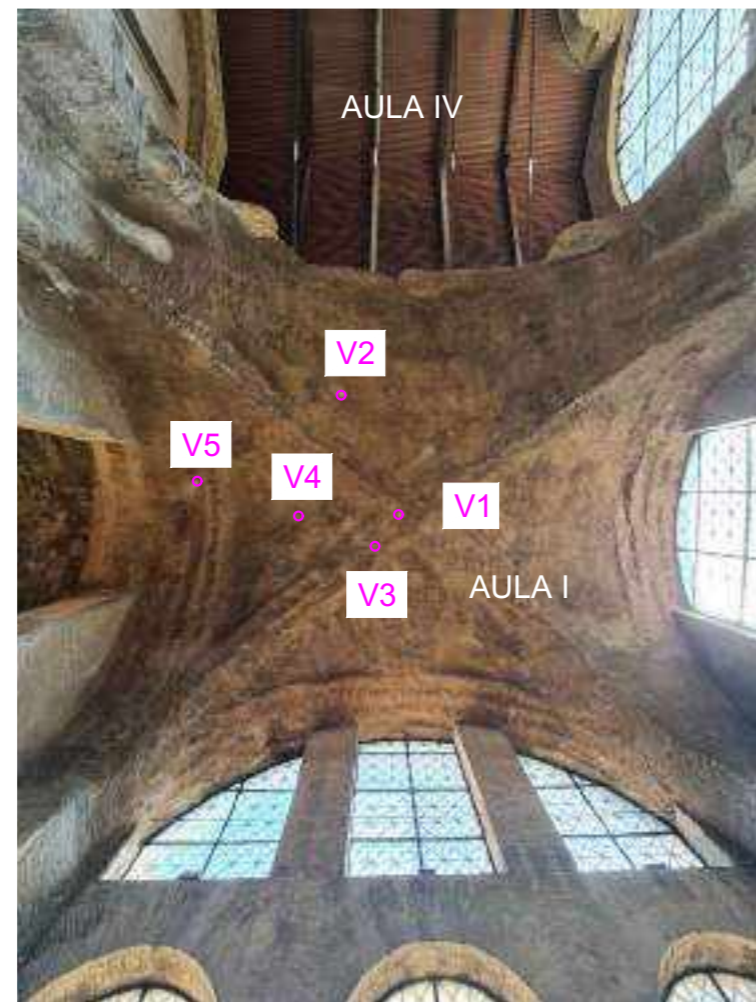


AULA I
Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula I

Legenda	
	Sezione georadar
	Videoendoscopia
Sezioni GPR	
	Estradosso volta
Sintesi videoendoscopie	
	discontinuità (micro cavità)
	frenello
	limite volta

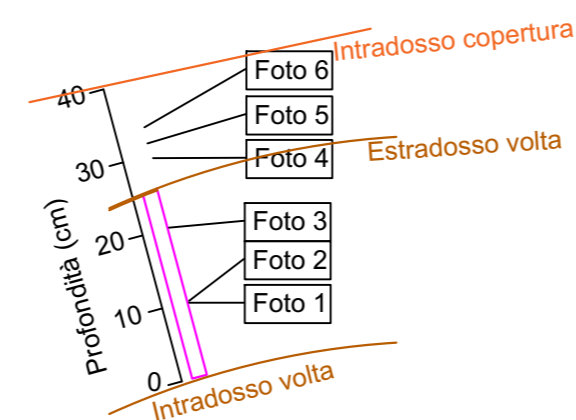


Sezione Georadar L1

N.B.1 Gli assi delle sezioni georadar, distanza e profondità, non sono in rapporto 1:1 .

N.B.2 I fori in cui sono state effettuate le videoendoscopie sono stati trovati già realizzati.

AULA I : Video endoscopia V2
Foro esistente di 40 cm di profondità, di cui 25cm di spessore di volta e 15cm di intercapedine. Foro ubicato nell'unghia della volta a crociera. Foro ortogonale all'intradosso.



N.B. Dall'osservazione delle pareti del foro si nota la costante alternanza dei tufelli/laterizio e malta senza discontinuità (intese come zone di micro cavità).



Foto 3 scattata a 20 cm da inizio foro



Foto 2 scattata a 10 cm da inizio foro



Foto 1 scattata a 10 cm da inizio foro

fine foro coincidente con l'estradosso della volta
Spessore della volta di 25 cm

tufello/ laterizio

Spessore della volta di 25cm. Visibile alternanza cromatica dei materiali, giallognola e grigiastra, corrispondente ai tufelli/laterizio e alla malta. Assenza di zone di discontinuità importanti nello spessore della volta.

pareti foro compatte

Foto 4-5-6 scattate nell'intercapedine tra volta e copertura



frenello

tavelloni



tavelloni

frenello

estradosso volta

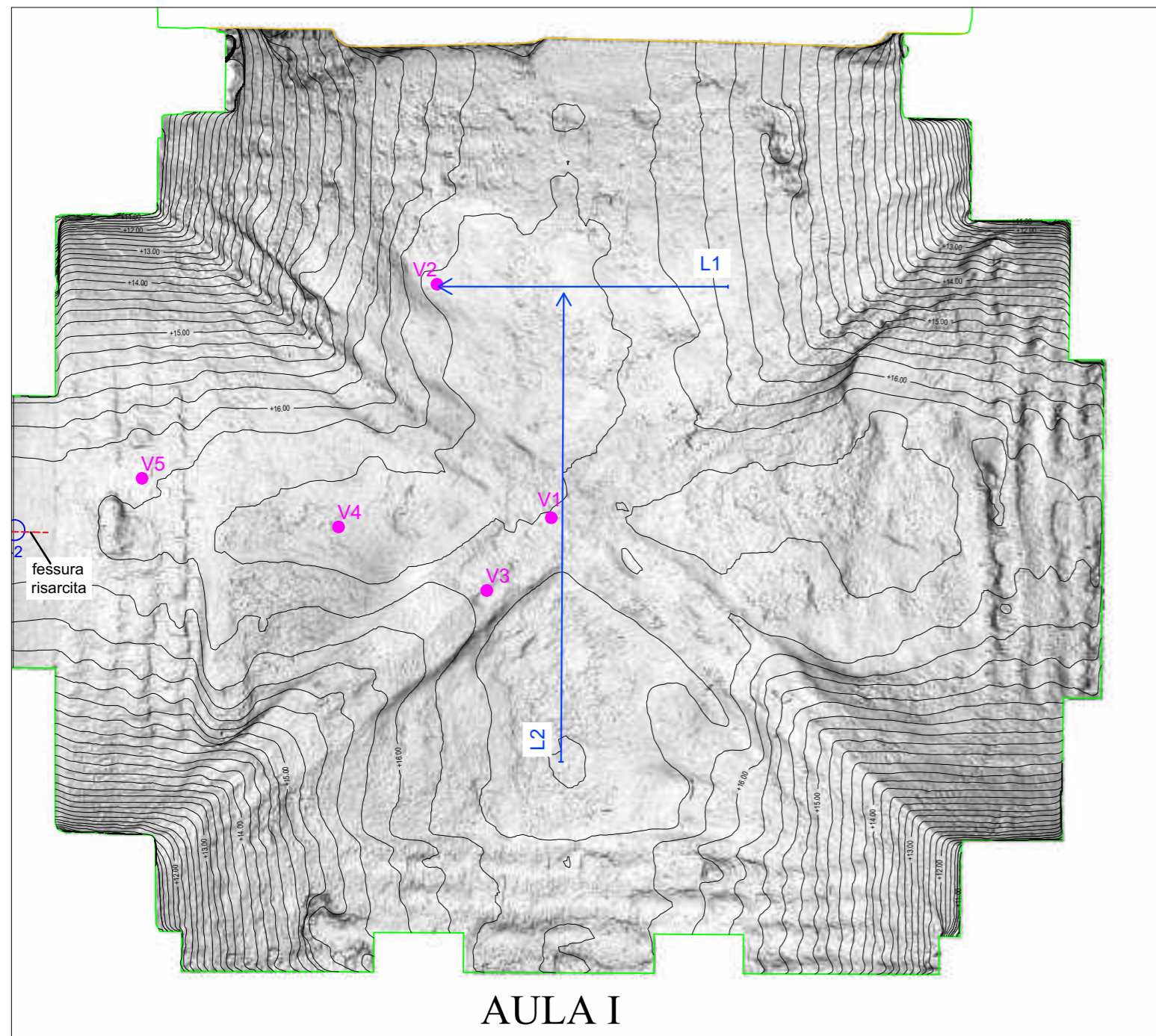
Intercapedine tra la copertura e la volta. Visibili i frenelli e l'intradosso della copertura realizzata con tavelloni.



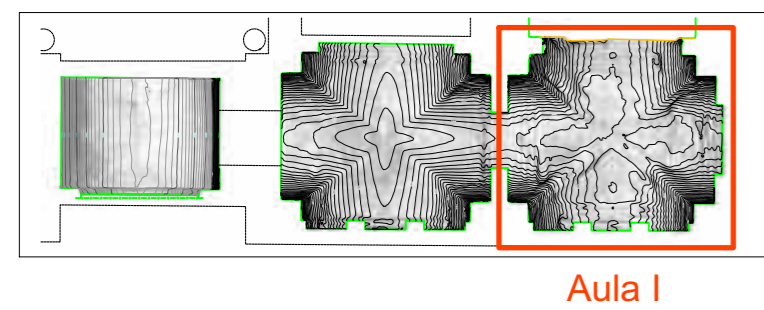
tavelloni

estradosso volta

Analisi delle volte - Aula I

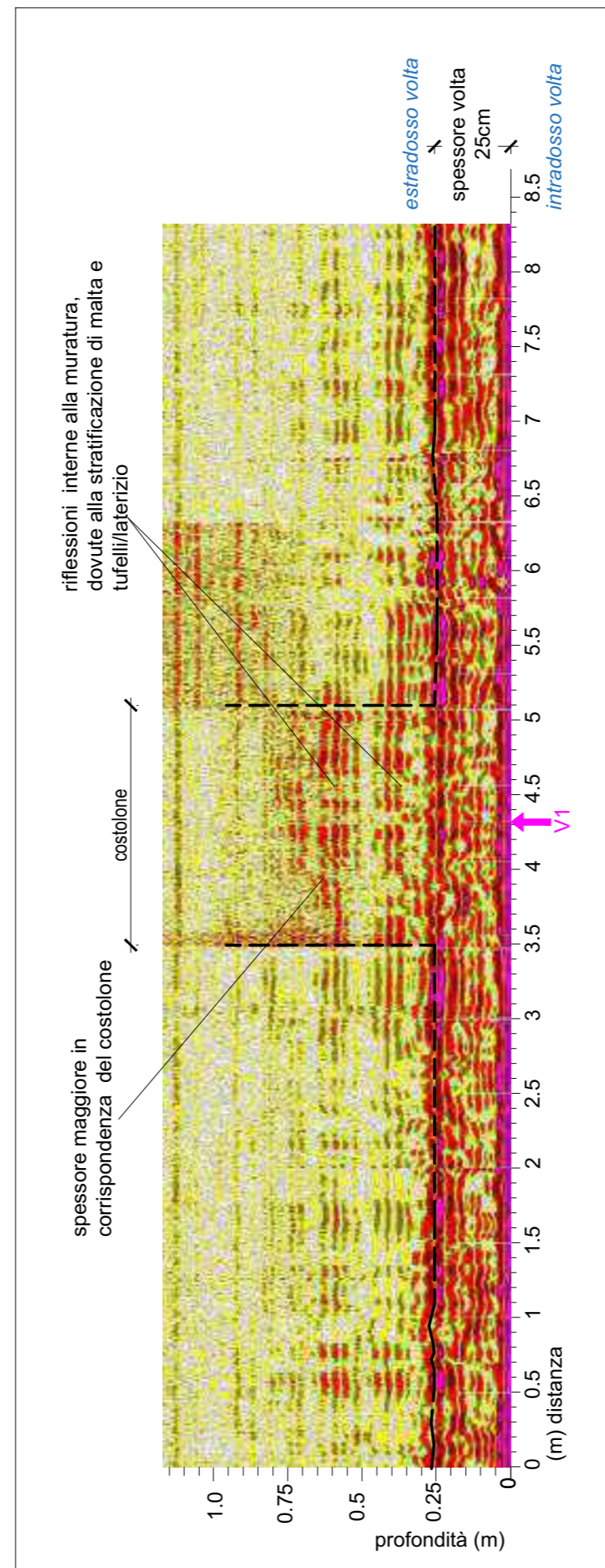
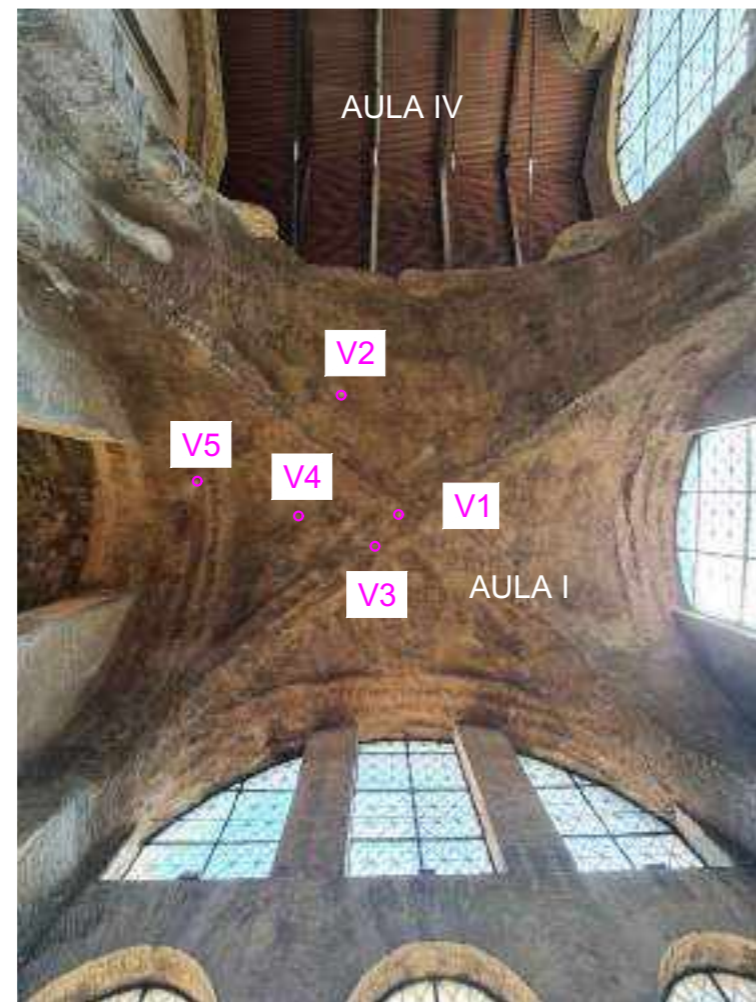


AULA I
Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula I

Legenda	
	Sezione georadar
	Videoendoscopia
Sezioni GPR	
	Estradosso volta
Sintesi videoendoscopia	
	discontinuità (micro cavità)
	frenello
	limite volta

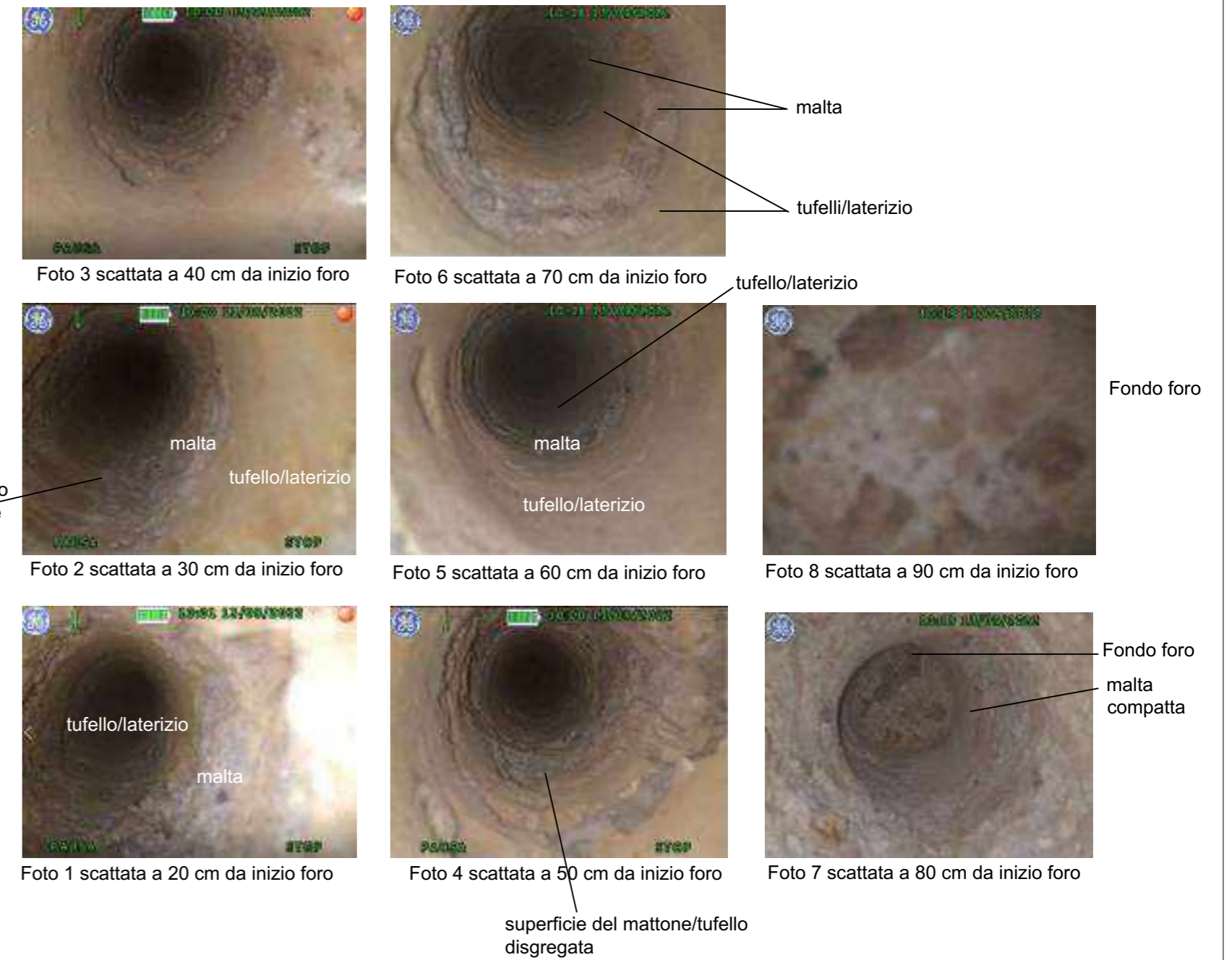
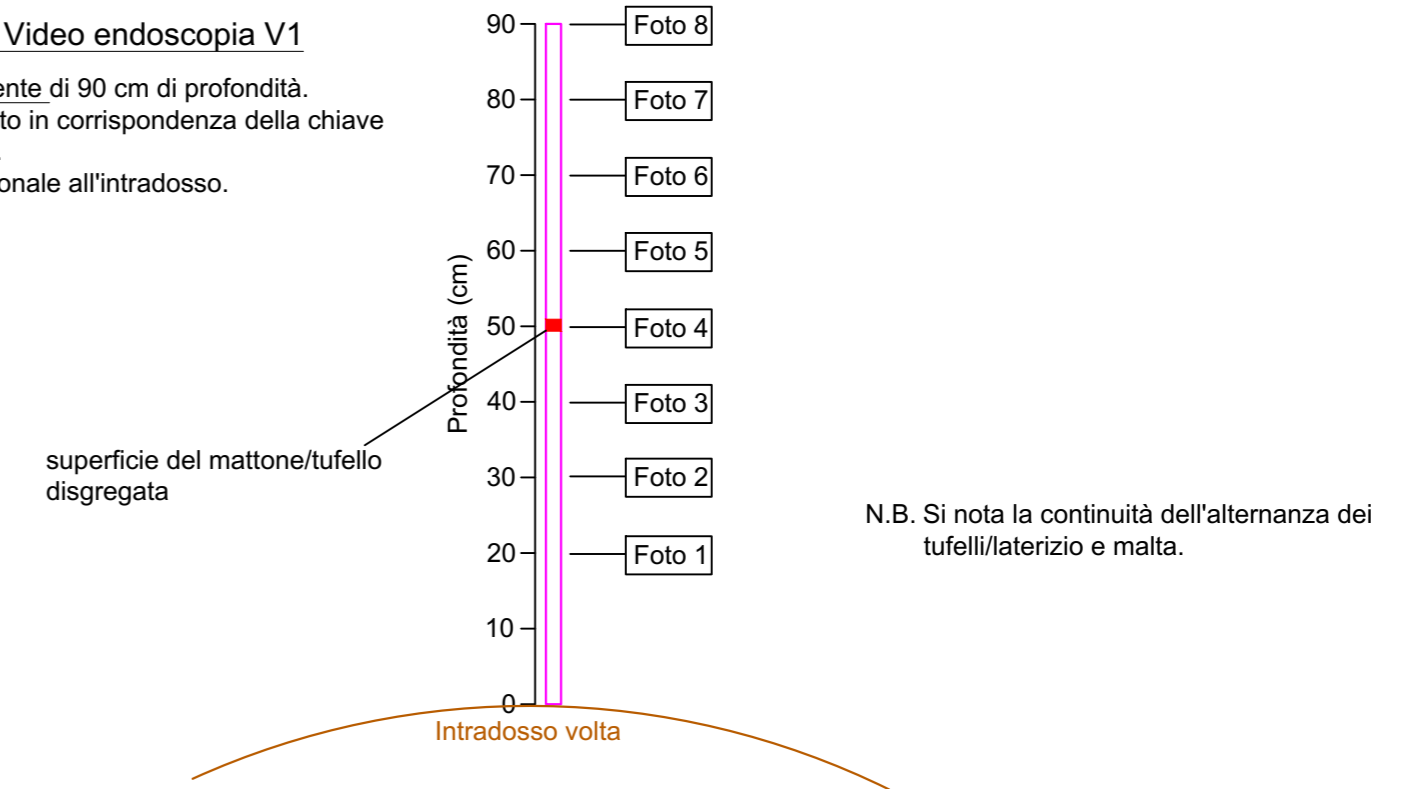


Sezione Georadar L2

N.B.1 Gli assi delle sezioni georadar, distanza e profondità, non sono in rapporto 1:1.

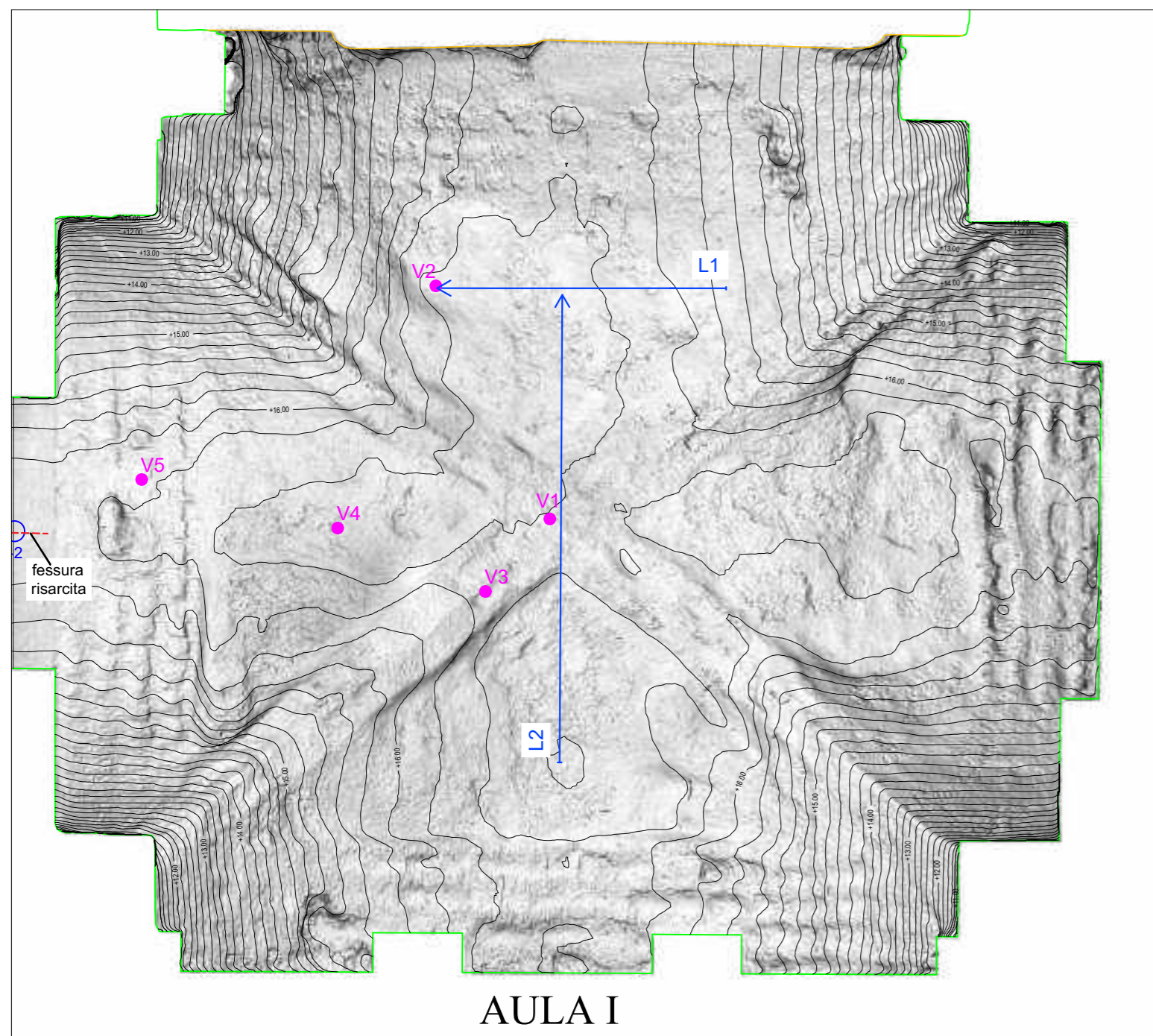
AULA I : Video endoscopia V1

Foro esistente di 90 cm di profondità.
Foro ubicato in corrispondenza della chiave della volta.
Foro ortogonale all'intradosso.

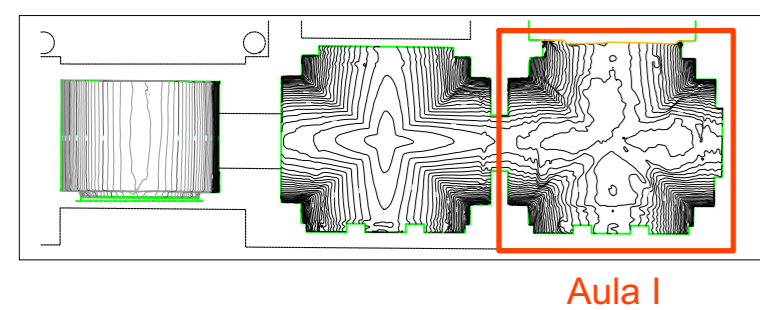


N.B.2 I fori in cui sono state effettuate le videoendoscopie sono stati trovati già realizzati.

Analisi delle volte - Aula I

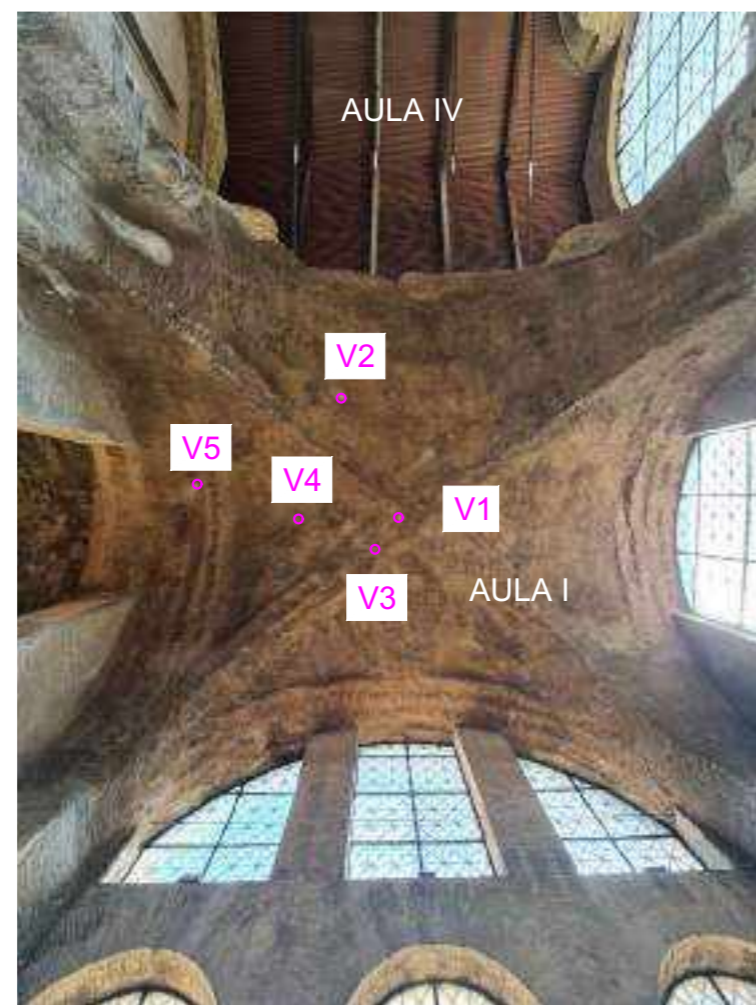


AULA I
Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



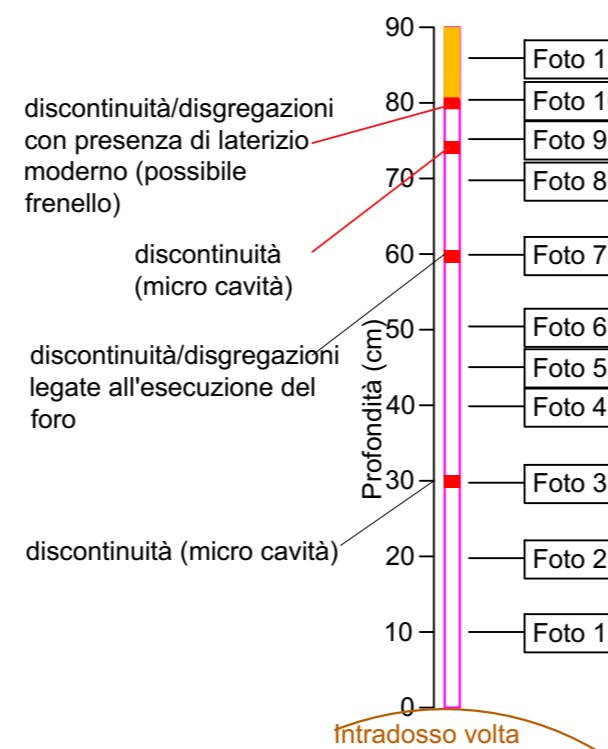
Aula I

Legenda	
	Sezione georadar
	Videoendoscopia
Sezioni GPR	
	Estradosso volta
Sintesi videoendoscopie	
	discontinuità (micro cavità)
	frenello
	limite volta



AULA I : Video endoscopia V3

Foro esistente di 90 cm di profondità.
Foro ubicato in corrispondenza di un costolone.
Foro ortogonale all'intradosso.



- N.B.
- Si nota la continuità dell'alternanza dei tuffelli/laterizio e malta.
 - Evidenza a 80 cm di un laterizio forato che identifica il possibile frenello sul costolone.



Foto 4 scattata a 40 cm da inizio foro



Foto 3 scattata a 30 cm da inizio foro



Foto 2 scattata a 20 cm da inizio foro



Foto 1 scattata a 10 cm da inizio foro



Foto 8 scattata a 70 cm da inizio foro



Foto 7 scattata a 60 cm da inizio foro



Foto 6 scattata a 50 cm da inizio foro



Foto 5 scattata a 45 cm da inizio foro



Foto 11 scattata a 85 cm da inizio foro

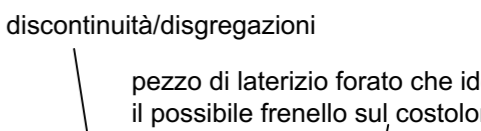


Foto 10 scattata a 80 cm da inizio foro

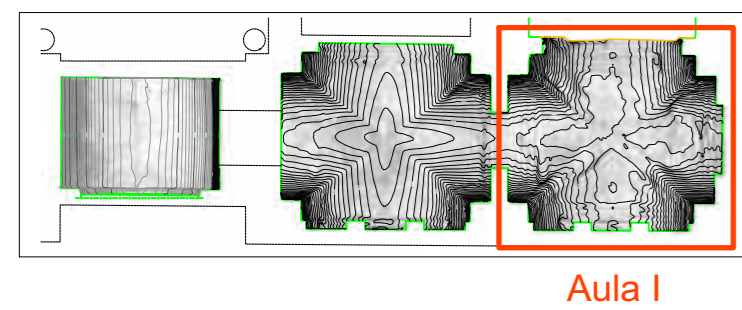
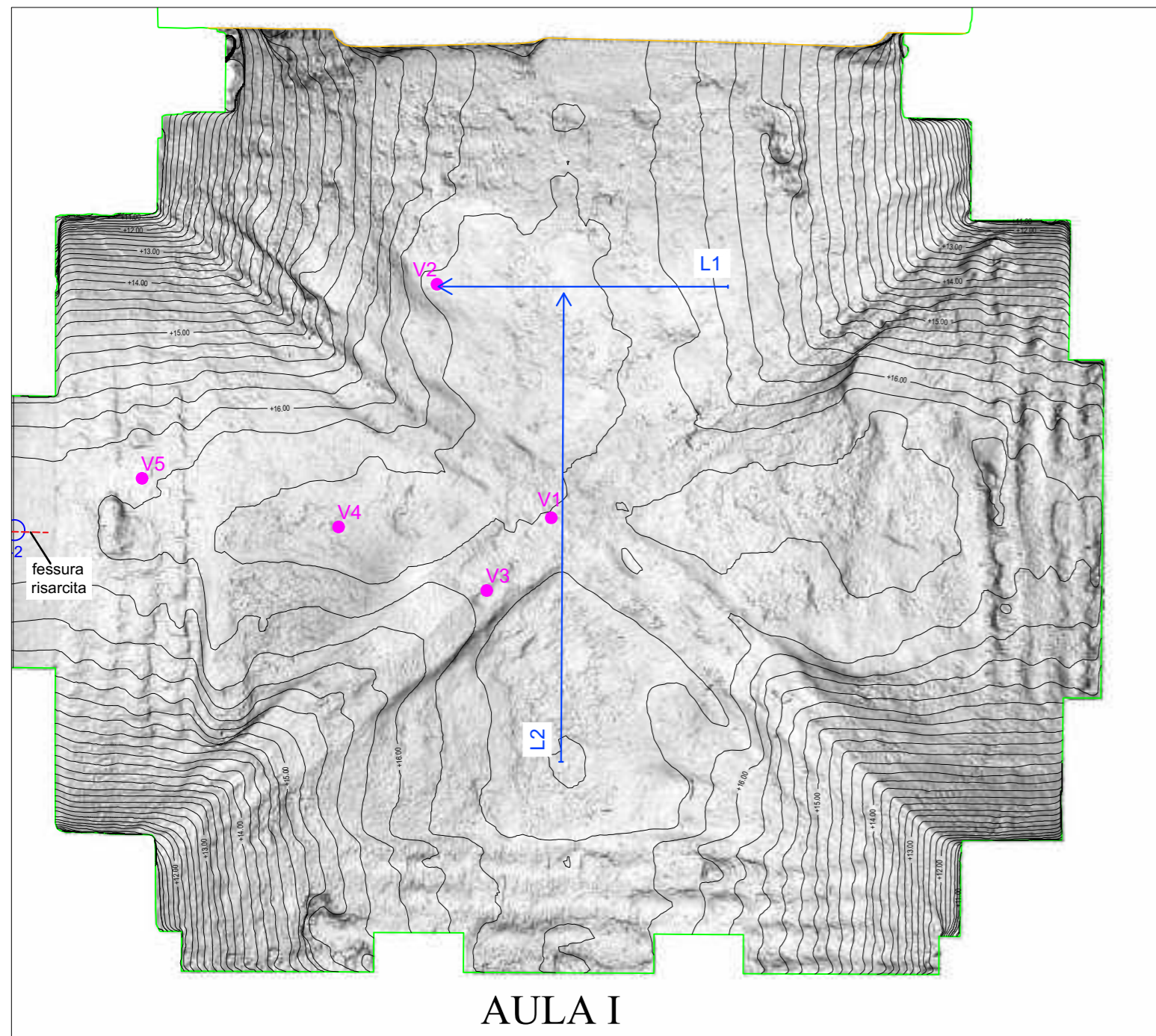


Foto 9 scattata a 75 cm da inizio foro



N.B. I fori in cui sono state effettuate le videoendoscopie sono stati trovati già realizzati.

Analisi delle volte - Aula I



Legenda

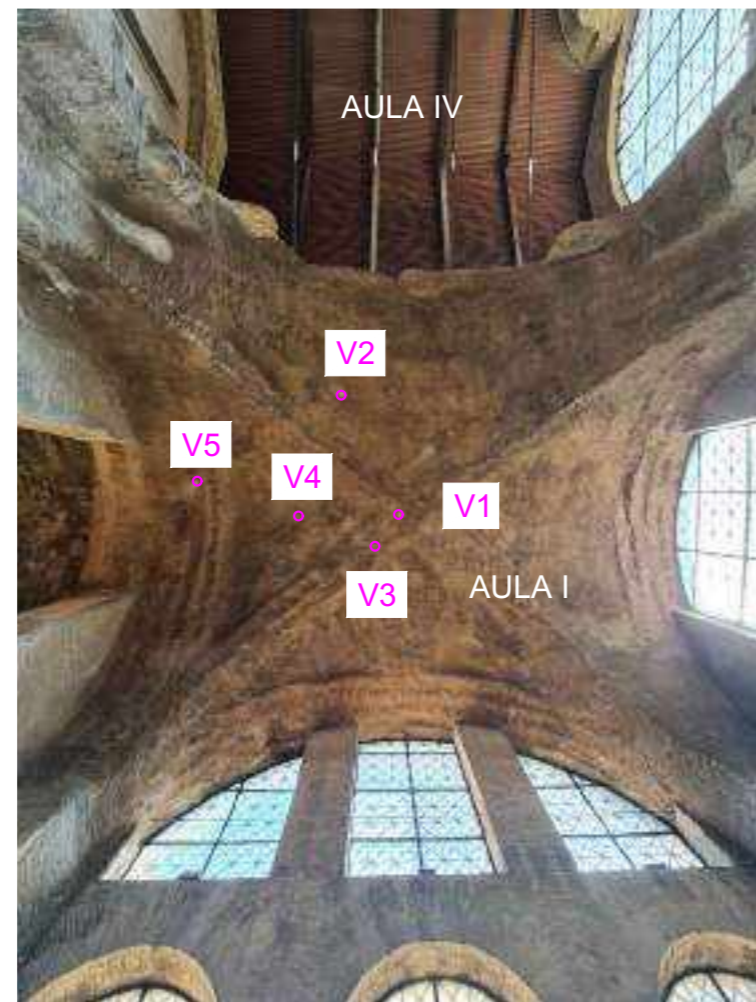
- ← Sezione georadar
- Videoendoscopia

Sezioni GPR

- - - Estradosso volta

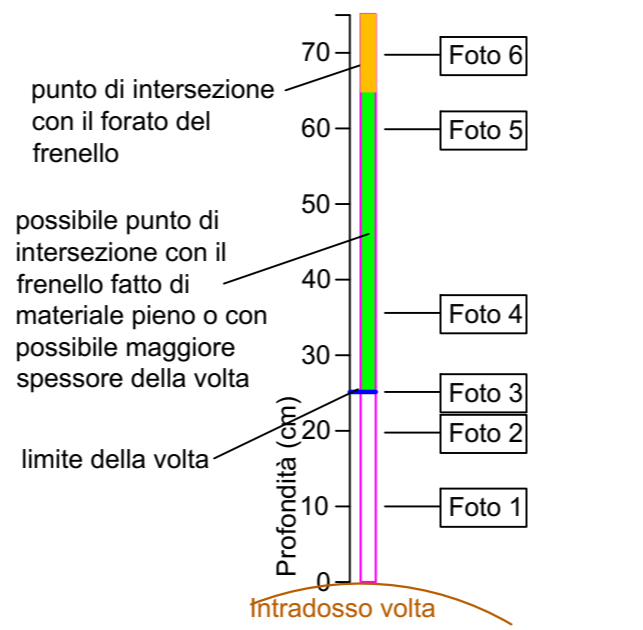
Sintesi videoendoscopie

- discontinuità (micro cavità)
- frenello
- limite volta



AULA I : Video endoscopia V4

Foro esistente di 75 cm di profondità.
Foro ubicato nell'unghia della volta a crociera.
Foro ortogonale all'intradosso.



N.B. Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.

discontinuità che identifica il limite della volta

foto interna alla camera del laterizio forato del frenello

Foto 3 scattata a 25 cm da inizio foro

Foto 6 scattata a 70 cm da inizio foro

pareti foro compatte

camera del laterizio forato di un frenello

Foto 2 scattata a 20 cm da inizio foro

Foto 5 scattata a 65 cm da inizio foro

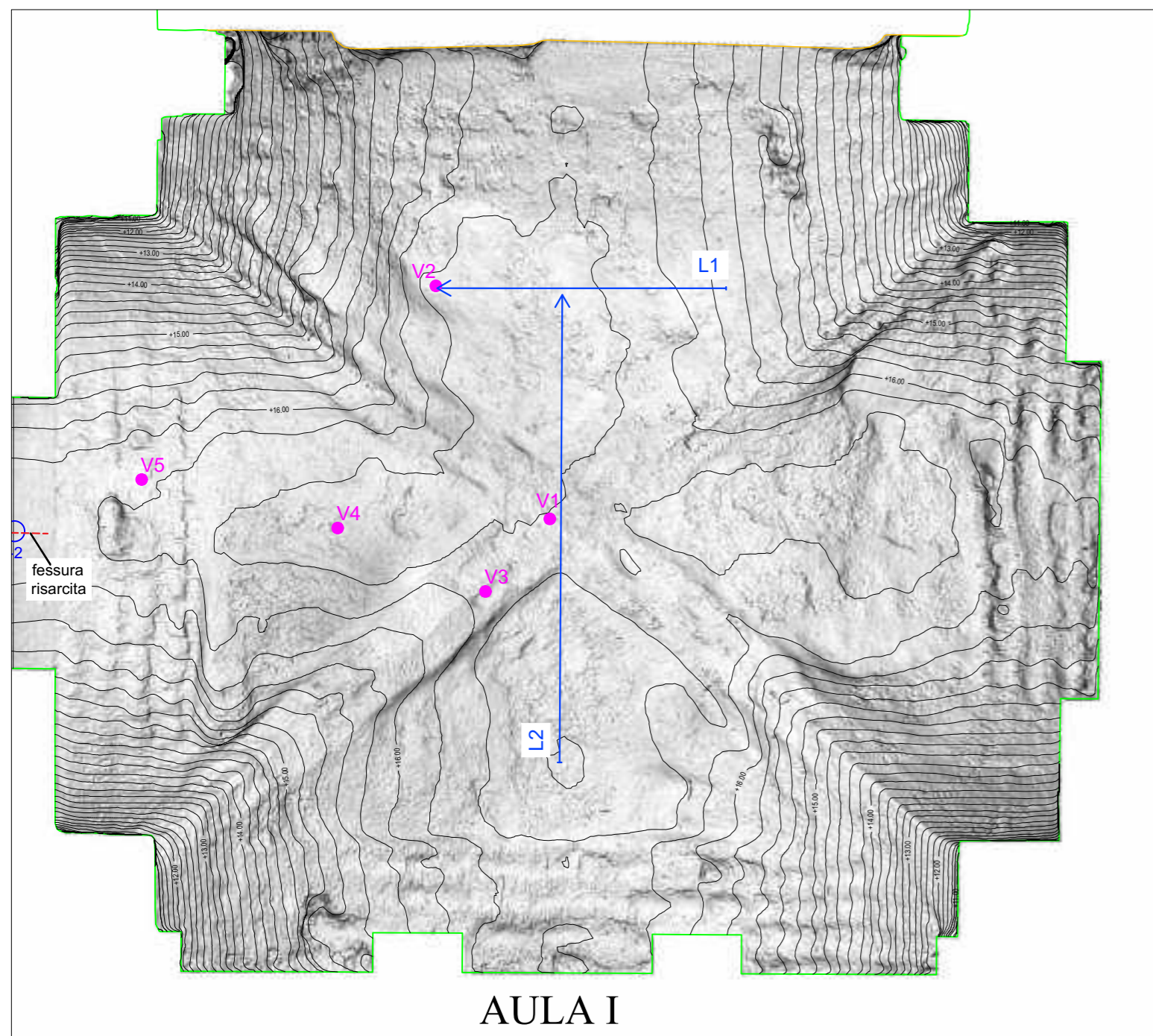
pareti foro compatte

Foto 1 scattata a 10 cm da inizio foro

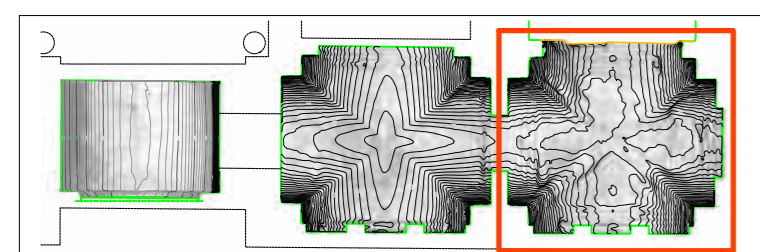
Foto 4 scattata a 35 cm da inizio foro

N.B. I fori in cui sono state effettuate le videoendoscopie sono stati trovati già realizzati.

Analisi delle volte - Aula I

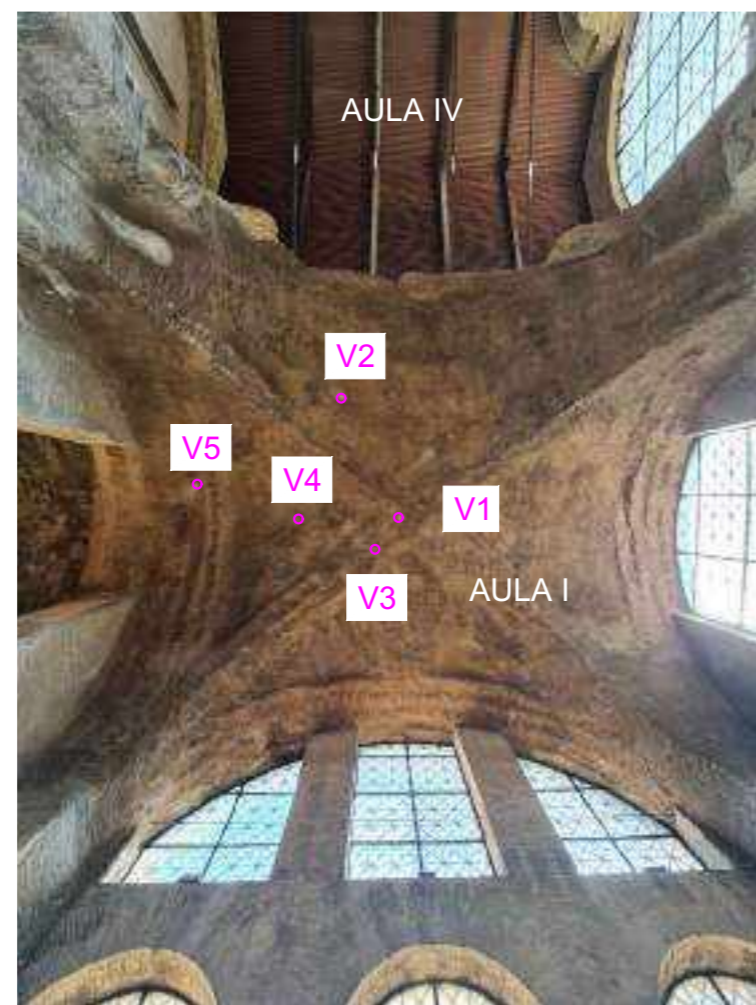


AULA I
Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



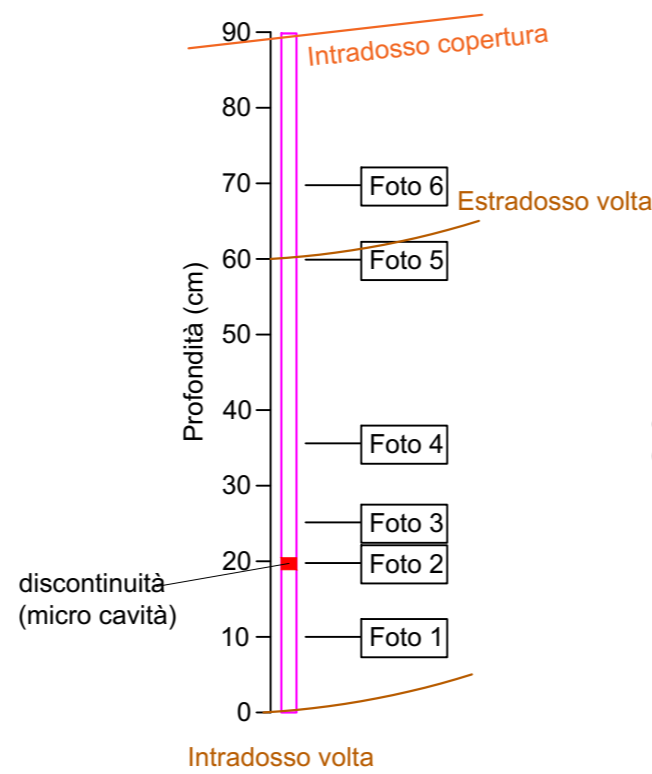
Aula I

Legenda	
	Sezione georadar
	Videoendoscopia
Sezioni GPR	
	Estradosso volta
Sintesi videoendoscopie	
	discontinuità (micro cavità)
	frenello
	limite volta



AULA I : Video endoscopia V5

Foro esistente di 90 cm di profondità, di cui 60cm di spessore murario sull'arcone e 30cm di intercapedine foro ubicato sull'arcone.



N.B. Si nota la continuità dell'alternanza dei tufelli/laterizio e malta.

pareti foro compatte



Foto 3 scattata a 30 cm da inizio foro



Foto 6 scattata a 60 cm da inizio foro



Foto 2 scattata a 20 cm da inizio foro



Foto 5 scattata a 50 cm da inizio foro



Foto 1 scattata a 10 cm da inizio foro



Foto 4 scattata a 40 cm da inizio foro

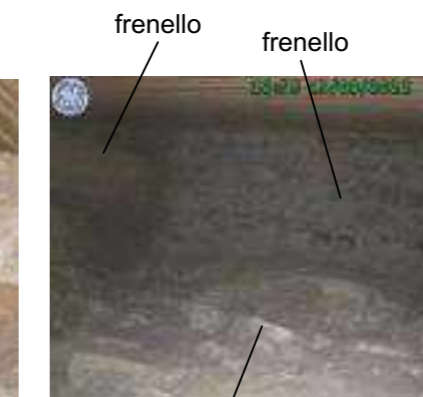
Fotografie nell'intercapedine di 30cm tra volta e la copertura di tavelloni.



estradosso della volta che si presenta con una superficie molto irregolare.



Dettaglio dei frenelli messi in opera in modo caotico.



estradosso della volta caratterizzato da una superficie molto irregolare.

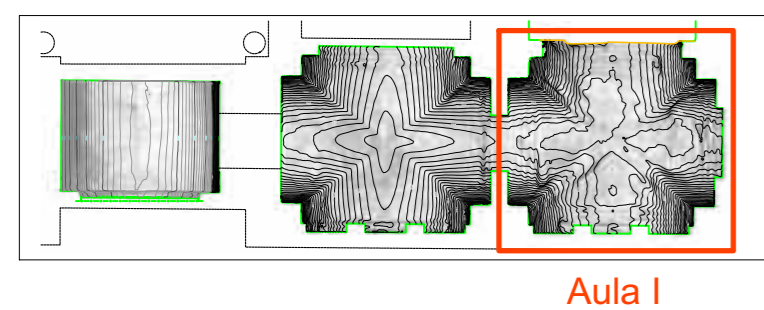
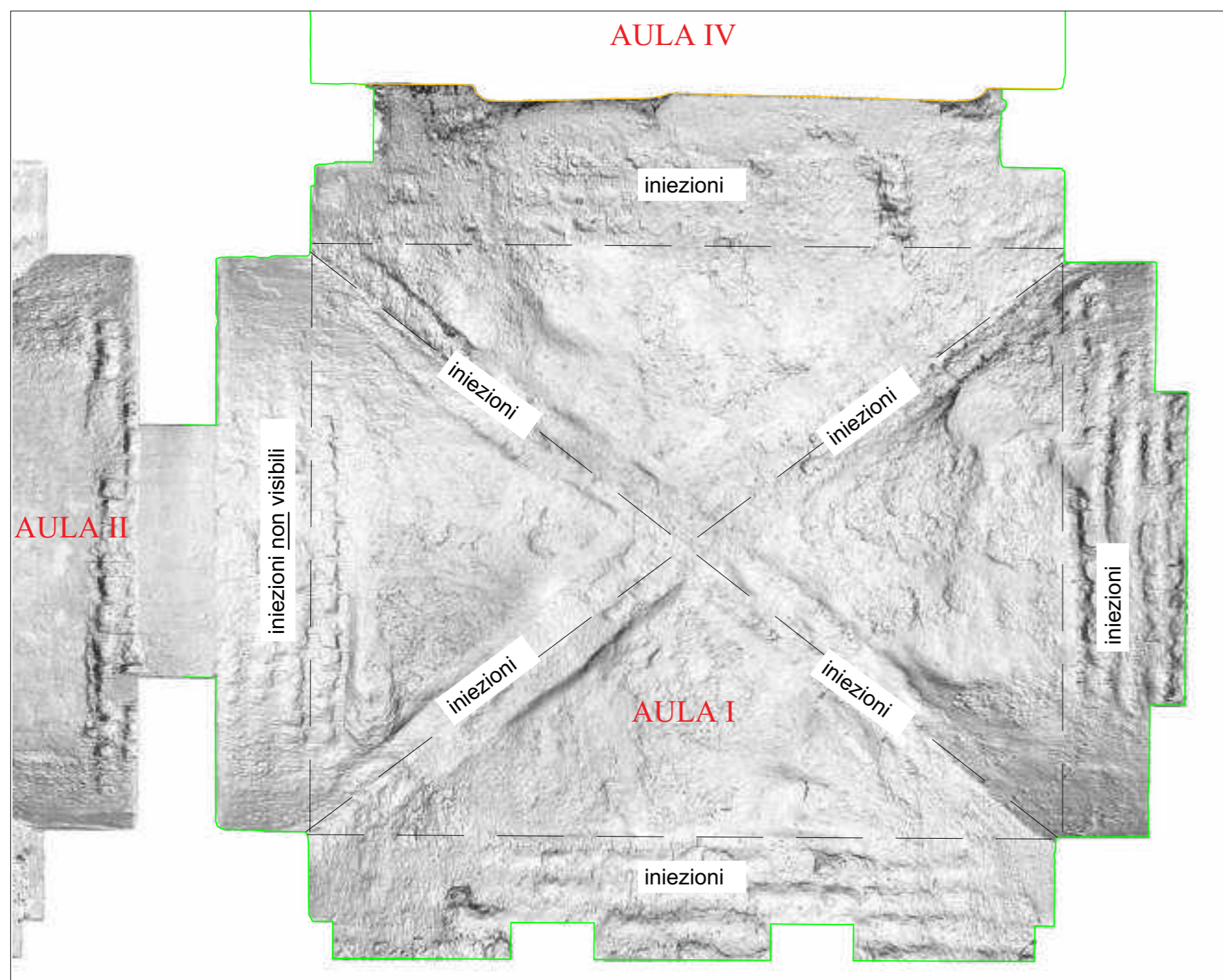


Vista verso la chiave della volta.

estradosso della volta con una superficie molto irregolare

N.B. I fori in cui sono state effettuate le videoendoscopie sono stati trovati già realizzati.

Analisi delle volte - Aula I



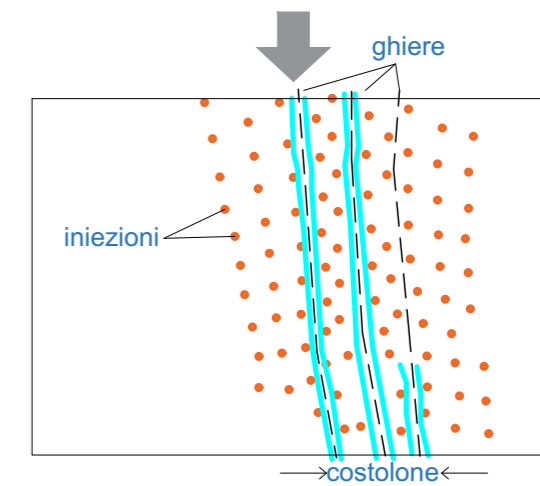
AULA I : Indagine visiva

> Dettaglio dell'intradosso della volta dell'aula I con evidenza delle iniezioni nei costoloni



evidenza che l'intervento con iniezioni è posteriore all'intonaco intradosale proiettato, dato che quest'ultimo risulta ricoperto dalla malta intorno alla cannula.

dettaglio della cannula di iniezione



Schema delle iniezioni in corrispondenza del costolone



L'intervento con iniezioni interessa i 4 costoloni e 3 archi. Sull'arcone confinante con l'aula II non sono visibili le iniezioni.

iniezioni non visibili



Foto di dettaglio dell'arcone tra la I e la II aula.

> Dettaglio dell'intervento di intradosso con intonaco proiettato

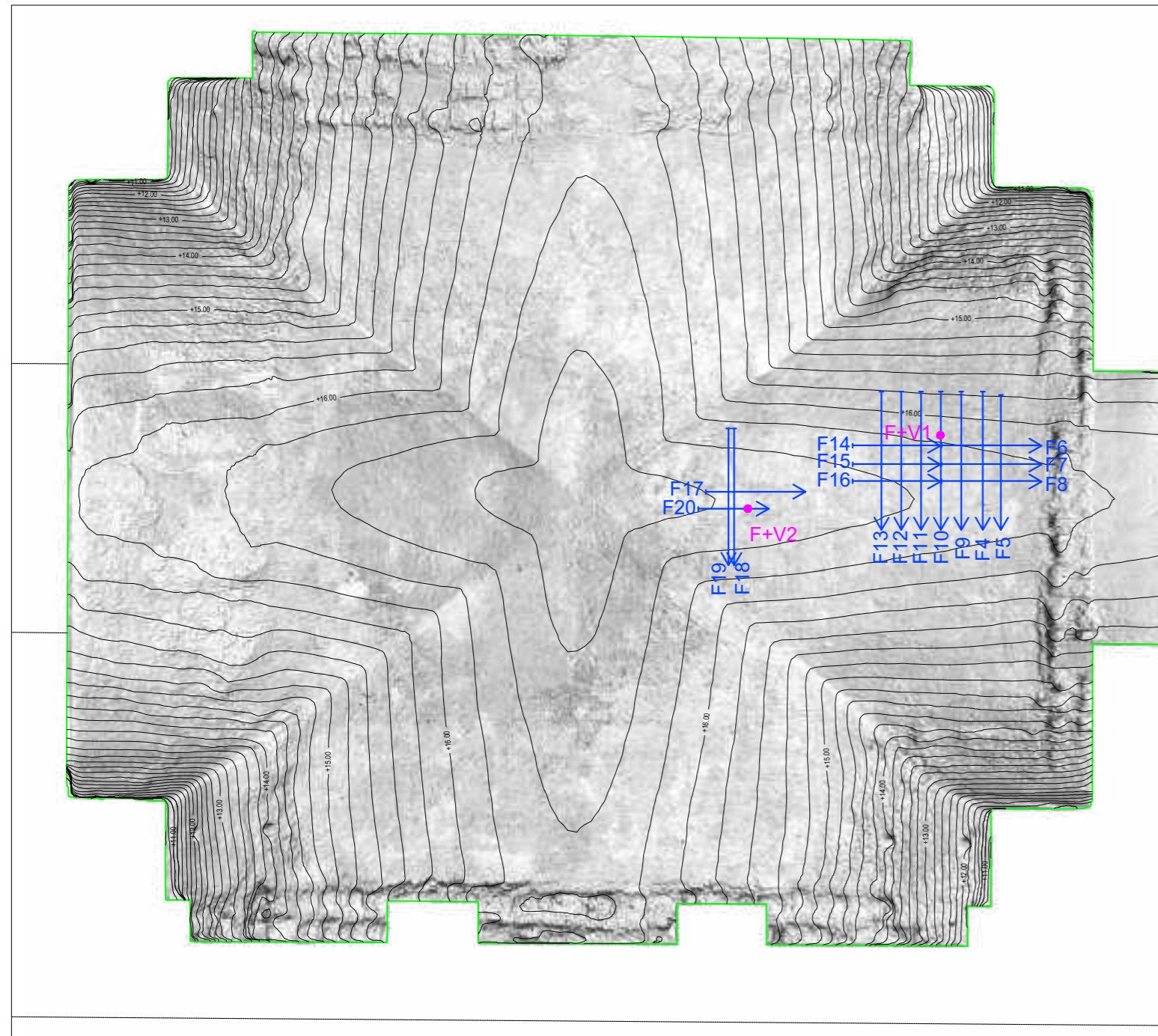
microfessure diffuse



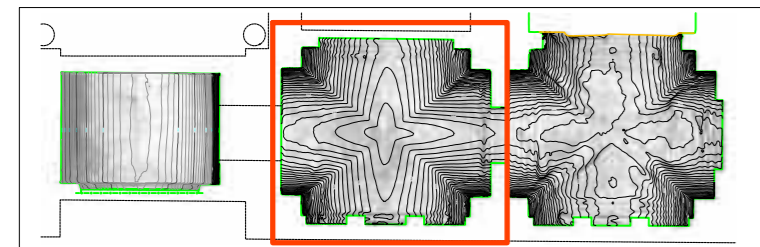
intonaco proiettato di 2-3cm di spessore soggetto a distacchi

Visibile intonaco proiettato di colore biancastro, tipo calce, con spessore medio di 2-3cm, caratterizzato da microfessure e da suono "sordo" quando sottoposto a battitura manuale, quindi facilmente soggetto a distacchi.

Analisi delle volte - Aula II



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)

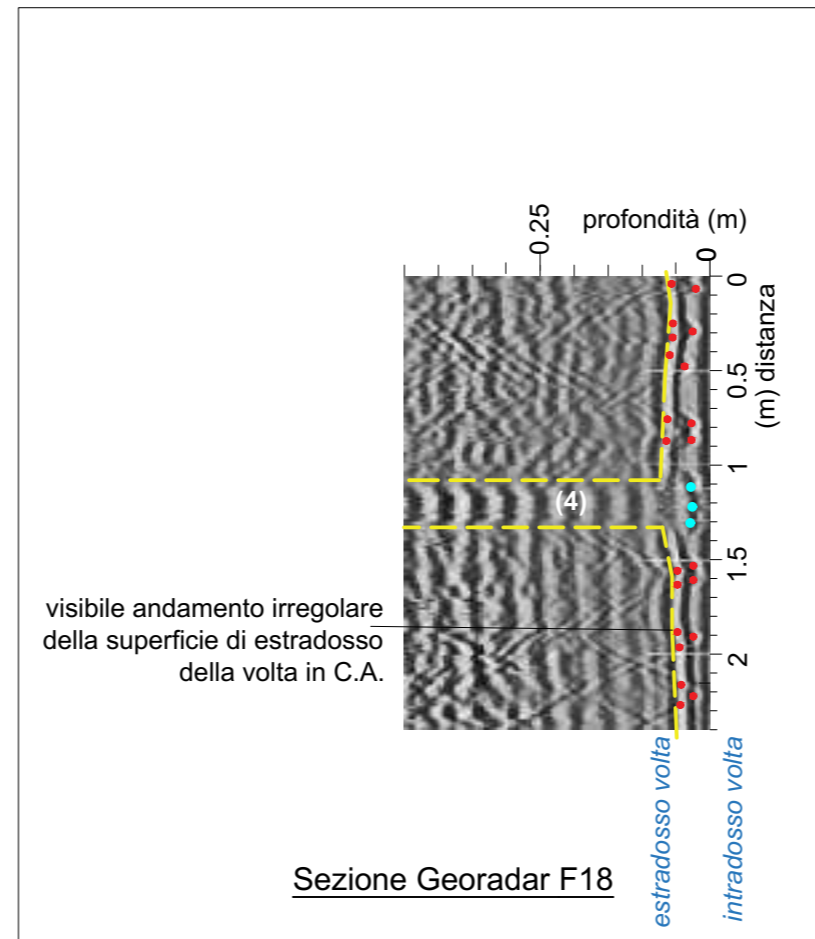


Aula II

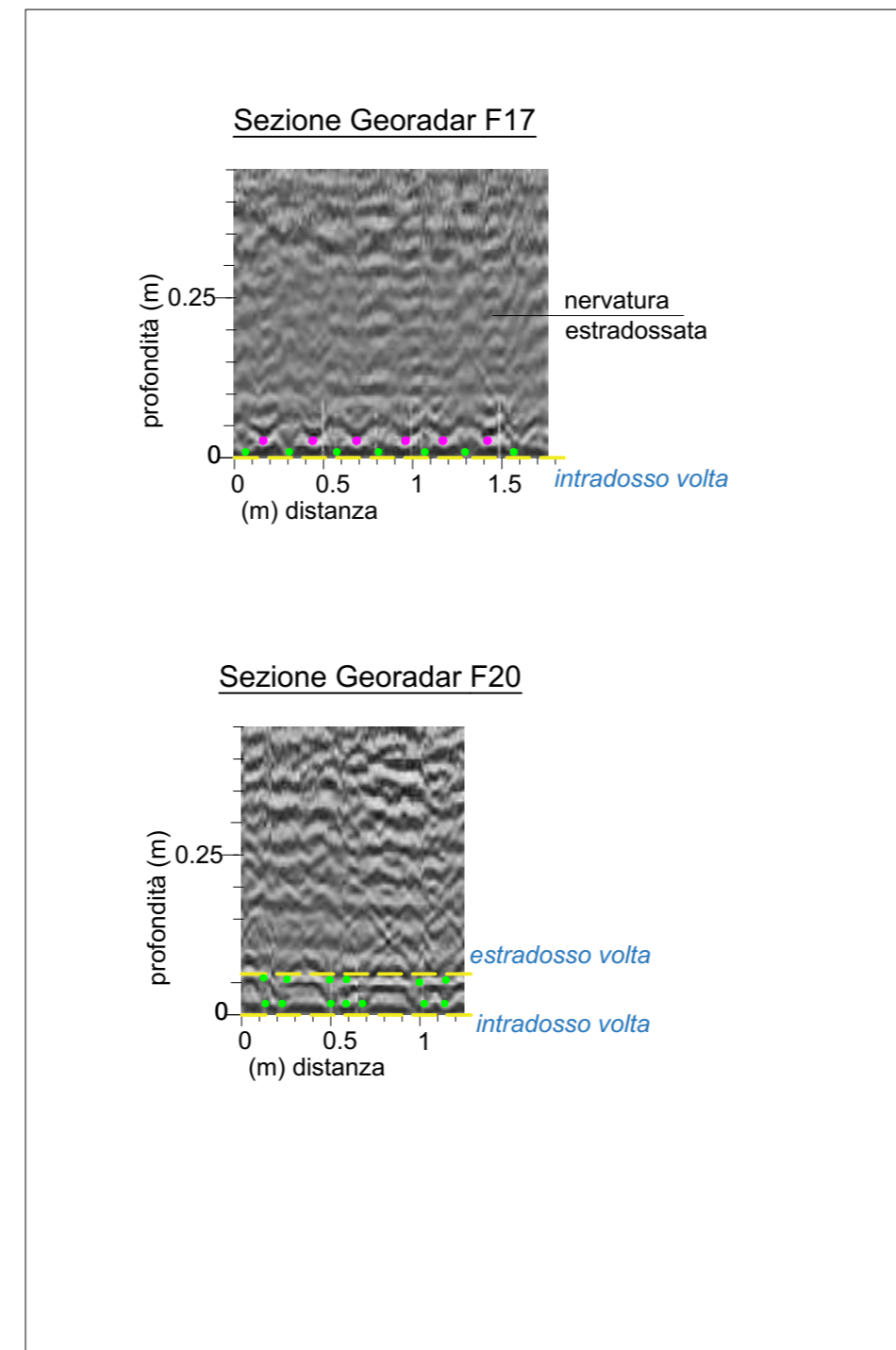
Legenda

- L1 ← Sezione georadar
- F+V Foro + videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta
- Sezioni GPR**
- limite strutture in C.A.
- tondini della soletta
- tondini della soletta
- tondini delle nervature di tipo 1, 2 e 4
- staffe delle nervature di tipo 4 rilevate
- staffe delle nervature di tipo 4 ipotizzate
- tondini della nervatura di tipo 3

N.B Gli assi delle sezioni georadar, distanza e profondità, non sono in rapporto 1:1 .
 N.B. Le sezioni georadar rappresentate sulla tavola sono quelle più significative rispetto a tutte quelle acquisite e disegnate sulla planimetria.

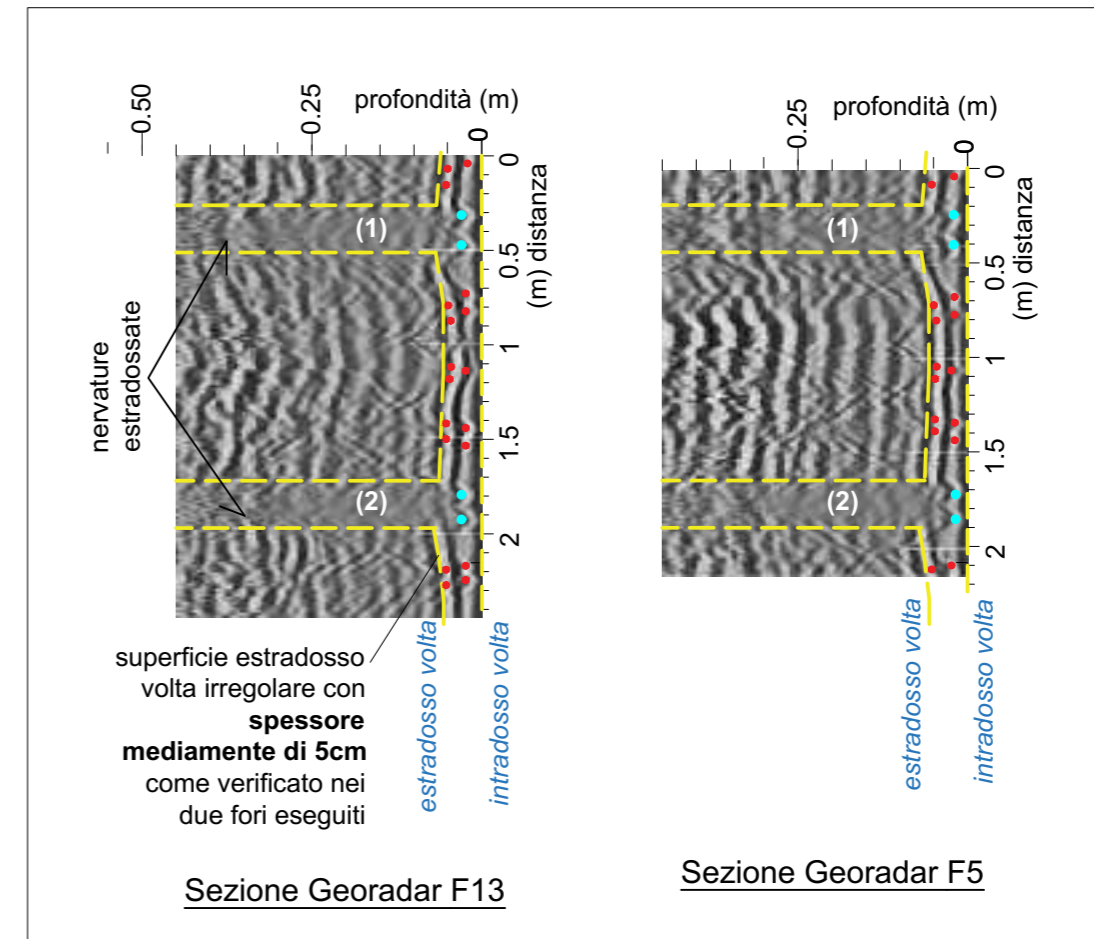


Sezione Georadar F18



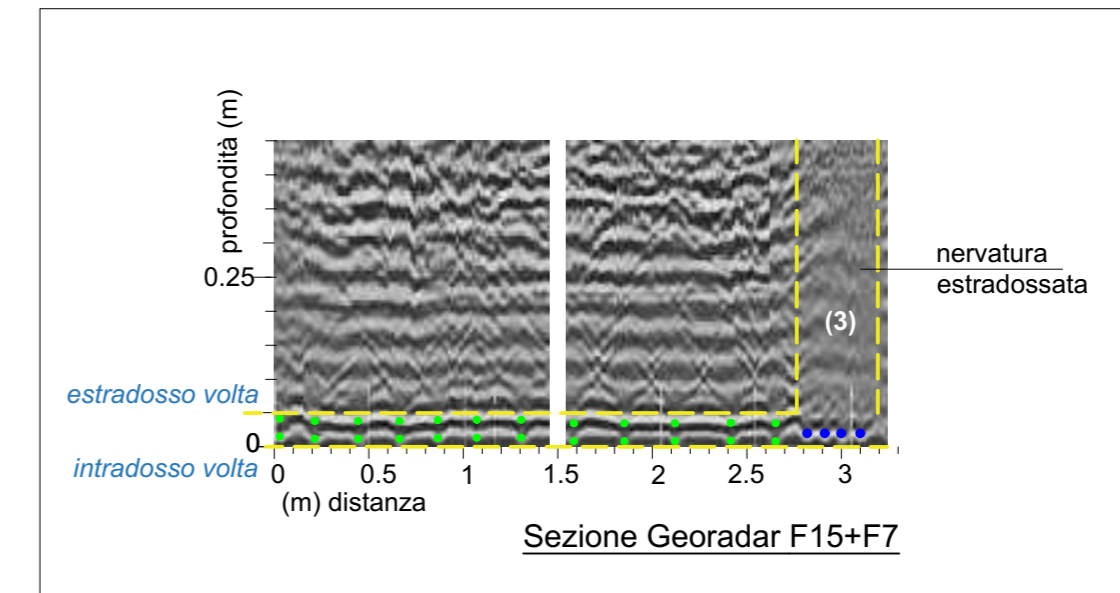
Sezione Georadar F17

Sezione Georadar F20



Sezione Georadar F13

Sezione Georadar F5

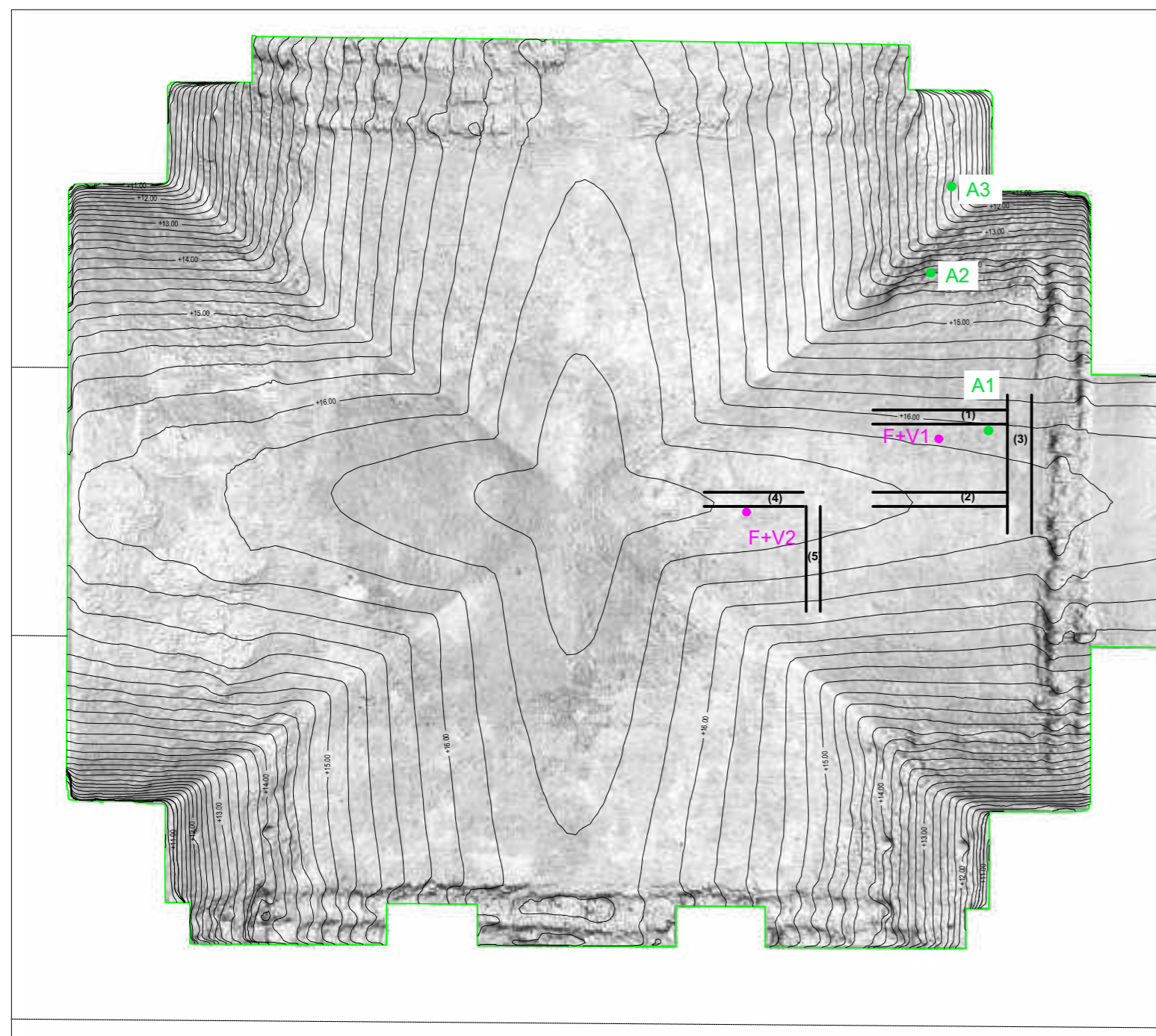


Sezione Georadar F15+F7

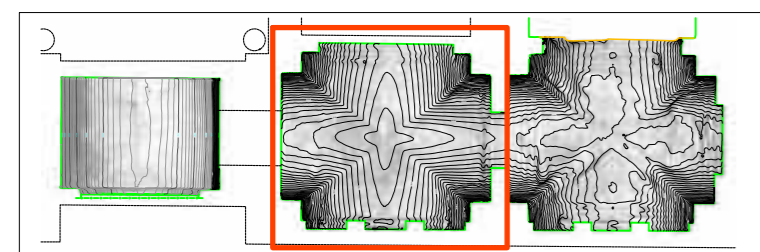


Sezioni georadar acquisite tracciate con gesso all'intradosso della volta

Analisi delle volte - Aula II



Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula II

Legenda

- L1 ← Sezione georadar
- F+V Foro + videoendoscopia
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta

AULA II : Video endoscopia V1



Note:

- Visibile copertura realizzata con putrelle e tavelloni.
- Le putrelle sono arrugginite.
- I tavelloni sono in parte sfondellati.
- Visibili nervature estradossate in C.A. con armature e staffe scoperte
- Oltre una certa quota le nervature diventano pilastrini in C.A.
- Dalle immagini di dettaglio si osserva che il pilastro in C.A. e la copertura non sono a contatto, quindi si suppone che la copertura non sia appoggiata sui pilastri.
- Dall'esecuzione di entrambi i fori il calcestruzzo è risultato facilmente perforabile.



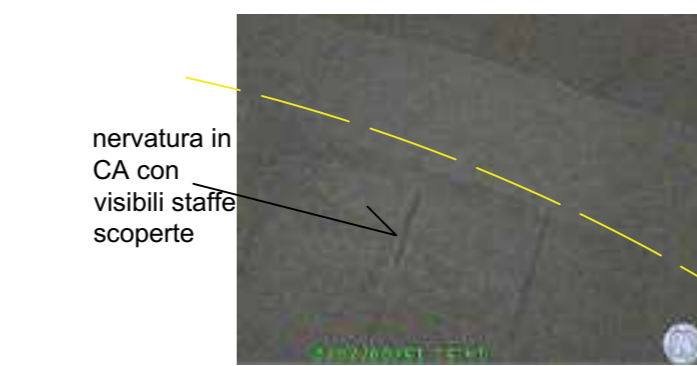
nervatura in CA con visibili staffe scoperte



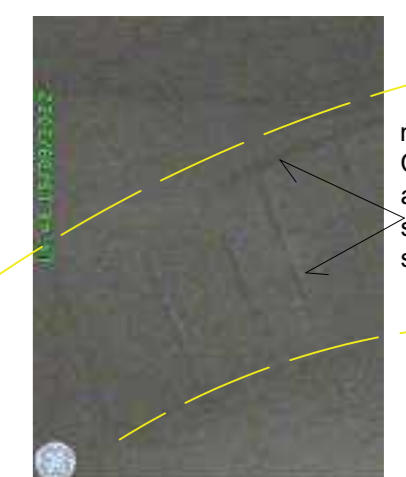
Sull'estradosso della volta presenti depositi possibile di ruggine



tavola di legno con segni di marcescenza



nervatura in CA con visibili staffe scoperte

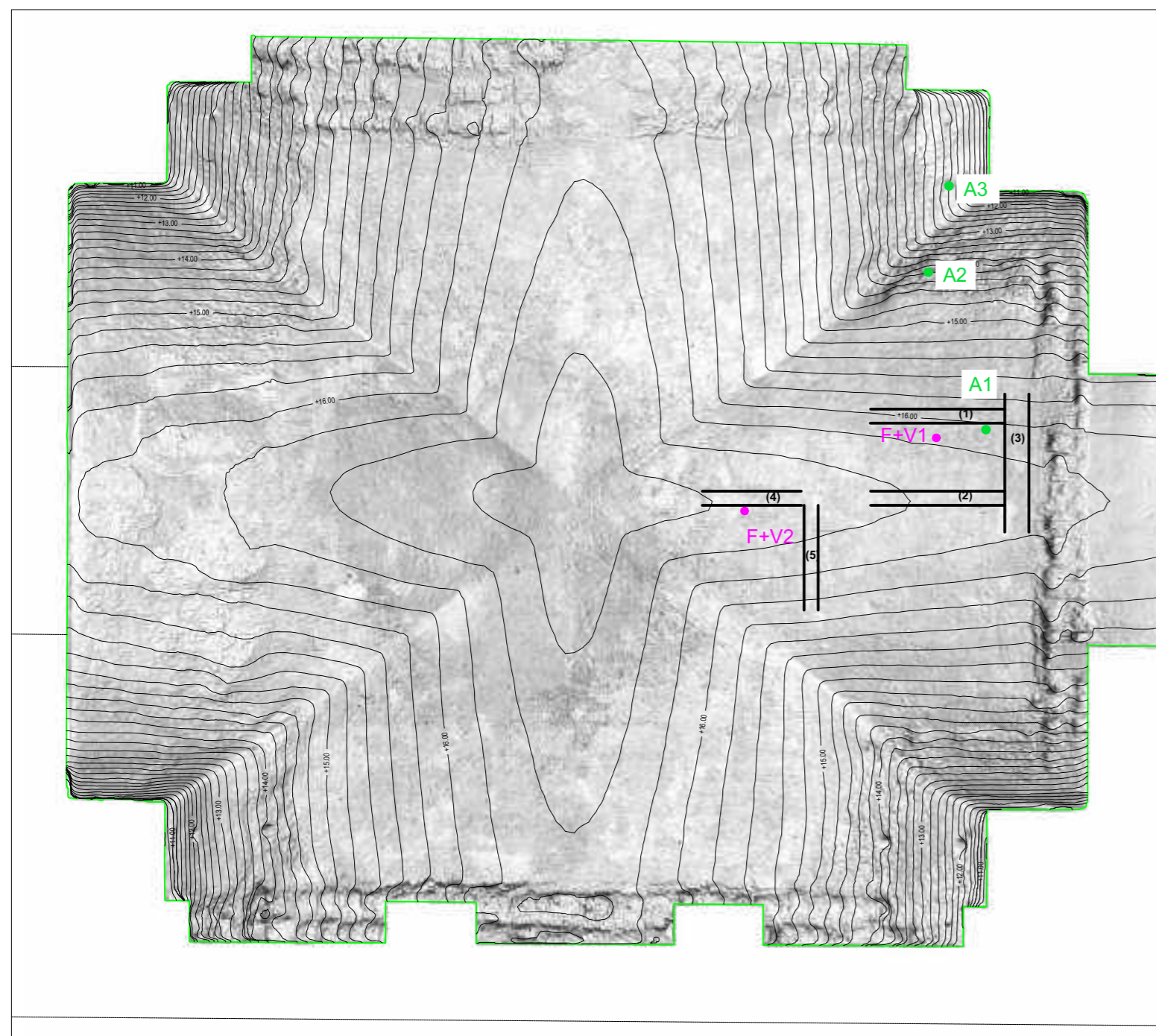


nervatura in CA con visibili armature e staffe scoperte

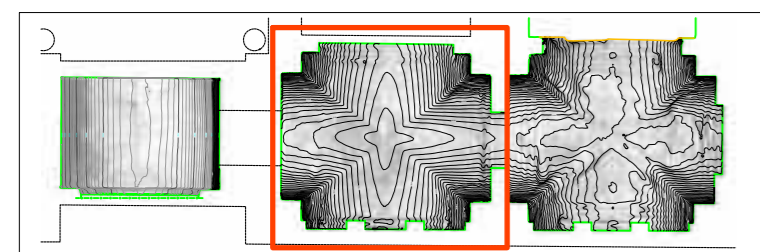
Copertura in stato di conservazione non buono. Visibili segni di sfondellamento dei tavelloni, putrelle arrugginite e tracce di umidità sui tavelloni.

Foto di dettaglio dello stato di conservazione della superficie del pilastro in C.A.

Analisi delle volte - Aula II



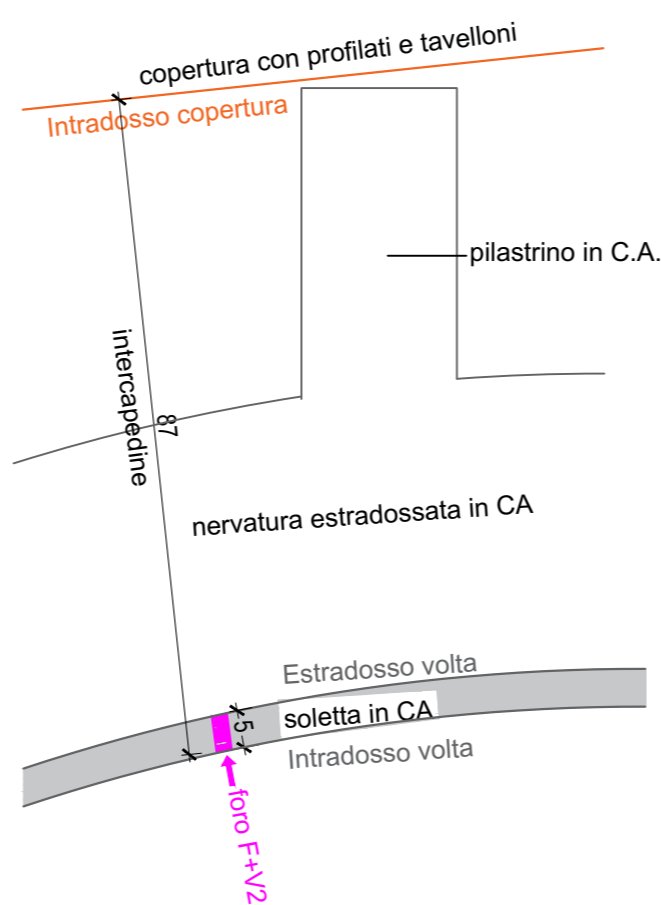
Ubicazione delle indagini (scala 1:100)



Aula II

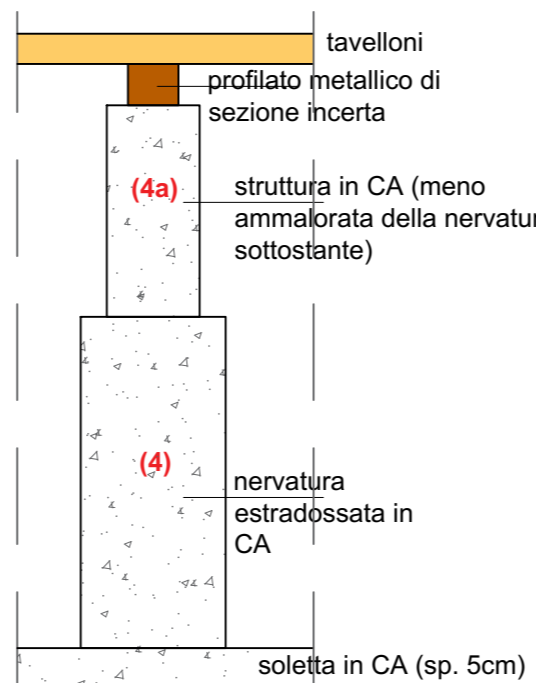
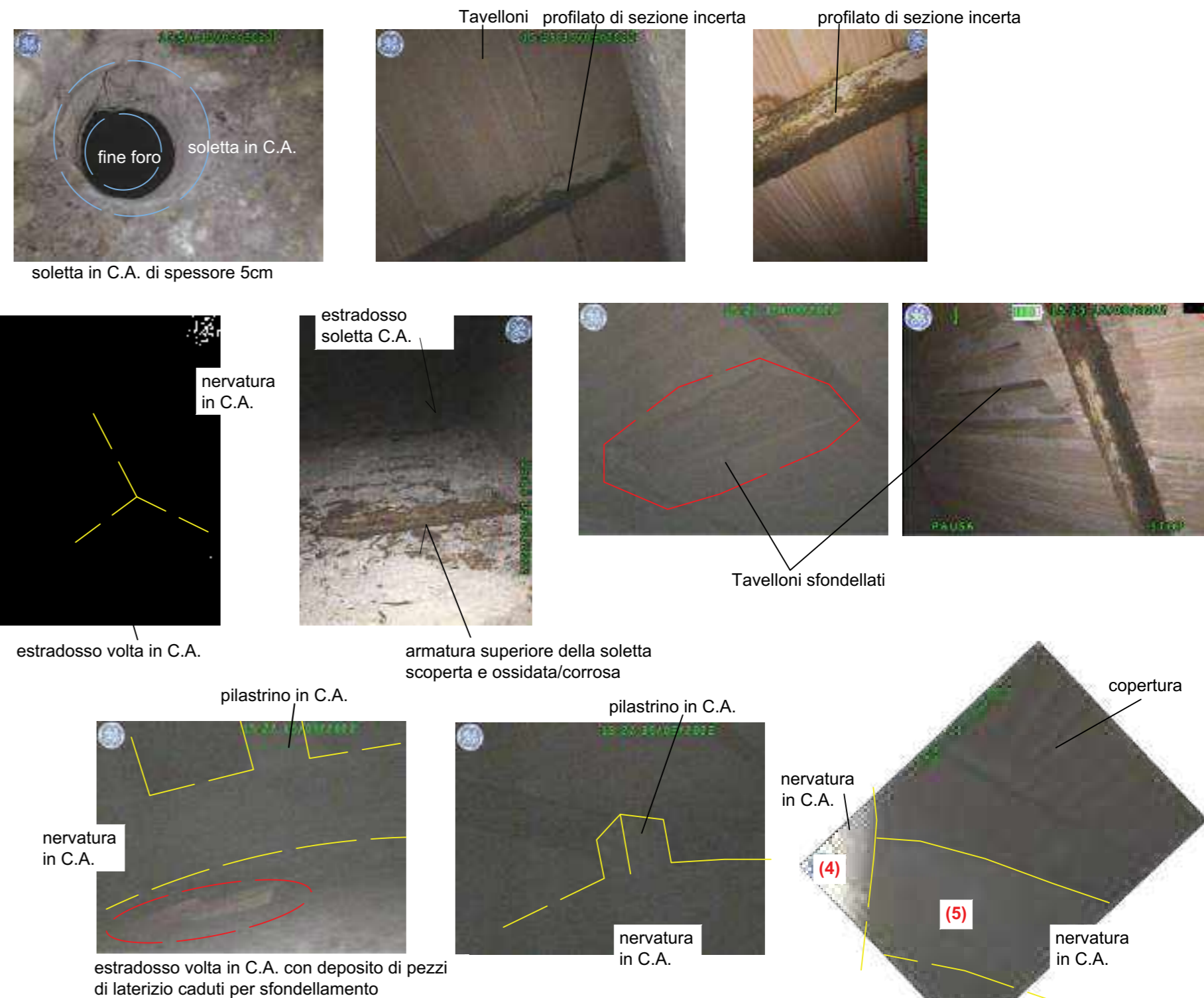
Legenda	
L1	Sezione georadar
F+V	Foro + videoendoscopia
D	Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
A	Prelievo campioni di malta

AULA II : Video endoscopia V2



Note:

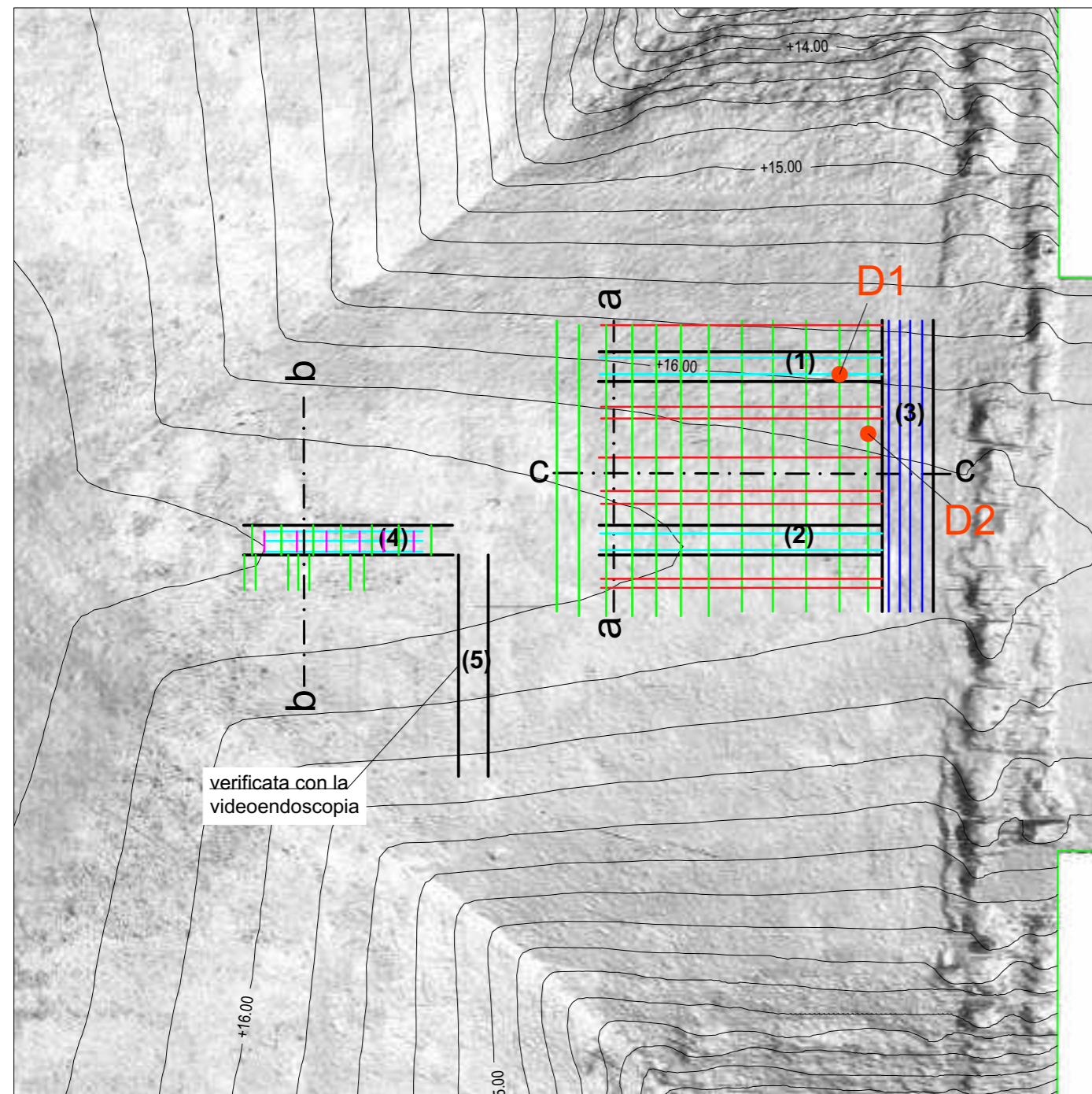
- Visibile copertura realizzata con profilati e tavelloni.
- I profilati della copertura sono degradati.
- I tavelloni sono in parte sfondellati.
- Visibili nervature estradossate in C.A. con armature e staffe scoperte
- Oltre una certa quota le nervature diventano pilastri in C.A.
- Dall'esecuzione di entrambi i fori il calcestruzzo è risultato facilmente perforabile .
- Sopra la nervatura in C.A. è presente un'ulteriore struttura in C.A., sulla quale poggiano probabilmente i profilati della copertura.
- La struttura in C.A. sopra la nervatura in C.A. è meno ammalorata rispetto alle nervature.



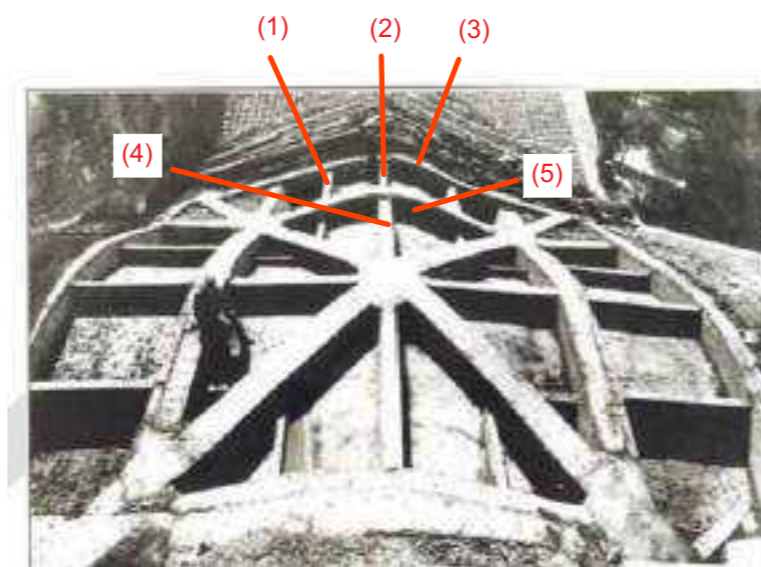
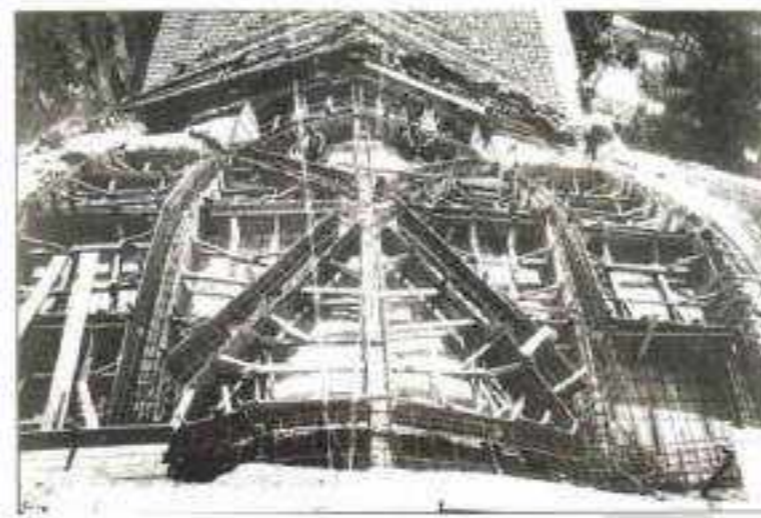
Sezione di dettaglio fuori scala



Analisi delle volte - Aula II Sintesi

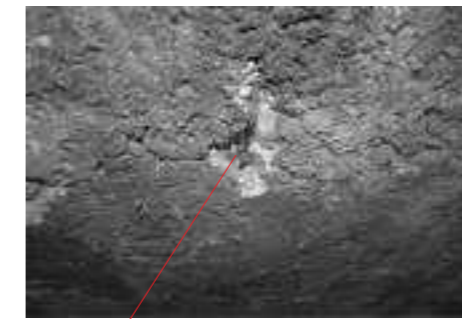


Planimetria di sintesi (scala 1:50) - armature inferiori della soletta ed armature inferiori delle nervature estradossate



Consolidamento della volta eseguito alla fine degli Anni '40 con nervature estradossate in calcestruzzo armato.

AULA II : Verifica diretta D1



- Tondino ("ciano" nelle sezioni di georadar/sintesi) Ø8 con copriferro di 1,5-2cm.
- Tondino ("verde" nelle sezioni di georadar/sintesi) Ø6 con copriferro di 0-0,5cm

nodo di armature con visibile tondino verticale associabile alla staffa della nervatura in CA

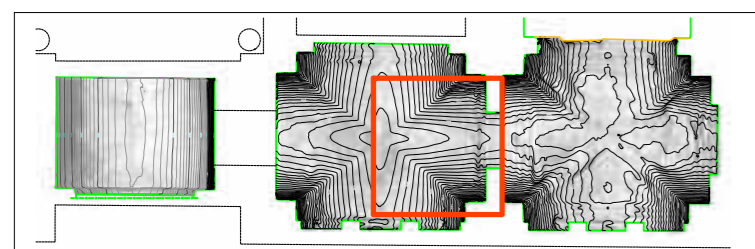


Campione A1 calcestruzzo prelevato all'intradosso della volta

AULA II : Verifica diretta D2



Tondino ("verde" nelle sezioni di georadar/sintesi) Ø6 con copriferro di 0-0,5cm



Aula II

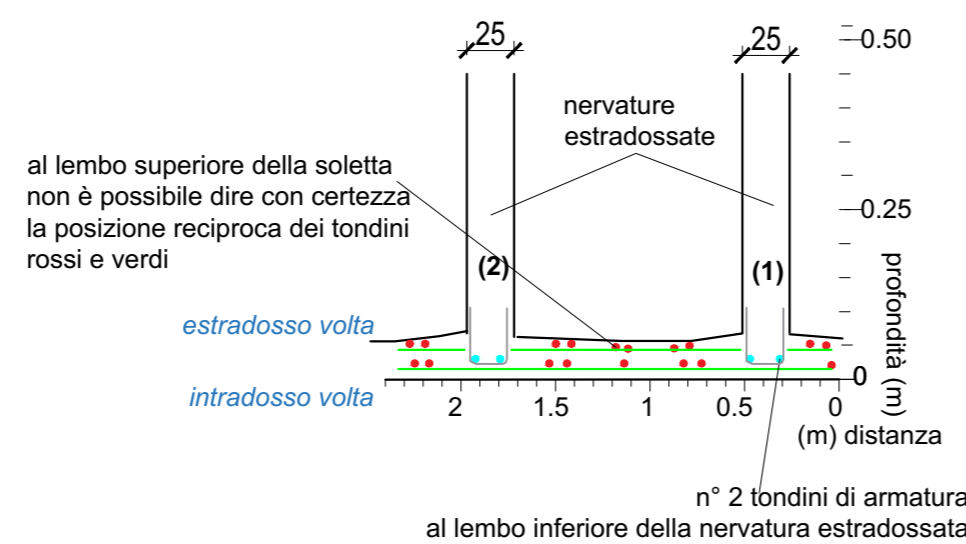
- Legenda**
- L1 ← Sezione georadar
 - F+V Foro + videoendoscopia
 - D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
 - A Prelievo campioni di malta
 - Sezioni GPR
 - limite strutture in C.A.
 - tondini della soletta
 - tondini della soletta
 - tondini delle nervature di tipo 1, 2 e 4
 - staffe delle nervature di tipo 4 rilevate
 - staffe delle nervature di tipo 4 ipotizzate
 - tondini della nervatura di tipo 3

N.B Gli assi delle sezioni georadar, distanza e profondità, non sono in rapporto 1:1.

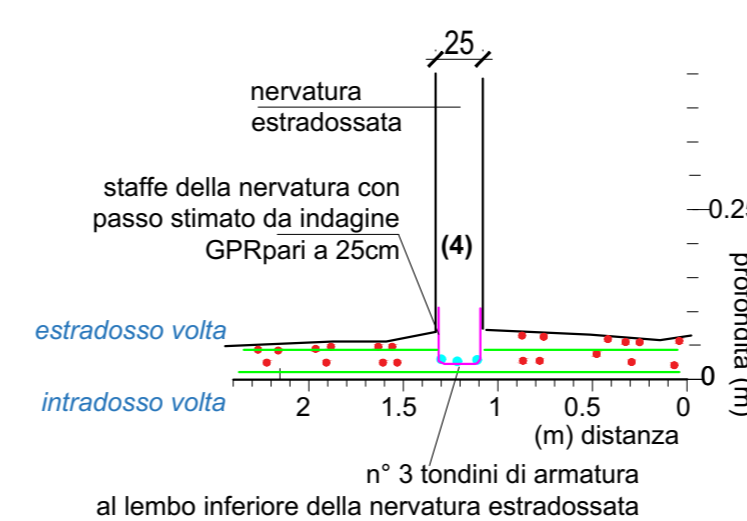
N.B. Le sezioni georadar rappresentate sulla tavola sono quelle più significative rispetto a tutte quelle acquisite e disegnate sulla planimetria.

Sintesi

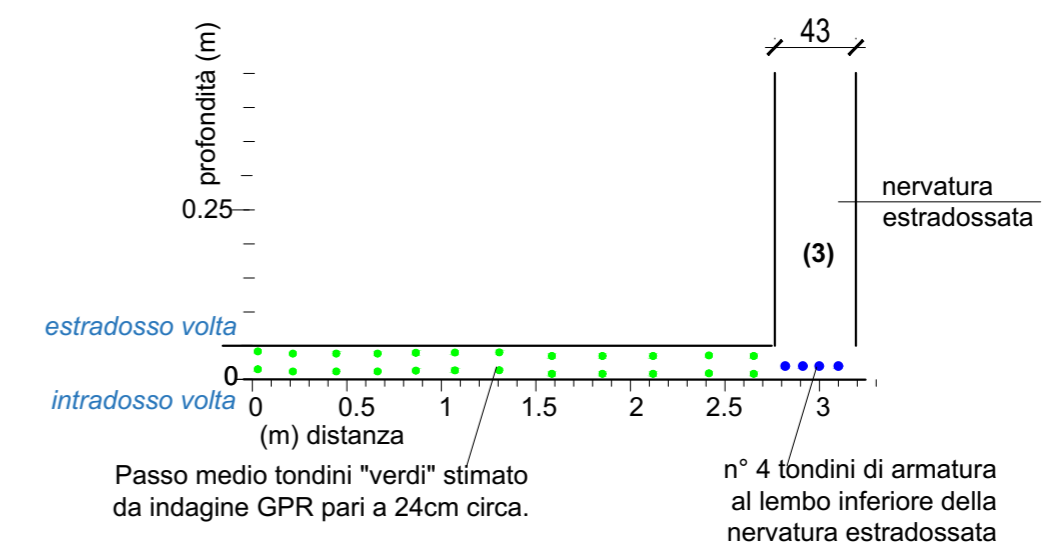
> Sezione di dettaglio a-a



> Sezione di dettaglio b-b



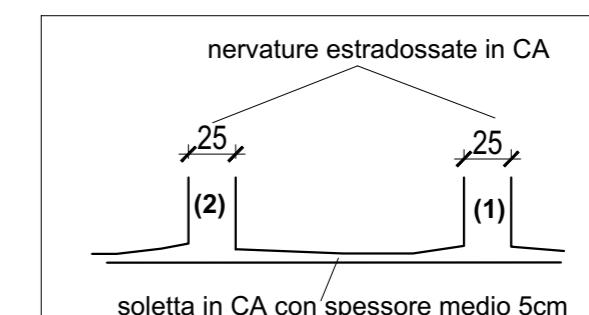
> Sezione di dettaglio c-c



N.B. Le sezioni di sintesi derivano dall'interpretazione delle sezioni georadar, per cui anche qui gli assi della profondità e della distanza non sono in rapporto 1:1.

Note:

- lo spessore medio della volta, rilevato direttamente con i fori eseguiti e verificato in tutti verificati con l'indagine georadar, è di 5cm.
- è stato indicato uno spessore medio in quanto la superficie di estradosso della volta risulta irregolare.
- tondini "verdi" inferiori: in corrispondenza del saggio D1 e D2 rilevato diametro Ø6 e copriferro di 0-0,5cm. Passo medio tondini "verdi" stimato da indagine GPR pari a 24cm circa.
- tondini "ciano": in corrispondenza del saggio D1 rilevato diametro Ø8 e copriferro di 1,5-2cm.
- tondini "rossi" inferiori: copriferro stimato da indagine GPR 1,5-2cm e diametro stimato Ø6.
- tondini "blu" della nervatura: copriferro stimato da indagine GPR 1-1,5cm e diametro stimato Ø8.
- staffe delle nervature "fucsia": copriferro stimato da indagine GPR 1,5-2cm
- dall'indagine viva i tondini a vista sono lisci e ossidati



Dettaglio della sezione a-a con proporzione 1:1 degli assi della distanza e della profondità



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

Analisi delle volte - Aula II
Indagine georadar, indagine videoendoscopica e osservazioni vive per lo stato di conservazione

ELABORAZIONE Ing. Erika Lorenzini
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

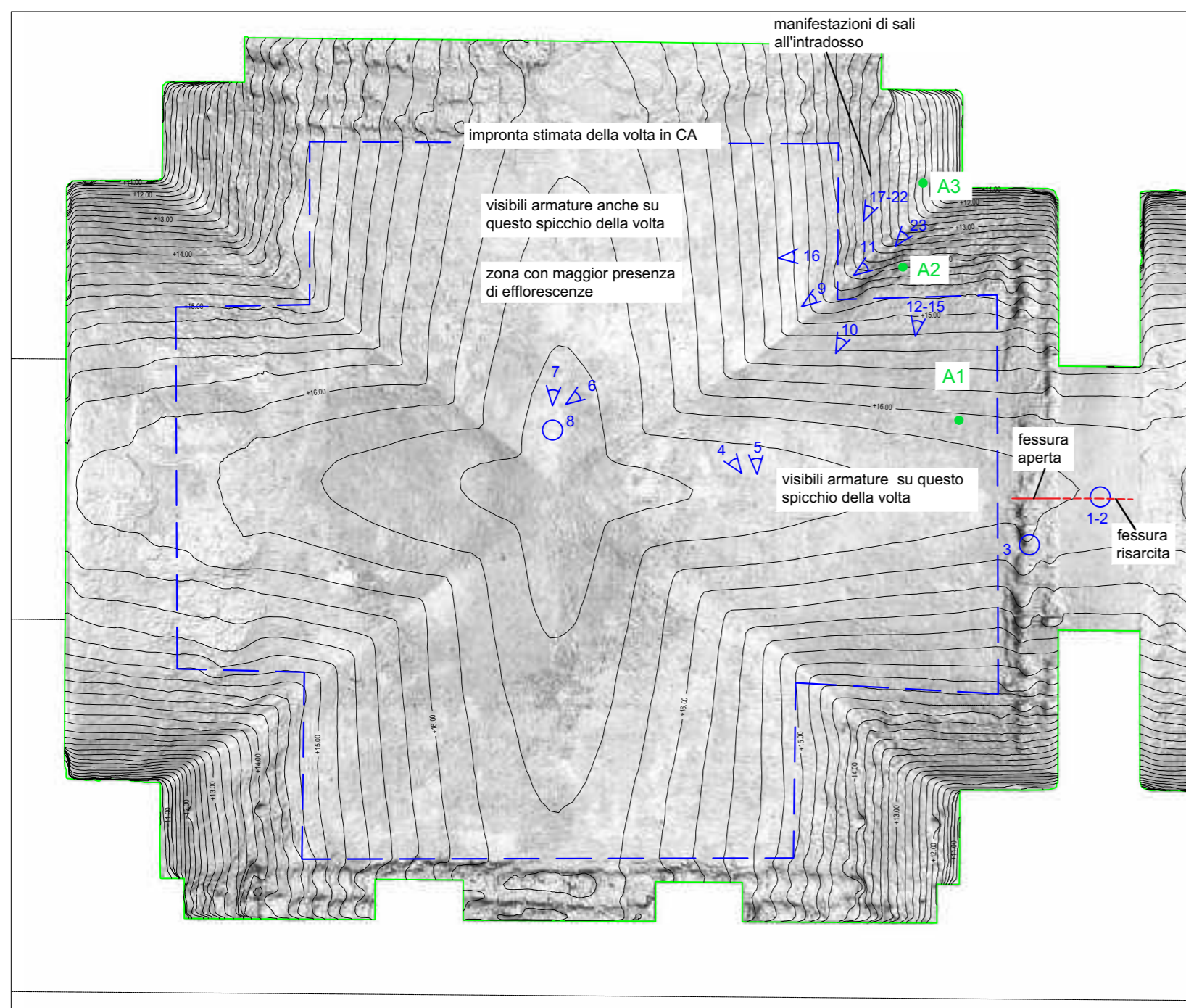
DATA CONSEGNA
4 Ottobre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

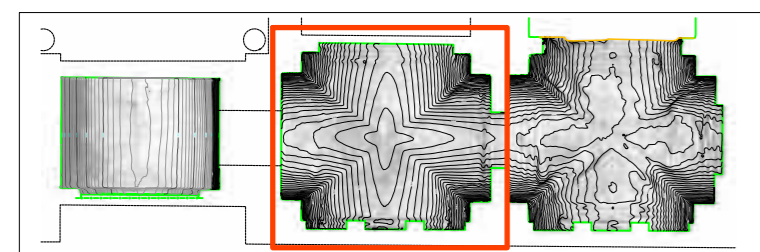
TAVOLA

10

Analisi delle volte - Aula II



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive

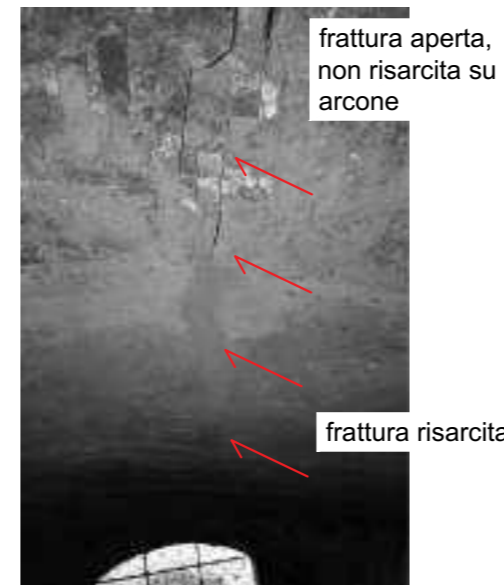


Aula II

- Legenda**
- L1 ← Sezione georadar
 - F+V Foro + videoendoscopia
 - D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
 - A Prelievo campioni di malta

AULA II : Indagine visiva

Foto 1



Visibile frattura in parte risarcita e in parte aperta in corrispondenza dell'arcone.

Foto 2



Foto 3



Buco persistente che mette in evidenza il materiale giallo associabile a tuffelli, quindi parte originale della volta in corrispondenza dell'arcone.

Foto 4



Foto 5



Visibili armature scoperte e ossidate ed effetti del calcestruzzo mal vibrato (vespai)

volta originale
volta originale con sopra intonaco proiettato
volta in CA



Foto 6



Foto 7

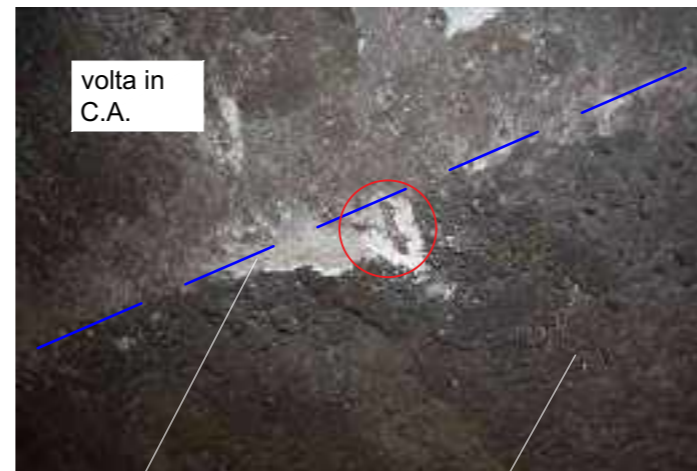


Visibili diffuse macchie di efflorescenze saline causate dalla percolazione di sali del cemento armato, dovute alle infiltrazioni nella copertura testimoniate dalle indagini videoendoscopiche e probabilmente da infiltrazioni attraverso il terrazzo.

Foto 8



Foto 9



limite tra volta in CA e volta originale con sopra intonaco proiettato

Foto 10



volta originale con sopra intonaco proiettato

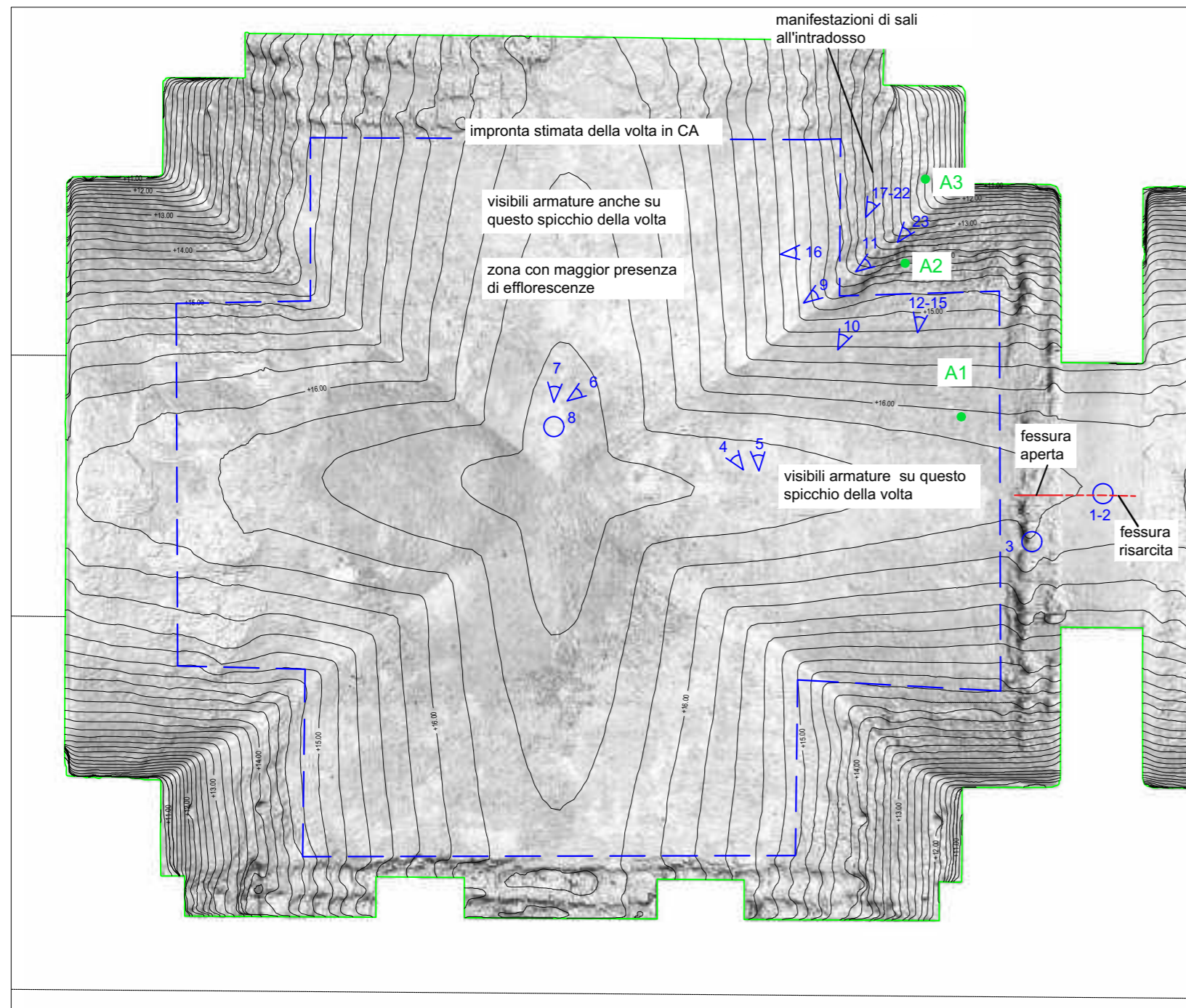
Foto 11



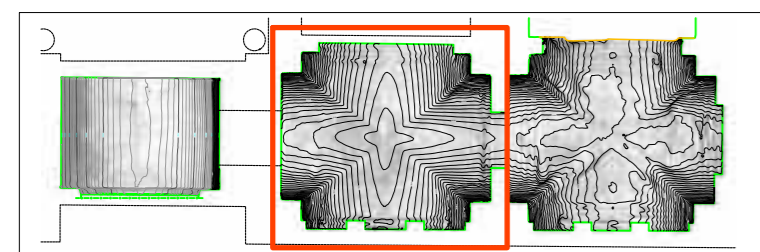
volta originale con sopra intonaco proiettato

volta originale con tuffelli a vista a causa del degrado

Analisi delle volte - Aula II



Planimetria di sintesi delle osservazioni visive



Aula II

Legenda

- L1 ← Sezione georadar
- F+V Foro + videoscopio
- D Demolizione superficiale per il rilievo dei diametri e del copriferro
- A Prelievo campioni di malta



Campione A2 : malta e laterizio



Campione A3 dell'intonaco originale

AULA II : Indagine visiva

Foto 12

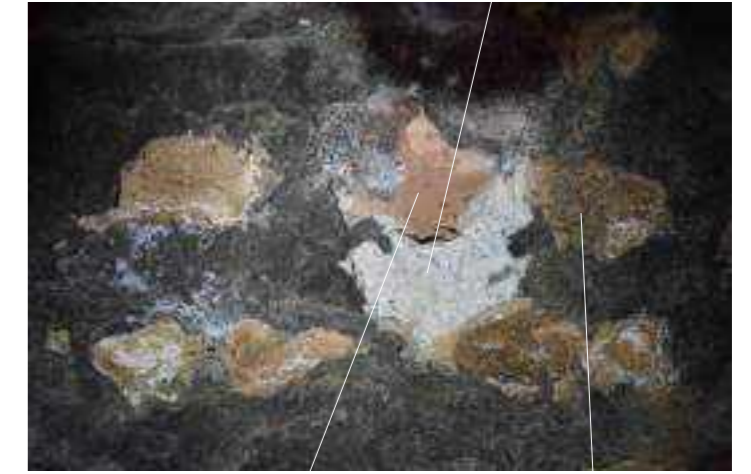


Dettaglio della volta originale con tufelli a vista a causa del degrado e intonaco in fase avanzata di esfoliazione.

Foto 13



Foto 14



mattone tufello

Foto 15



Foto 16



Manifestazioni saline sulla volta originale

Foto 17



Visibile intonaco originale della volta

Foto 18



Intonaco originale della volta in stato di degrado avanzato con manifestazione di efflorescenze

Foto 19



Foto 20



Foto 21



Volta originale priva di intonaco con manifestazione di efflorescenze saline

Foto 22



Foto 23



Prelievo del campione A3 in corrispondenza dell'intonaco originale



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

MINISTERO DELLA CULTURA - MUSEO NAZIONALE ROMANO ROMA – TERME DI DIOCLEZIANO – GRANDI AULE

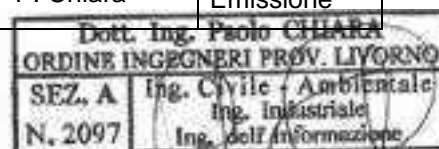
CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Indagine dinamica sulle catene dei Prospetti Interni delle Aule I e V

DETERMINAZIONE DELLO STATO TENSIONALE DELLE CATENE MEDIANTE ANALISI DELLA FUNZIONE DI RISPOSTA IN FREQUENZA (FRF)

Ns. Rif.: CO-049_22_archi_Museo Nazionale Romano

REV	DATA	REDAZIONE	REVISIONE	APPROVAZIONE	DESCRIZIONE
1					
2					
0	09/2022	E. Lorenzini -N. Ardito	A. Morelli	P. Chiara	Emissione



SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l.

Via A. Nicolodi 48 - 57121 Livorno
Tel. +39 0586 426710 www.soing.eu
soing@soing.eu
P.IVA 01453530493



INDICE

1.	GENERALITÀ	1
2.	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ	1
3.	PERSONALE E STRUMENTAZIONE	4
4.	METODOLOGIA DI PROVA	4
5.	ELABORAZIONE DATI E RISULTATI	6
5.1	Elaborazione dati	6
5.2	Presentazione dei risultati.....	7
5.2.1	Tir1_A – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162	8
5.2.2	Tir1_B – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162	9
5.2.3	Tir1_C – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162	10
5.2.4	Tir3_A – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162.....	10
5.2.5	Tir3_B – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162.....	11
5.2.6	Tir3_C – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162	12
6.	ALLEGATI GRAFICI – RISULTATI SPERIMENTALI: TENSIONE DELLE CATENE.	13

1. GENERALITÀ

La Scrivente SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l., nell'ambito della campagna di indagini diagnostiche strumentali di prima fase per le Strutture delle Grandi Aule delle Terme di Diocleziano a Roma, funzionale alla successiva effettuazione delle verifiche sismiche adottando un livello di conoscenza pari a LC2, ha eseguito un'analisi strumentale non invasiva con tecniche di identificazione strutturale. L'analisi condotta è basata su prove sperimentali di tipo dinamico e ha avuto lo scopo di determinare lo stato tensionale sulle catene dei Prospetti Interni delle Aule I e V.

Le indagini sono state eseguite il 14 settembre 2022.

Il presente documento contiene una descrizione sintetica delle attività eseguite, delle metodologie geofisiche utilizzate, delle attrezzature utilizzate e una relazione dei risultati ottenuti.

2. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ

Le catene oggetto di indagine, inserite negli anni '80 del secolo scorso, intersecano le tamponature murarie presenti all'interno c.

La determinazione dello stato tensionale delle catene è stata realizzata impiegando una tecnica di identificazione dinamica basata sull'analisi della risposta in frequenza – FRF – delle catene in seguito ad eccitazione meccanica di tipo impulsivo.

Le specifiche attività per lo svolgimento delle indagini in oggetto sono state le seguenti:

- identificazione delle strutture da indagare;
- preparazione delle aree di prova;
- preparazione dell'attrezzatura;
- effettuazione delle prove;
- redazione della relazione tecnica.

In ciascun tratto libero delle catene degli archi dei prospetti interni delle Aule I e V, le prove dinamiche per la determinazione del tiro sono state eseguite impiegando no. 3 accelerometri in modalità sincrona, disposti in mezzeria e ai quarti di ciascun tratto libero indagato. Tale modalità di acquisizione sincrona dei dati con tre accelerometri, ha lo scopo, oltre alla stima del tiro cui sono sottoposte le catene, quello di consentire al Progettista incaricato delle verifiche sismiche, attraverso la fornitura e messa a disposizione delle storie temporali di accelerazione acquisite, di appurare la continuità del tirante all'interno della muratura.

Contestualmente alle prove dinamiche è stato eseguito il rilievo geometrico degli spezzoni liberi di catena (diametro e sezione trasversale) indagati. Quello delle piastre di ancoraggio e dei capochiave inseriti a scomparsa nella muratura, è stato eseguito, come richiesto, solo dell'Aula I. I risultati dei rilievi con metodologia georadar (o GPR, Ground Penetrating Radar) sono stati riassunti in un Allegato Grafico dedicato.

Come anticipato in precedenza, insieme alla presente Relazione comprensiva degli Allegati grafici, saranno forniti a mezzo file digitali, le serie temporali dei segnali accelerometrici per ogni acquisizione realizzata, in formato File Testo (*.txt).

Le due catene oggetto d'indagine, la cui localizzazione all'interno delle Complesso delle Terme di Diocleziano è fornita nello schema planimetrico della figura seguente, sono costituite, sia nel caso di quella indagata in Aula V sia in quello di Aula I, da tre Tratti liberi. Sono presenti dei manicotti di giunzione lungo le tratte, le cui caratteristiche dimensionali e la loro posizione sono indicati nelle Tavole 2, 4, 6, 8, 10 e 12 dell'Allegato Grafico (successivo Cap.§6). y

I tratti liberi nella Catena in Aula V sono caratterizzati da barre ad aderenza migliorata, rispettivamente di dimensioni:

- Tratto TR 1_A di 4.7 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 35,8mm, minima di 32mm e media di 33,9mm.
- Tratto TR 1_B di 3.42 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 36,2mm, minima di 32mm e media di 34,1mm.
- Tratto TR 1_C di 3.64 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 36,4mm, minima di 32mm e media di 34,2mm.

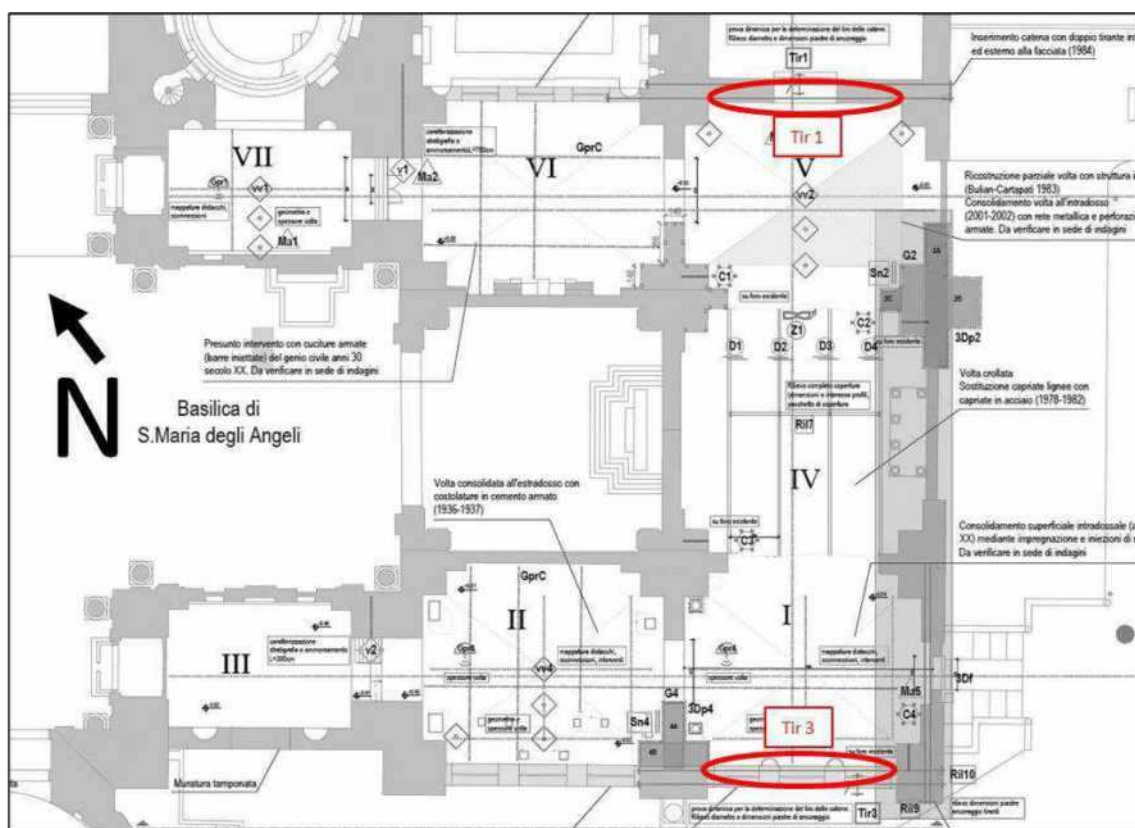
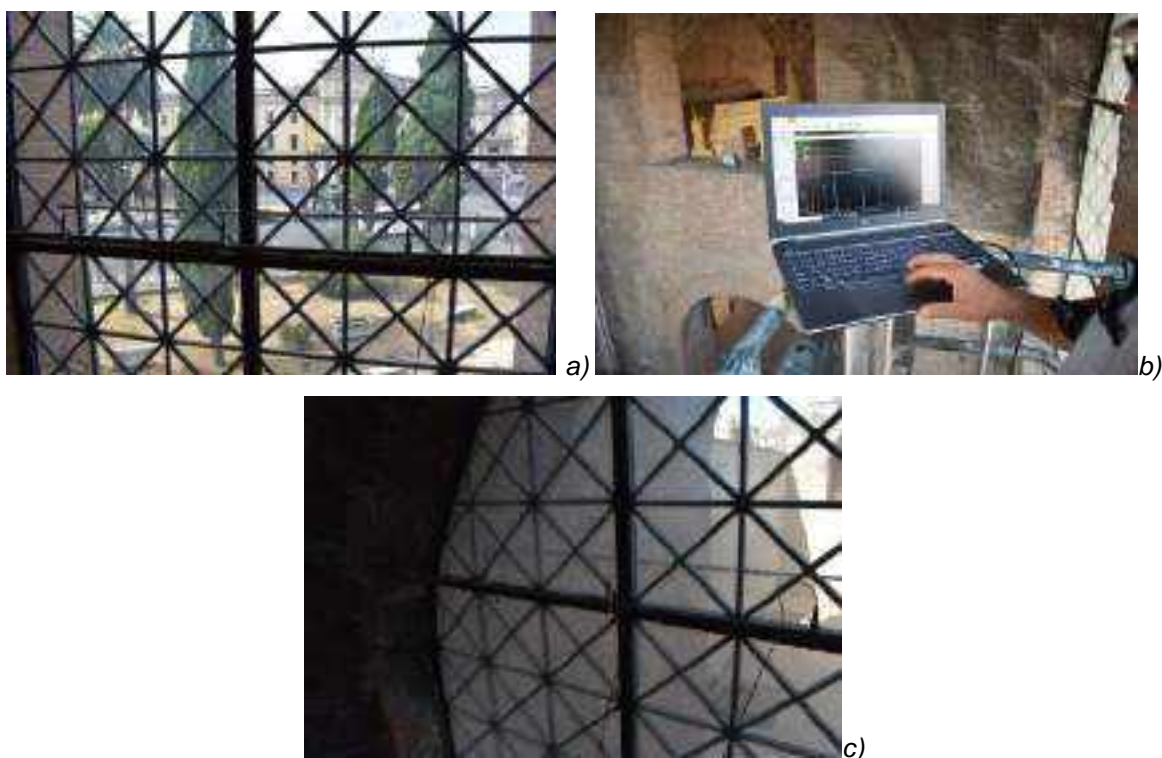


Fig. 1: Schema Planimetrico (non in scala) con indicazione delle posizioni delle catene Tir 1 e Tir 3 indagate con metodo dinamico.

I tratti liberi nella Catena in Aula I sono caratterizzati da barre ad aderenza migliorata, rispettivamente di dimensioni:

- Tratto TR 3_A di 3.41 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 36,6mm, minima di 32mm e media di 34,3mm.
- Tratto TR 3_B di 3.33 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 36,6mm, minima di 32mm e media di 34,3mm.
- Tratto TR 3_C di 3.55 m di lunghezza (L) a sezione circolare massima di 36,6mm, minima di 32mm e media di 34,3mm.

Nelle foto seguenti, sono rappresentati momenti delle acquisizioni dati sulle catene indagate.



Figg.2 a-b-c: esempi di acquisizione dati sincrone con no 3 accelerometri sulle catene strutturali degli archi dei prospetti delle Aule V e I alle Terme Diocleziano.

3. PERSONALE E STRUMENTAZIONE

La prova è stata effettuata da una squadra operativa di n° 2 Tecnici specializzati della SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.

Le indagini sono state eseguite impiegando dei sensori accelerometrici MMF (Germania) ad elevata sensibilità in rapporto con la massa interna, del tipo KS48C, a basso rumore.



Fig.: 3 Tipologia di accelerometri impiegati

I sensori sono stati accoppiati alle catene di sezione circolare mediante una sistema di fissaggio con super magnete.

Gli accelerometri sono stati collegati ad un modulo di condizionamento MSI BR ACC - BNC 1,5Hz e quindi ad un acquisitore dinamico DaTa 500 (DRC Italia) a 8 canali interfacciato ad un PC di controllo mediante un software dedicato "DeweSoftX3" a 64 bit (Slovenia), con funzione di datalogger, analisi in dominio di tempo e analisi di spettro in frequenza mediante trasformata di Fourier "FFT" (Fast Fourier Transform) ovvero secondo un algoritmo più performante, STFT - Short Term Fourier Transform, che consente una più veloce trasformazione nel dominio della frequenza dei segnali acquisiti.

4. METODOLOGIA DI PROVA

Gli accelerometri, come indicato in precedenza, sono stati posti, rispetto alla lunghezza libera di ciascun tratto (indicata con L), ai quarti (L/4) e in mezzzeria L/2.

Nella figura successiva è riportato lo schema sintetico di installazione dei tre accelerometri su ciascun spezzone libero di catena oggetto delle misure:

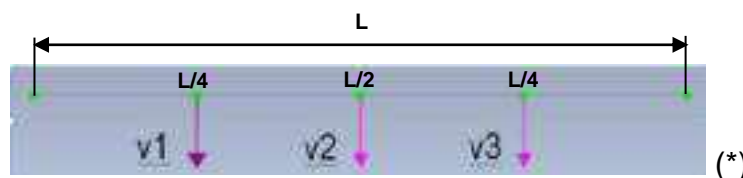


Fig.4: Schema raffigurante la posizione dei 3 accelerometri su spezzone libero di catena per l'acquisizione sincrona dei dati (* come richiesto nel capitolato prestazionale).

Per i 6 spezzoni liberi delle due catene degli archi dei prospetti interni delle Aule V e I, rispettivamente indicati nelle prove con la nomenclatura Tir 1_A - Aula V, Tir 1_B - Aula V, Tir 1_C - Aula V, e Tir 3_A - Aula I, Tir 3_B - Aula I, Tir 3_C - Aula I, sono state registrate le sollecitazioni polarizzate secondo la verticale, in quanto la sollecitazione secondo la direzione orizzontale, nei test preliminari effettuati, ha sempre mostrato uno spettro in frequenza identico alla acquisizione verticale.

Le dimensioni delle sezioni delle catene sono state misurate con calibro digitale a cursore, mentre le distanze del punto di prova dagli appoggi e le luci libere sono state rilevate con distanziometro laser Leica Disto D510.

Per ciascuna prova le diverse acquisizioni effettuate sono state controllate direttamente in campo sfruttando, attraverso la funzione STFT, la coerenza e leggibilità dei dati e registrando i segnali integrali tempo-accelerazione.

Le caratteristiche delle acquisizioni sono state le seguenti:

- intervallo di campionamento: 0,5 ms (2000 campioni/s);
- finestra di acquisizione variabile per ciascuna energizzazione e comunque compresa almeno pari 20s, compreso pre-trigger.

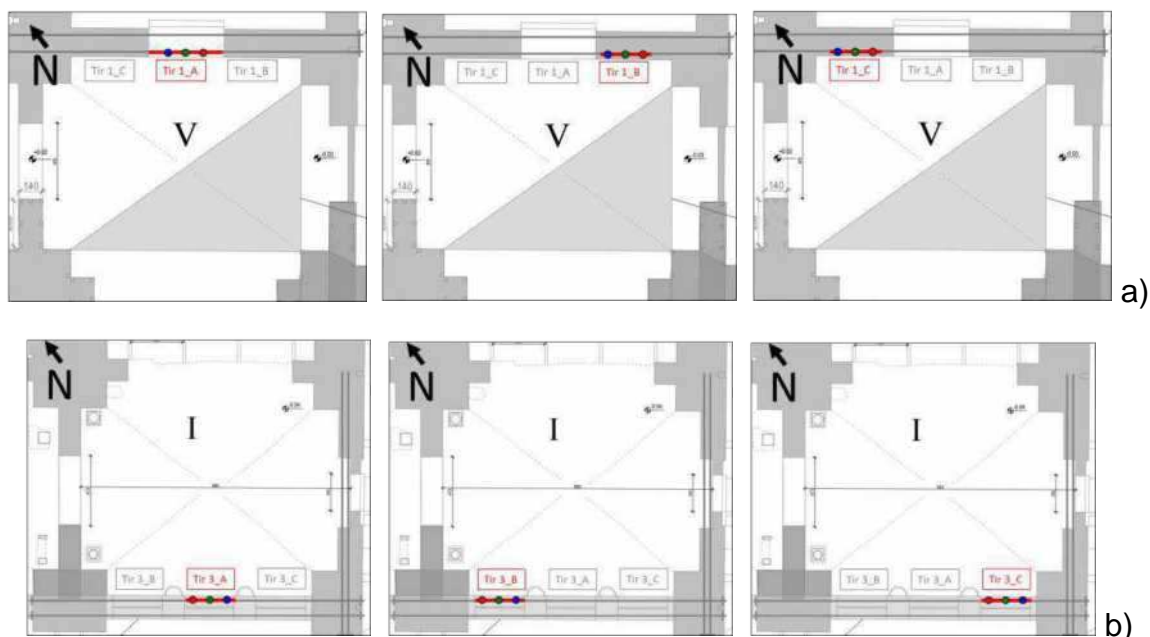
Il metodo adottato consente di determinare il carico assiale tramite la misura delle frequenze naturali. Tuttavia l'applicazione del metodo non è sempre immediata a causa delle incertezze legate alle condizioni di vincolo murario delle catene e non sono note, al momento, le condizioni "di appoggio" o "di incastro" e, anche in queste ultime condizioni, non si conoscerebbe in ogni caso la lunghezza d'incastro.

Nel presente studio per identificare in situ la forza di tensione, si è assunto pertanto, per ciascun tratto libero delle catene presenti, che le caratteristiche geometriche siano costanti, che la rigidità flessionale sia trascurabile ovvero che la catena possa essere assimilata ad una fune flessibile (sfruttando il principio della corda vibrante), che i vincoli siano assimilabili ad una possibile doppia configurazione, o di doppio incastro (sottostima del tiro) o di doppio appoggio (sovrastima del tiro). Tali assunzioni, nella maggior parte dei casi introducono incertezze ed approssimazioni del tiro pari a $\pm 10-15\%$.

I tre accelerometri impiegati nelle Prove sincrone sono contraddistinti dai seguenti numeri di serie:

- sensore no. 18034
- sensore no. 21162
- sensore no. 21164

Le prove sui Tratti liberi delle catene per ciascuna aula sono individuabili con le seguenti sigle rispettivamente: Prova Tir-1_A, Tir-1_B, Tir-1_C, in Aula V; Prova Tir-3_A, Tir-3_B, Tir-3_C, in Aula I come nel seguito:



Figg.5 a e b: Schema raffigurante la posizione dei 3 tratti liberi di catena e la nomenclatura dell'indagine specifica per ciascun tratto indagato rispettivamente in Aula V e Aula I.

Nelle Tavole Grafiche sono reperibili tutte le informazioni sulle geometrie delle posizioni reciproche ai $\frac{1}{4}$ e in mezzeria $\frac{1}{2}$ per ciascuno dei tre accelerometri nelle diverse indagini sugli spezzoni liberi delle catene indagate, così come le informazioni sulle presenze di manicotti di giunzione, loro dimensioni e posizioni. Questo consente di valutare tutte le condizioni geometriche di prova nell'utilizzo dei dati "grezzi" relativi alle serie temporali dei segnali accelerometrici forniti.

5. ELABORAZIONE DATI E RISULTATI

5.1 Elaborazione dati

I singoli segnali, acquisiti nel dominio del tempo, sono stati sottoposti ad un "tapering" ("finestratura") applicato su tutti i campioni della traccia significativa e quindi sono stati sottoposti ad elaborazione mediante la funzione STFT, citata in precedenza.

Le risposte in frequenza ottenute sono state calcolate impiegando un procedimento che si basa sul comportamento della vibrazione libera della catena secondo il principio della corda vibrante; la frequenza principale di vibrazione della catena e le sue armoniche sono cioè rappresentabili su una retta.

Gli spettri finali riportati nelle singole Tavole del successivo Capitolo § 6 relativo ai risultati ottenuti, hanno consentito il calcolo dei valori di tiro a partire dai valori di frequenza principale (o fondamentale) sperimentali ottenuti, usufruendo della formula semplificata seguente,

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \quad \text{da cui} \quad S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

dove :

- f_n = la frequenza principale
- n = modo proprio di riferimento (principale =1, 2^a armonica= 2, ... etc)
- g = valore della accelerazione di gravità (9, 806 m/s²)
- L = lunghezza libera della catena
- S = tensione della catena
- p =peso per unità di lunghezza (densità lineica, kg/m)

(Thomson W.T. and Dahlem M.D.: Theory of Vibration with applications, N.J: Prentice Hall, 1997).

Nella formula semplificata adottata, la condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio, 2007).

Si è assunto inoltre un valore medio di densità lineica estratta, secondo valori calcolati su acciai di diversa composizione e età, rispetto al valore medio di Densità pari a 7.750 kg/m³.

Per la congruenza del dato sono stati identificati graficamente, analizzati e presi in esame i valori di frequenza corrispondenti alla principale e, se possibile, generalmente almeno alle prime quattro o cinque armoniche dell'elemento indagato.

5.2 Presentazione dei risultati

I risultati relativi alle indagini sono riassunti alla fine del presente paragrafo e sono rappresentati negli Allegati Grafici del capitolo successivo e sono costituiti da singole Tavole che illustrano gli elementi indagati, dove, per ciascuna prova, sono riportati:

- caratteristiche geometriche, di peso e densità acciaio,
- il segnale sperimentale in dominio di tempo, la sua trasformata nel dominio della frequenza con indicazione della frequenza di risonanza principale e le armoniche,
- indicazione dei valori della frequenza principale e delle armoniche rilevate,

- foto rappresentative dell'indagine insieme alla posizione dei 3 accelerometri resi solidali con la catena,
- la rappresentazione del grafico della retta di regressione, della sua equazione con espressione del coefficiente angolare equivalente alla frequenza di risonanza corretta e lo scarto quadratico medio (R^2 , ovvero la confidenza) del valore di regressione.
- Calcolo del Tiro a cui è sottoposta la catena indagata calcolati con la formula riportata nel precedente paragrafo; i valori Totali di tensione in fase di esercizio sono espressi sia in kgf, sia in kN.

I valori di conversione tra le unità di misura utilizzate nelle tabelle fornite nel prosieguo sono indicate di seguito:

$$1 \text{ [kgf]} = 9.80665 \text{ N} \sim 0.981 \text{ daN} \sim 0,01 \text{ kN}$$

$$1 \text{ [Pa]} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ [MPa]} = 100000 \text{ daN/m}^2$$

$$1 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} = 98066,5 \text{ [N/m}^2\text{]} = 0.0980665 \text{ [MPa]}$$

Di seguito si riassumono in tabelle i risultati ottenuti per le catene indagate.

5.2.1 Tir1_A – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Catena Tir 1_A_18034	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Catena Tir 1_A_21164	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Catena Tir 1_A_21162	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Tir_1_A media	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	
armonica	1	2	4	

Tabella 1.1: Tir 1_A - Aula V

Catena Tir_1_A:

Frequenza principale 18034 =8.79 Hz

Frequenza principale 21162 =8.79 Hz

Frequenza principale 21164 =8.79 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

4335.47 kgf = 42.516 kN

Tabella 1.2: Tir 1_A - Aula V

5.2.2 Tir1_B – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 5	posizione accelerometro
Tit_1_B_18034	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_21164	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_21162	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_media	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	
armonica	1	2	5	

Tabella 2.1: Tir 1_B - Aula V

Catena Tir_1_B:

Frequenza principale 18034 =13.31 Hz

Frequenza principale 21162 = 13.31 Hz

Frequenza principale 21164 = 13.31 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

5263.45 kgf = 51.617 kN

Tabella 2.2: Tir 1_B - Aula V

5.2.3 Tir1_C – Aula V – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 3	armonica 5	posizione accelerometro
Tit_1_C_18034	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_21164	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_21162	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_media	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	
armonica	1	3	5	

Tabella 3.1: Tir 1_C - Aula V

Catena Tir_1_C:

Frequenza principale 18034 =11.84 Hz

Frequenza principale 21162 =11.84 Hz

Frequenza principale 21164 = 11.84 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

4718.11 kgf = 46.269 kN

Tabella 3.2: Tir 1_C - Aula V

5.2.4 Tir3_A – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 3	posizione accelerometro
Catena Tir 3_A_18034	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Catena Tir 3_A_21164	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Catena Tir 3_A_21162	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Tir_3_A media	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	
armonica	1	2	3	

Tabella 4.1: Tir 3_A - Aula I

Catena Tir_3_A:

Frequenza principale 18034 = 19.65 Hz

Frequenza principale 21162 = 19.65 Hz

Frequenza principale 21164 = 19.65 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

11405.02 kgf = 111.845 kN

Tabella 4.2: Tir_3_A - Aula I

5.2.5 Tir3_B – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Tit_3_B_18034	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_21164	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_21162	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_media	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	
armonica	1	2	4	

Tabella 5.1: Tir_3_B - Aula I

Catena Tir_3_B:

Frequenza principale 18034 = 21.97 Hz

Frequenza principale 21162 = 21.97 Hz

Frequenza principale 21164 = 21.97 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

13595.99 kgf = 133.331 kN

Tabella 5.2: Tir_3_B - Aula I

5.2.6 Tir3_C – Aula I – accelerometri 18034-21164-21162

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Tit_3_C_18034	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_21164	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_21162	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_media	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	
armonica	1	2	4	

Tabella 6.1: Tir 3_C - Aula I

Catena Tir_3_C:

Frequenza principale 18034 = 20.26 Hz

Frequenza principale 21162 = 20.26 Hz

Frequenza principale 21164 = 20.26 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

13140.08 kgf = 128.860 kN

Tabella 6.2: Tir 3_C - Aula I

6. ALLEGATI GRAFICI – RISULTATI SPERIMENTALI: TENSIONE DELLE CATENE.

I risultati sperimentali sono consultabili nelle Tavole riassuntive di seguito riportate.

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

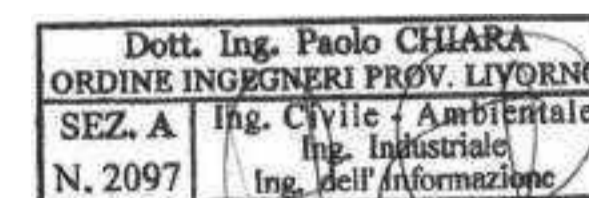
CIG: 9374109F73
CUP: F89D21000020001

Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

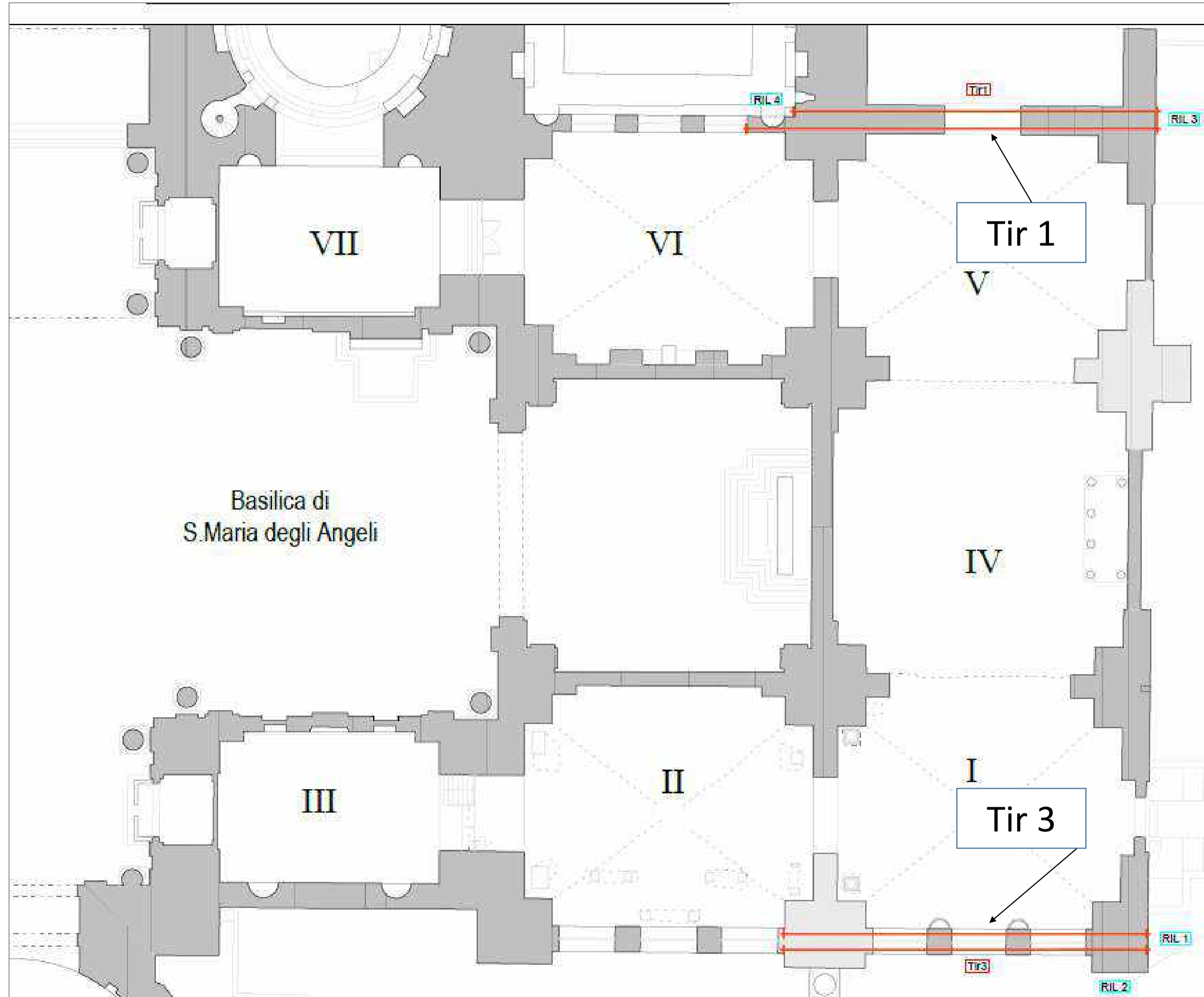


Redazione in data Ottobre 2022
Rif. Interno:CO:049_22

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



Ubicazione delle indagini dinamiche sulle catene delle Terme di Diocleziano, Roma



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

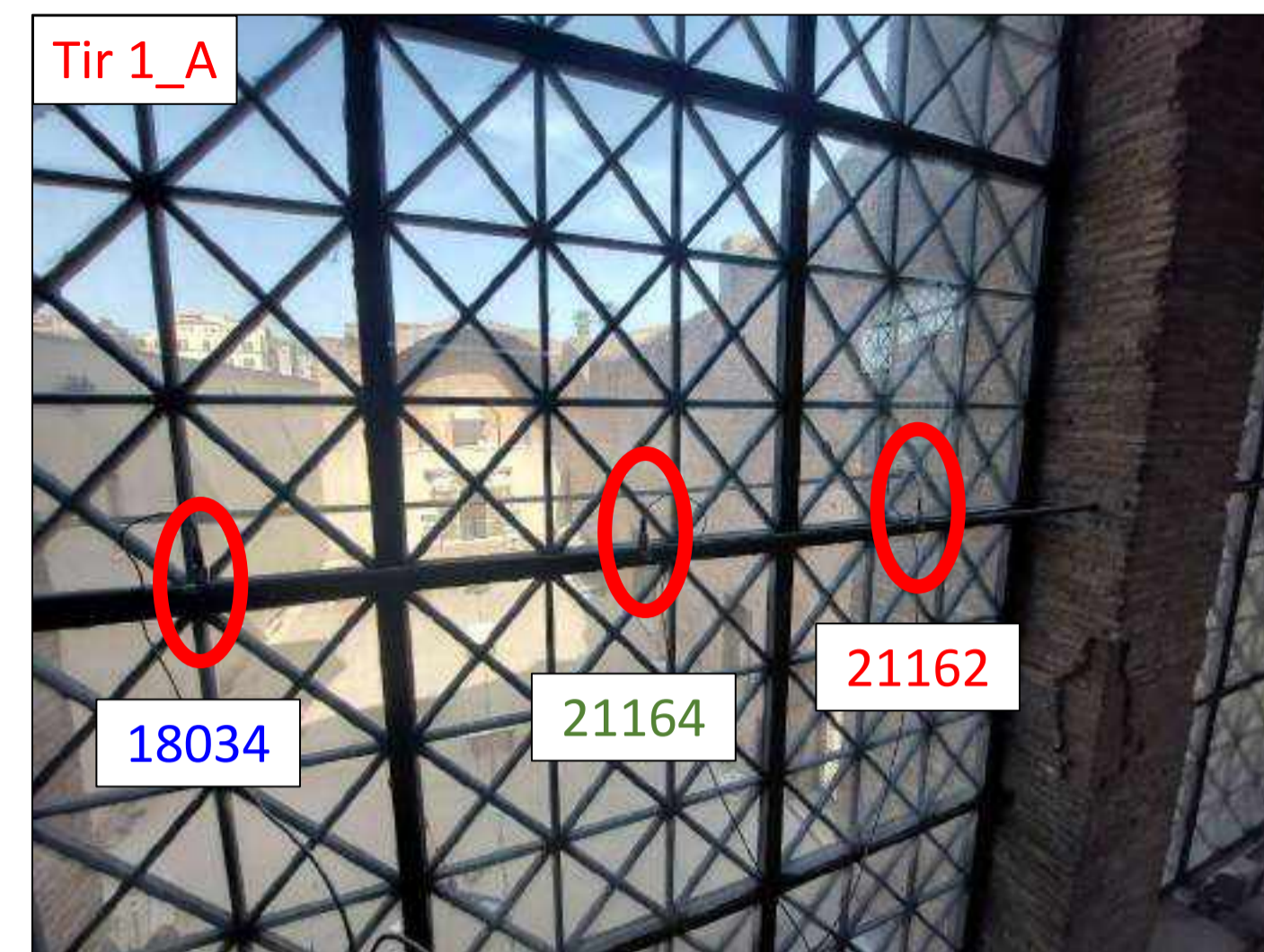
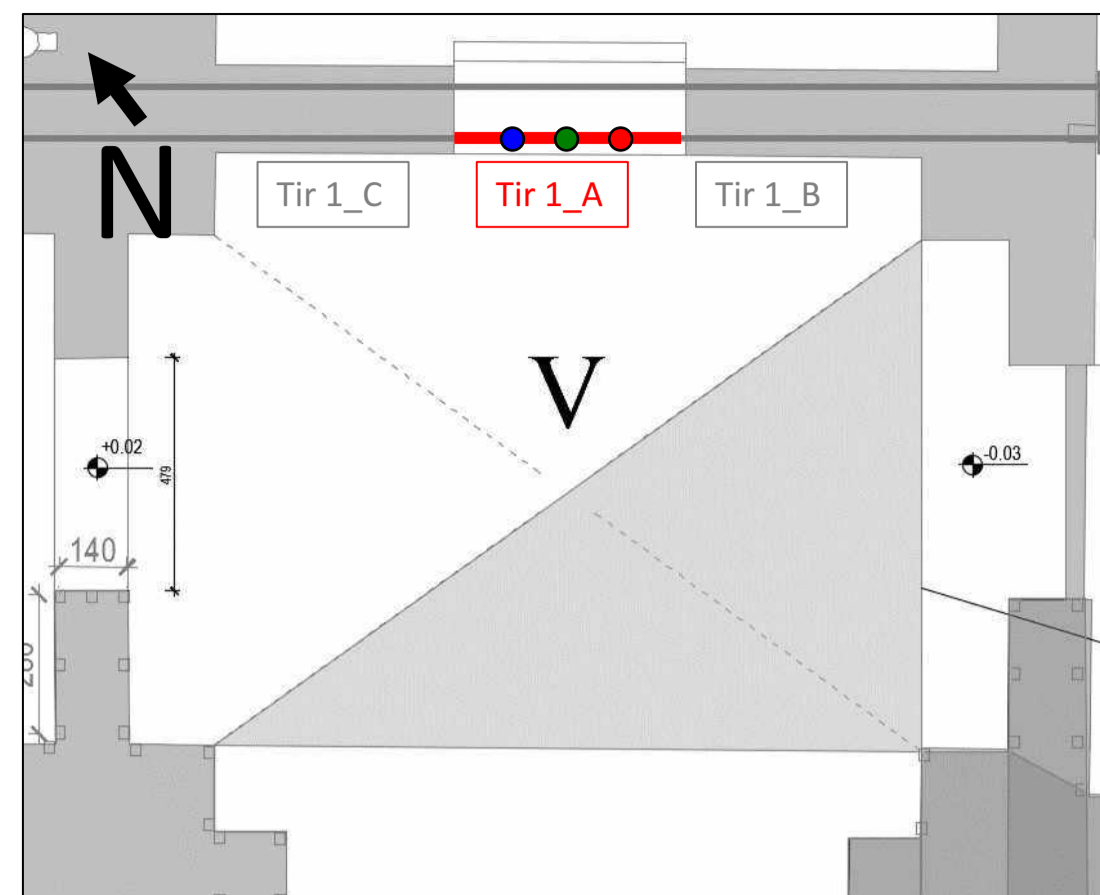
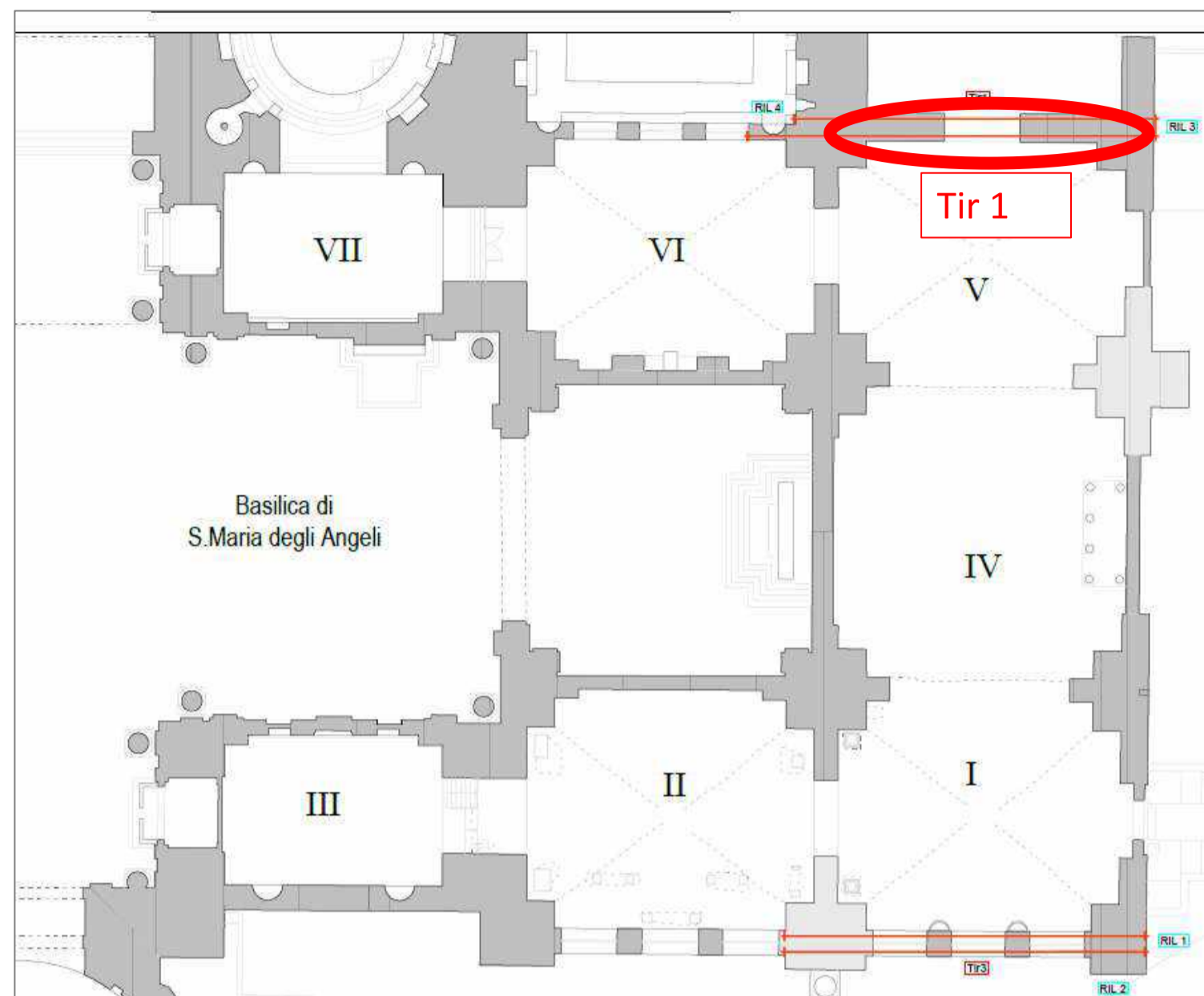
CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

PROGETTO **INDAGINI DIAGNOSTICHE**
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

1



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 4.7 m di lunghezza (L) a sezione circolare con:
 Φ max = 35.8 mm.
 Φ min = 32 mm.
 Φ medio = 33.9 mm.

Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (1.175 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 2.35 m dagli incastri).

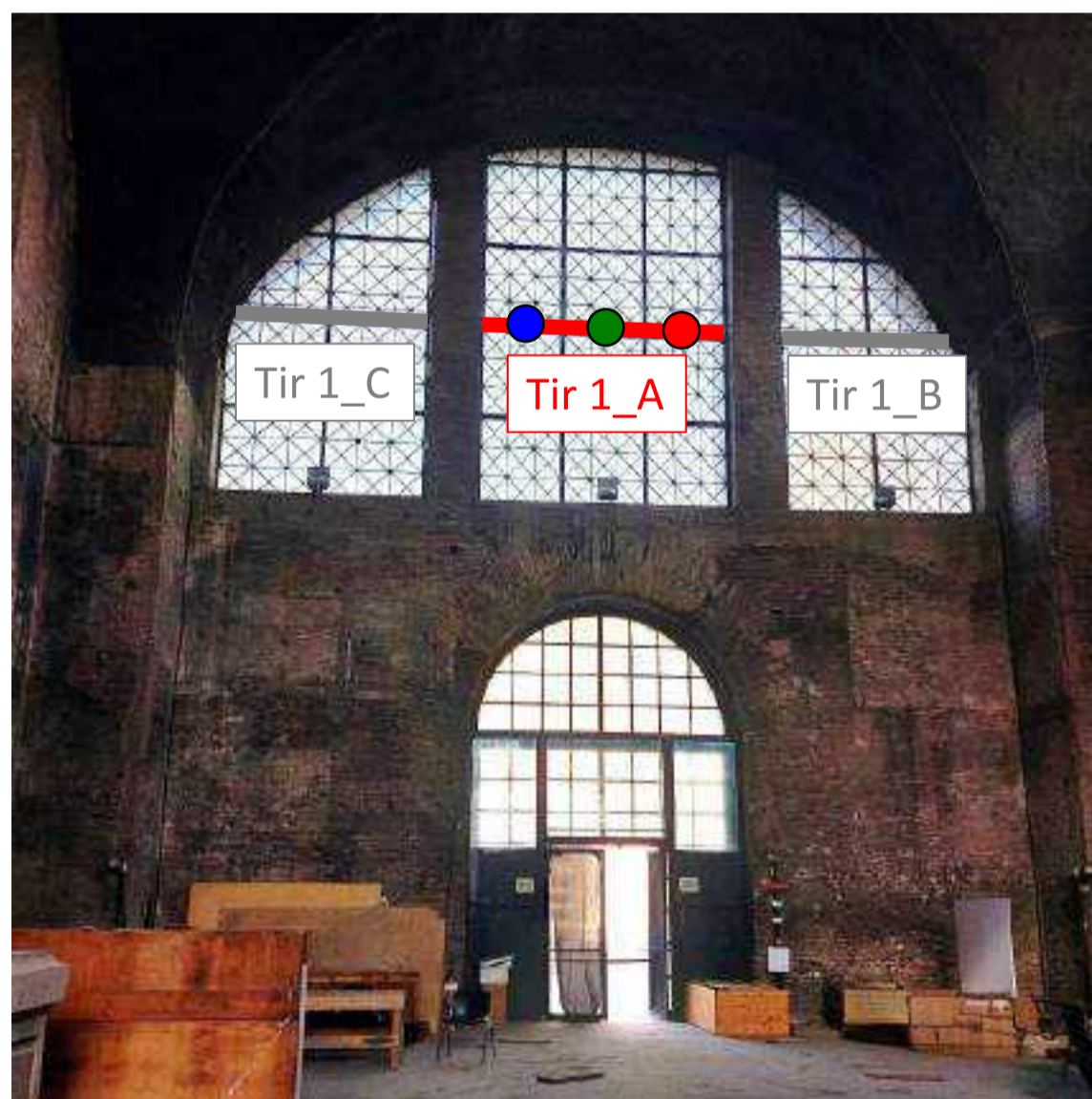
Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 61.6 mm a 0.65 m dall'incastro sinistro.

Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)

Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).

La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$



Tir_1_A					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	f _n	8.79 Hz
Lunghezza	4.7	m	2*luce catena	2L	9.4 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.003778	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	29.280	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	4335.47 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		42.516 kN

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

RIFERIMENTI INTERNI
 CO-049_22_archi

TAVOLA

2

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE

Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale



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

Catena Tir_1_A:

Frequenza principale 18034 = 8.79 Hz

Frequenza principale 21162 = 8.79 Hz

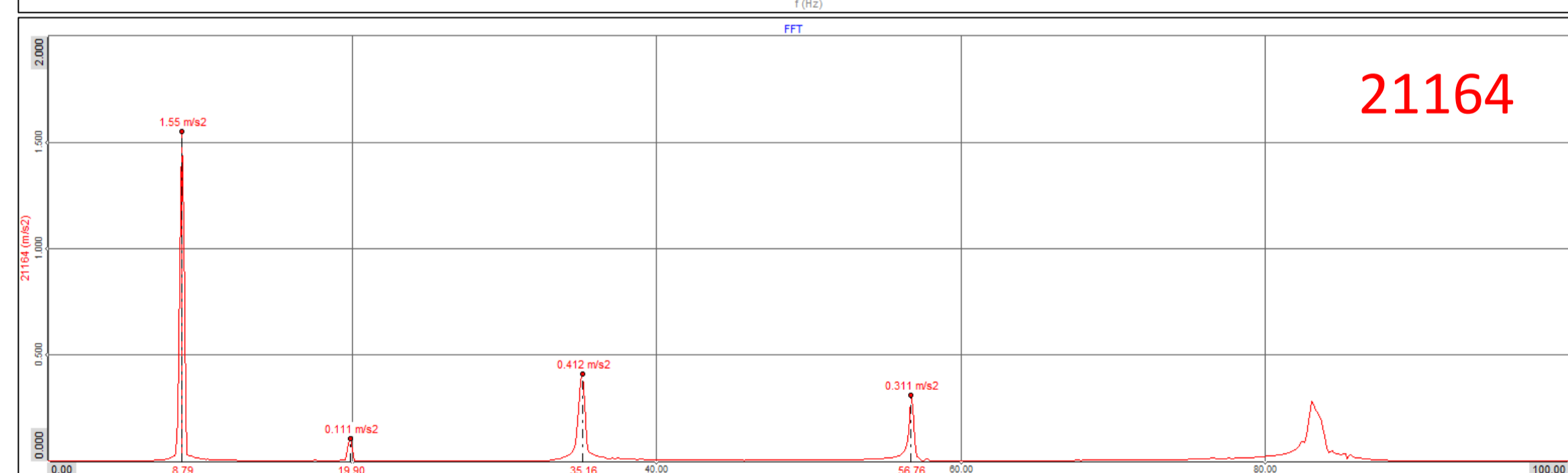
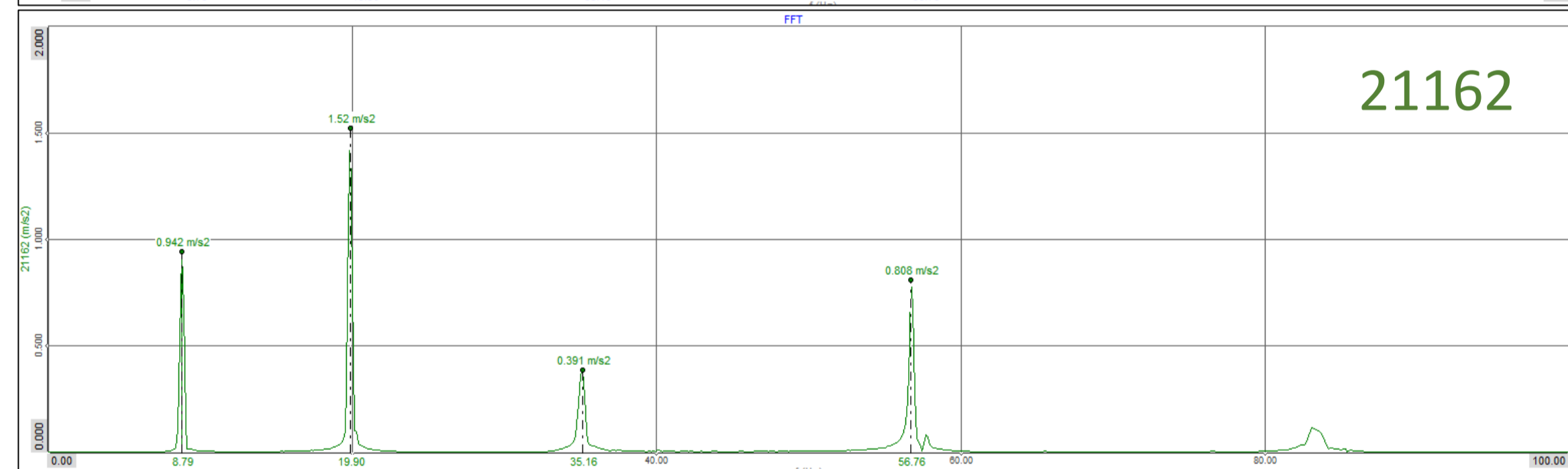
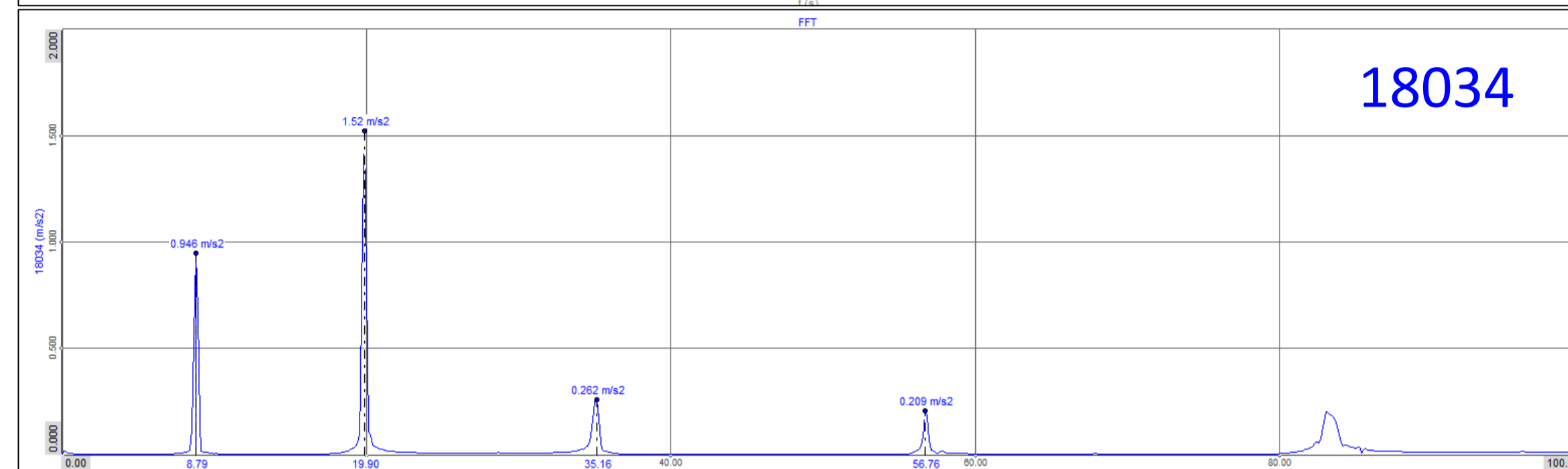
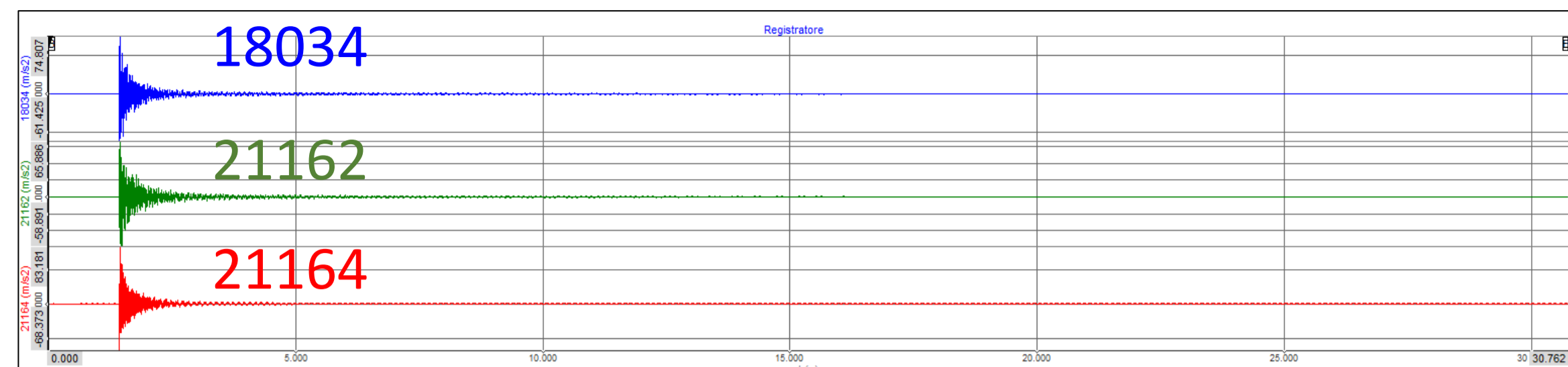
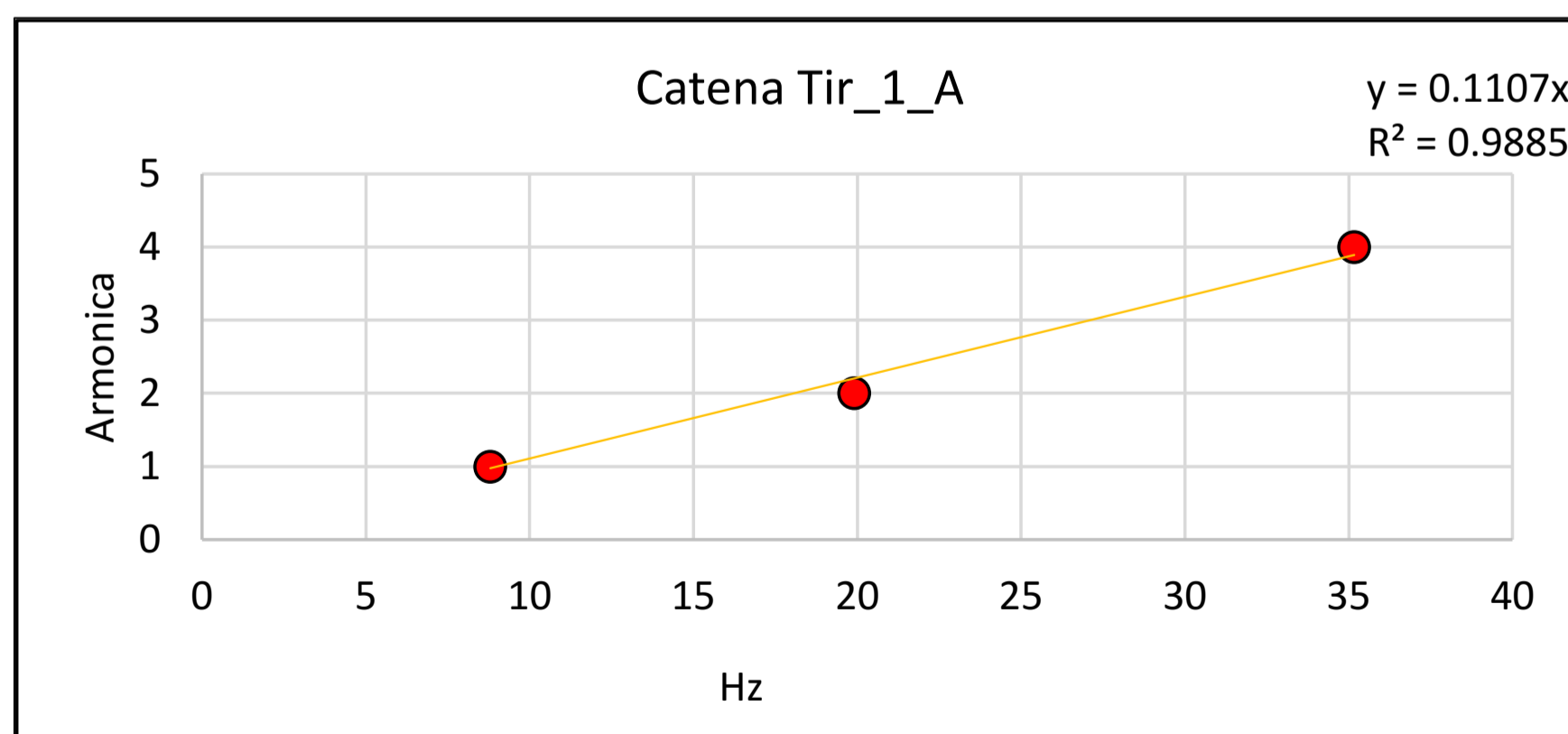
Frequenza principale 21164 = 8.79 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

4335.47 kgf = 42.516 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Catena Tir 1_A_18034	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Catena Tir 1_A_21164	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Catena Tir 1_A_21162	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	verticale
Tir_1_A media	8.79 Hz	19.9 Hz	35.16 Hz	
armonica	1	2	4	



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

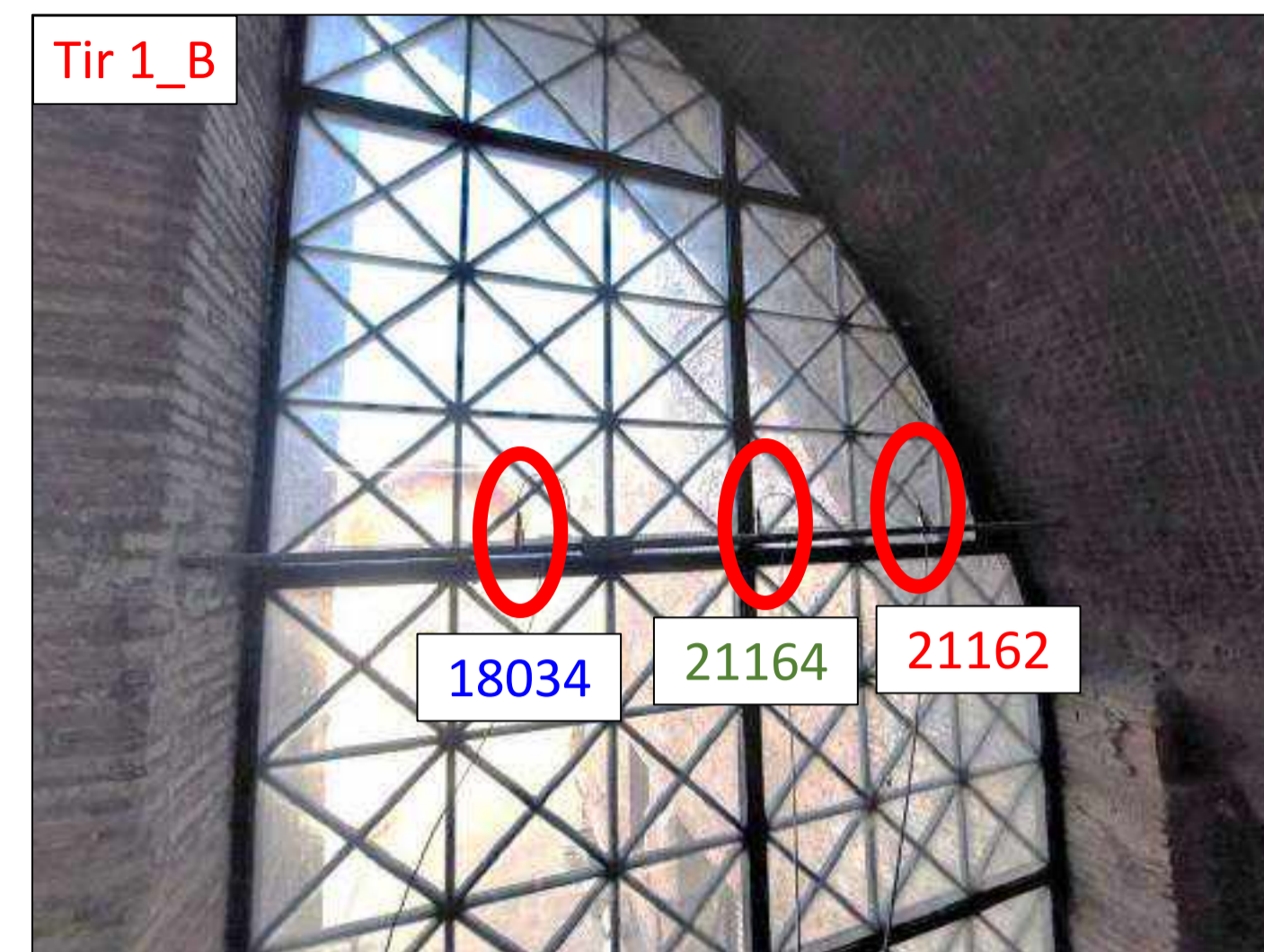
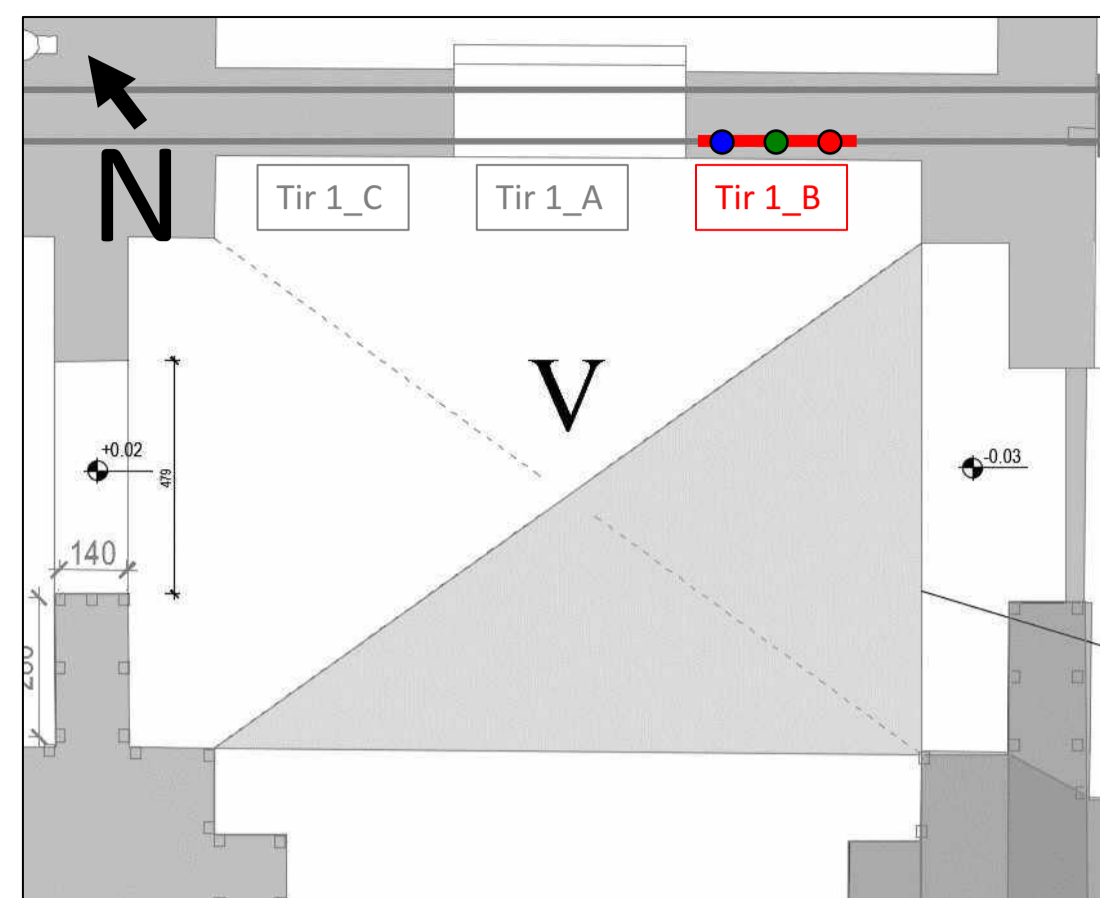
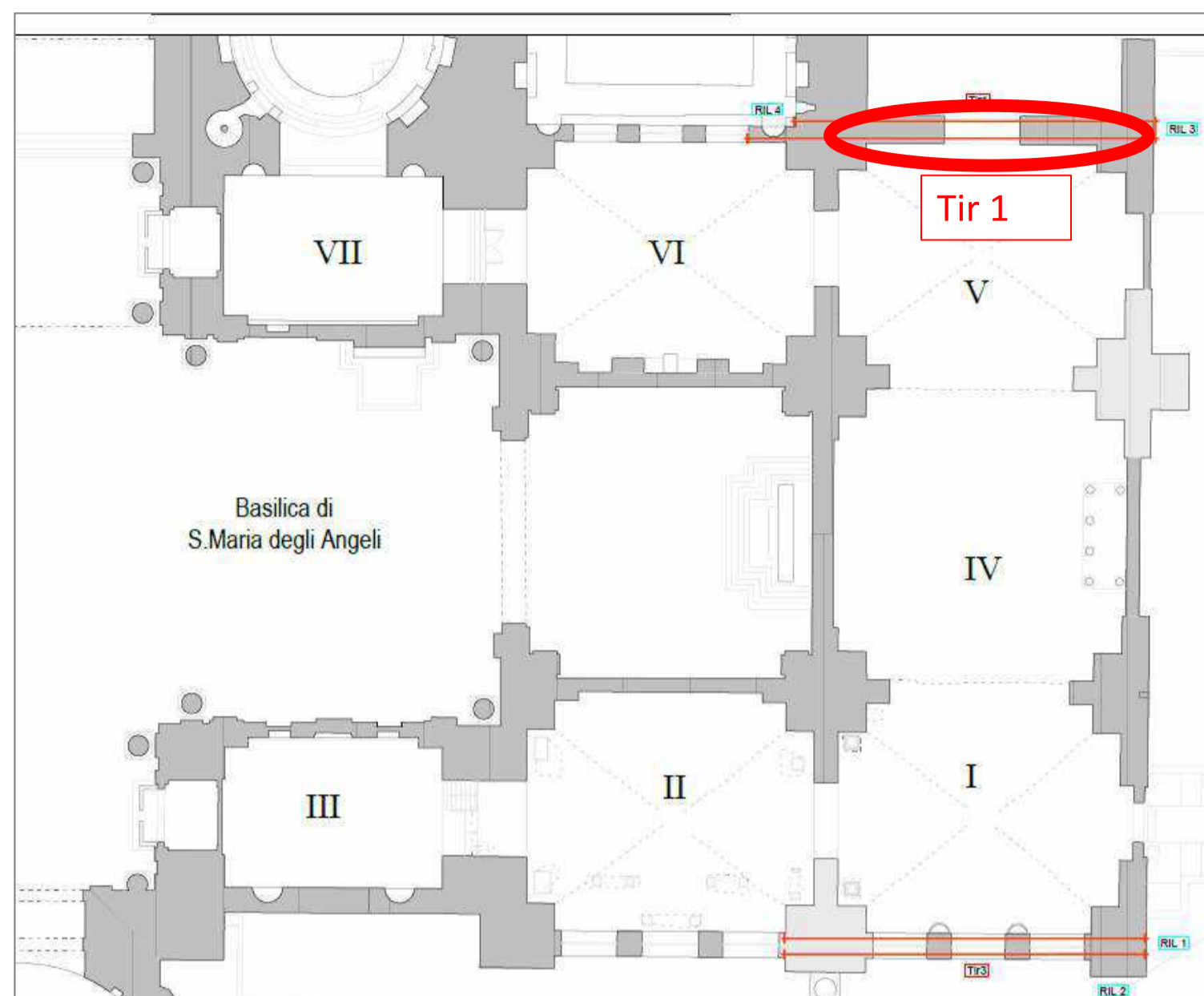
CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano Terme di Diocleziano - Grandi Aule

RIFERIMENTI INTERNI CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

3



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 3.42 m di lunghezza (L) a sezione circolare con:
 Φ max = 36.2 mm.
 Φ min = 32 mm.
 Φ medio = 34.1 mm.
 Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (0.855 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 1.71 m dagli incastri).
 Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 62.5 mm a 1.05 m dall'incastro sinistro.
 Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)
 Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).
 La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

Tir_1_B					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	fn	13.31 Hz
Lunghezza	3.42	m	2*luce catena	2L	6.84 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.002749	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	21.306	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	5263.45 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		51.617 kN



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

4

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

Catena Tir_1_B:

Frequenza principale 18034 = 13.31 Hz

Frequenza principale 21162 = 13.31 Hz

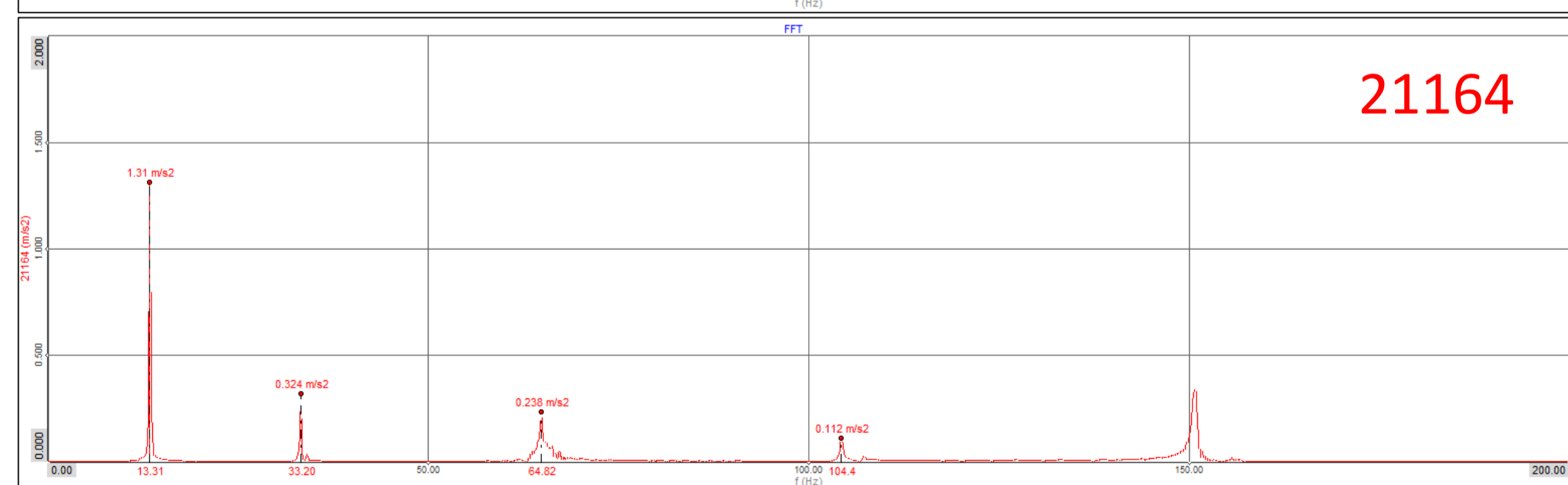
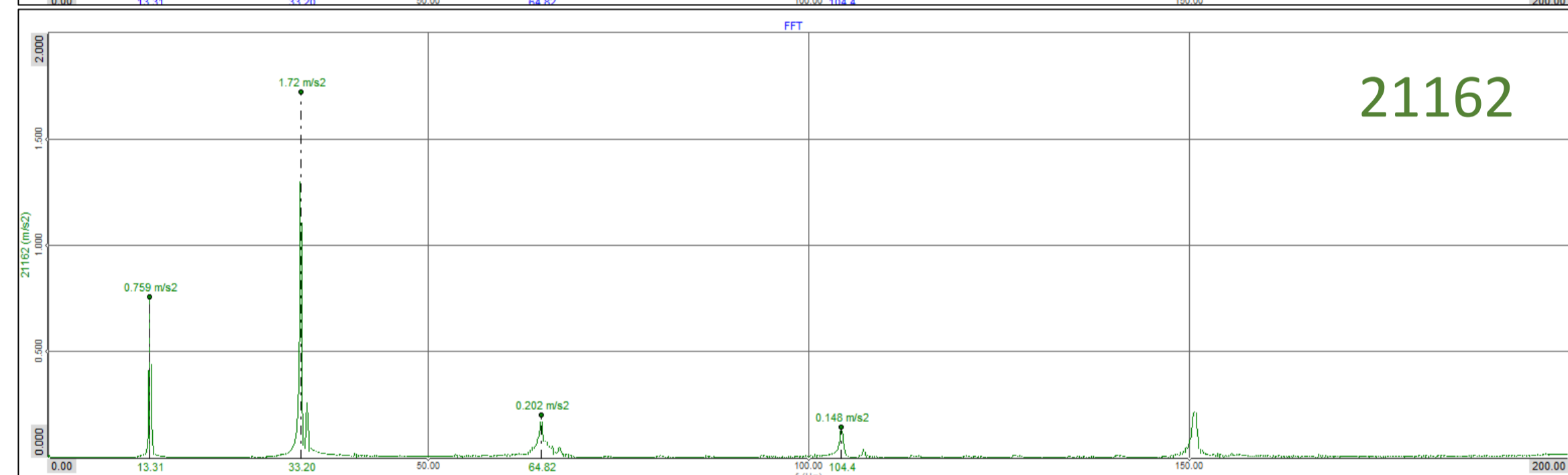
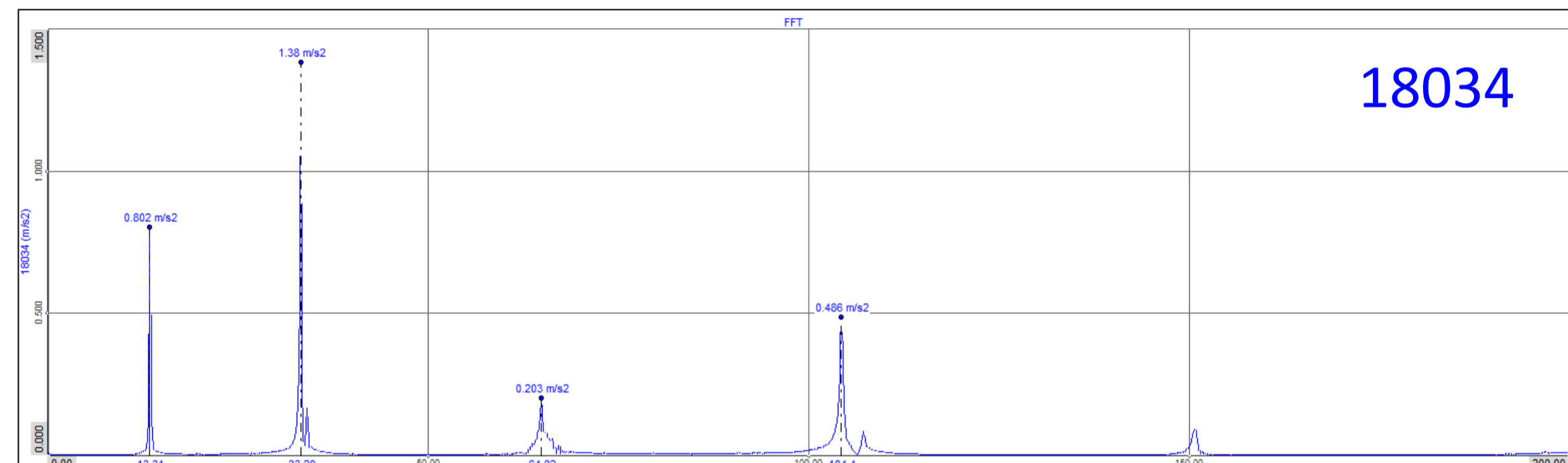
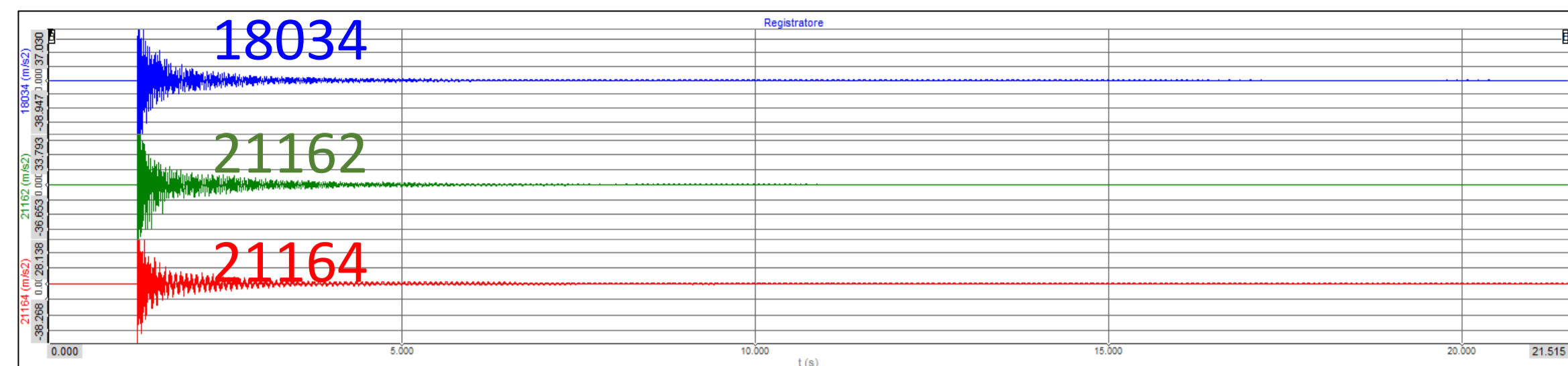
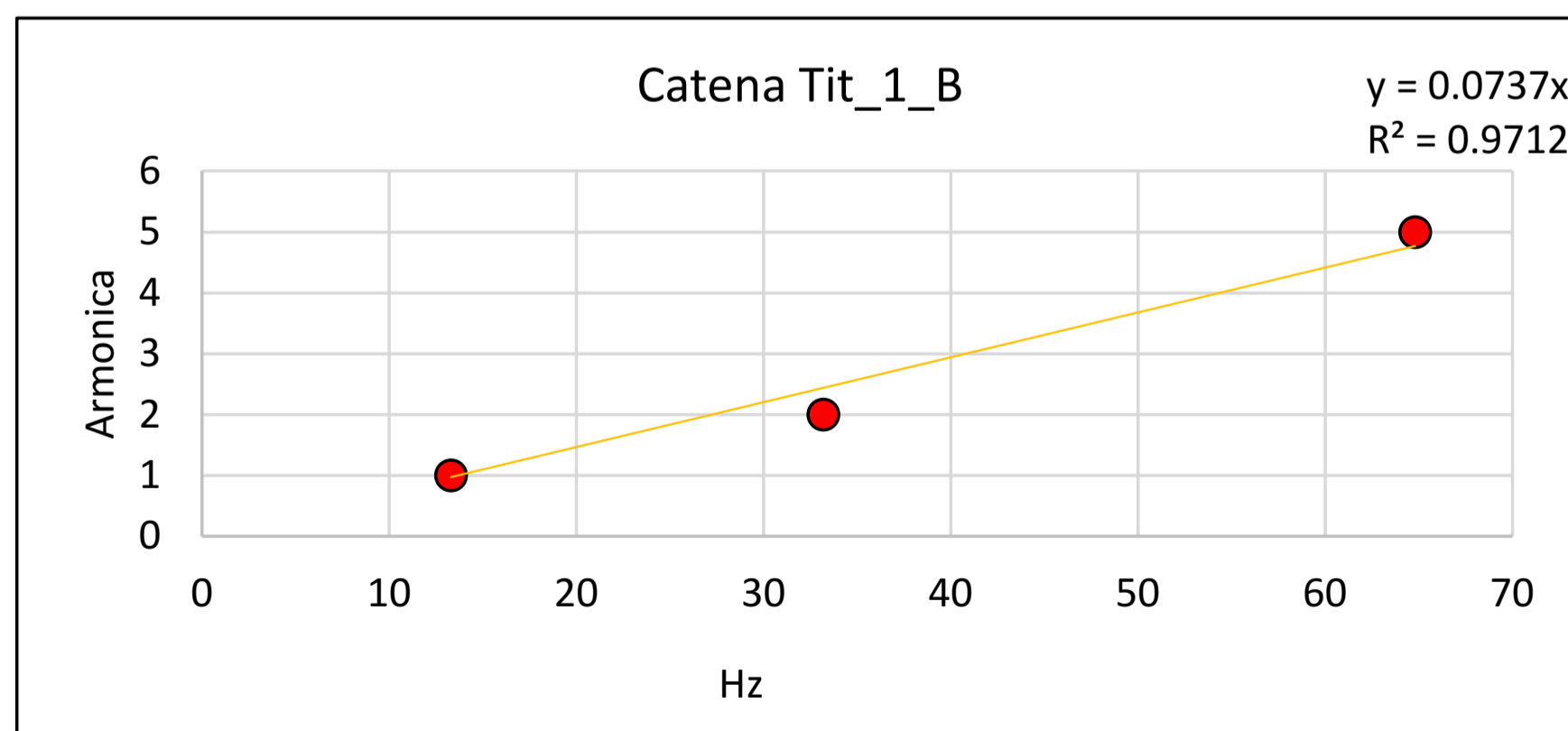
Frequenza principale 21164 = 13.31 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

5263.45 kgf = 51.617 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 5	posizione accelerometro
Tit_1_B_18034	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_21164	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_21162	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	verticale
Tit_1_B_media	13.31 Hz	33.2 Hz	64.82 Hz	
armonica	1	2	5	



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

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

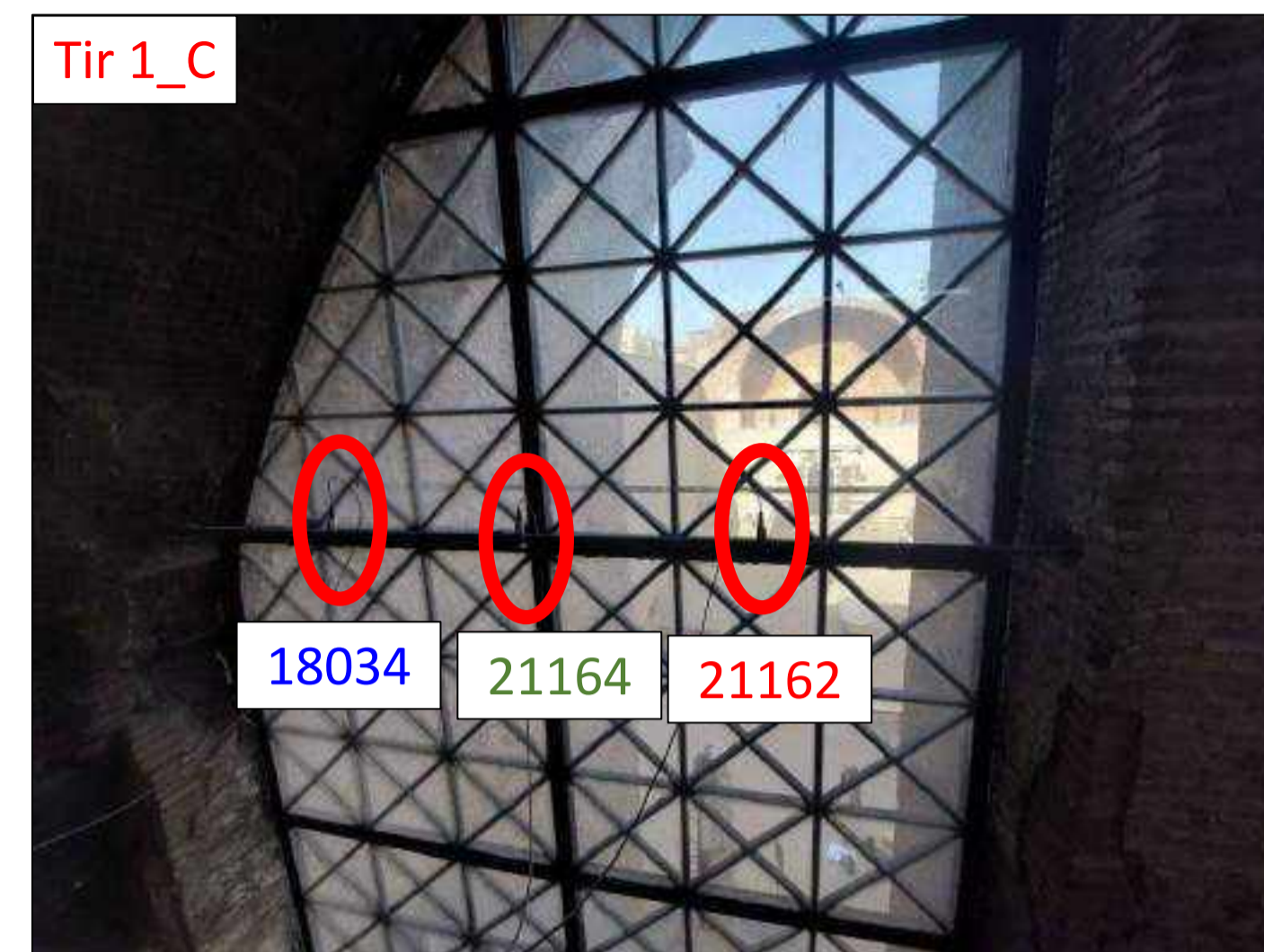
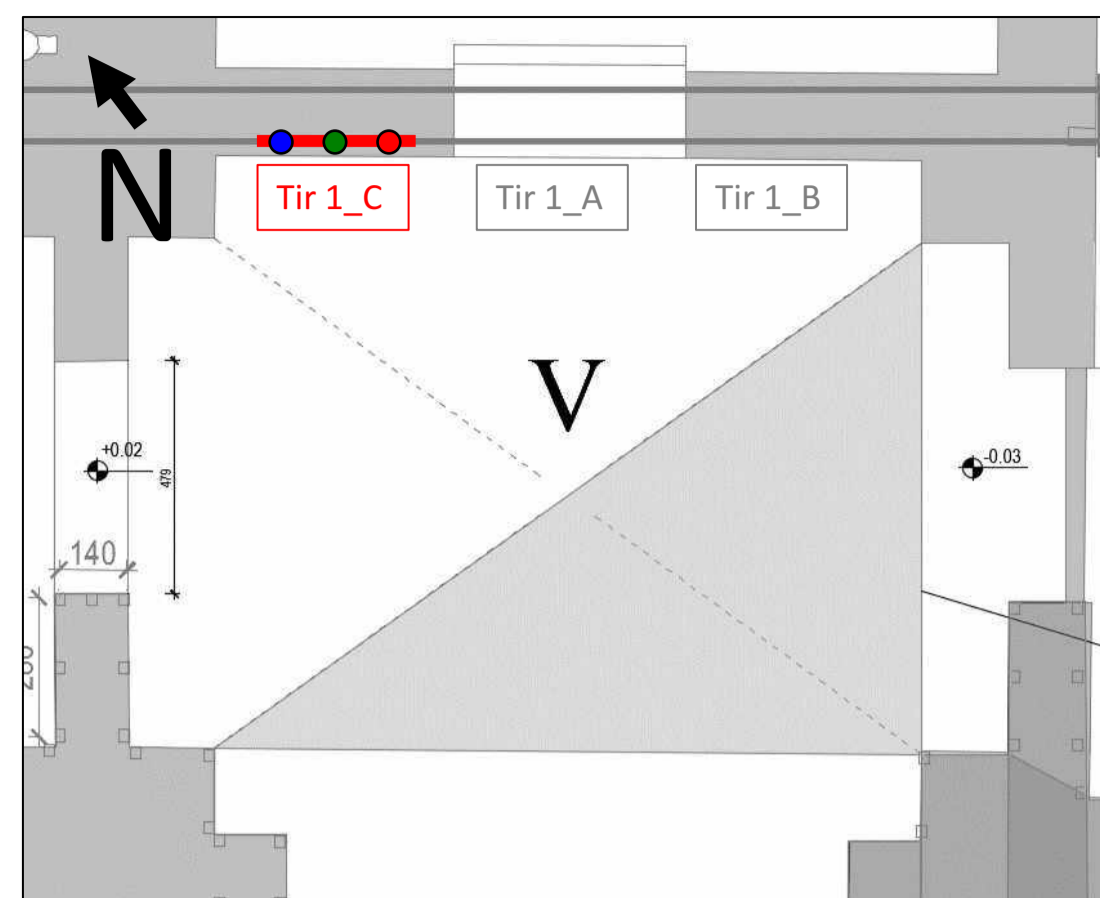
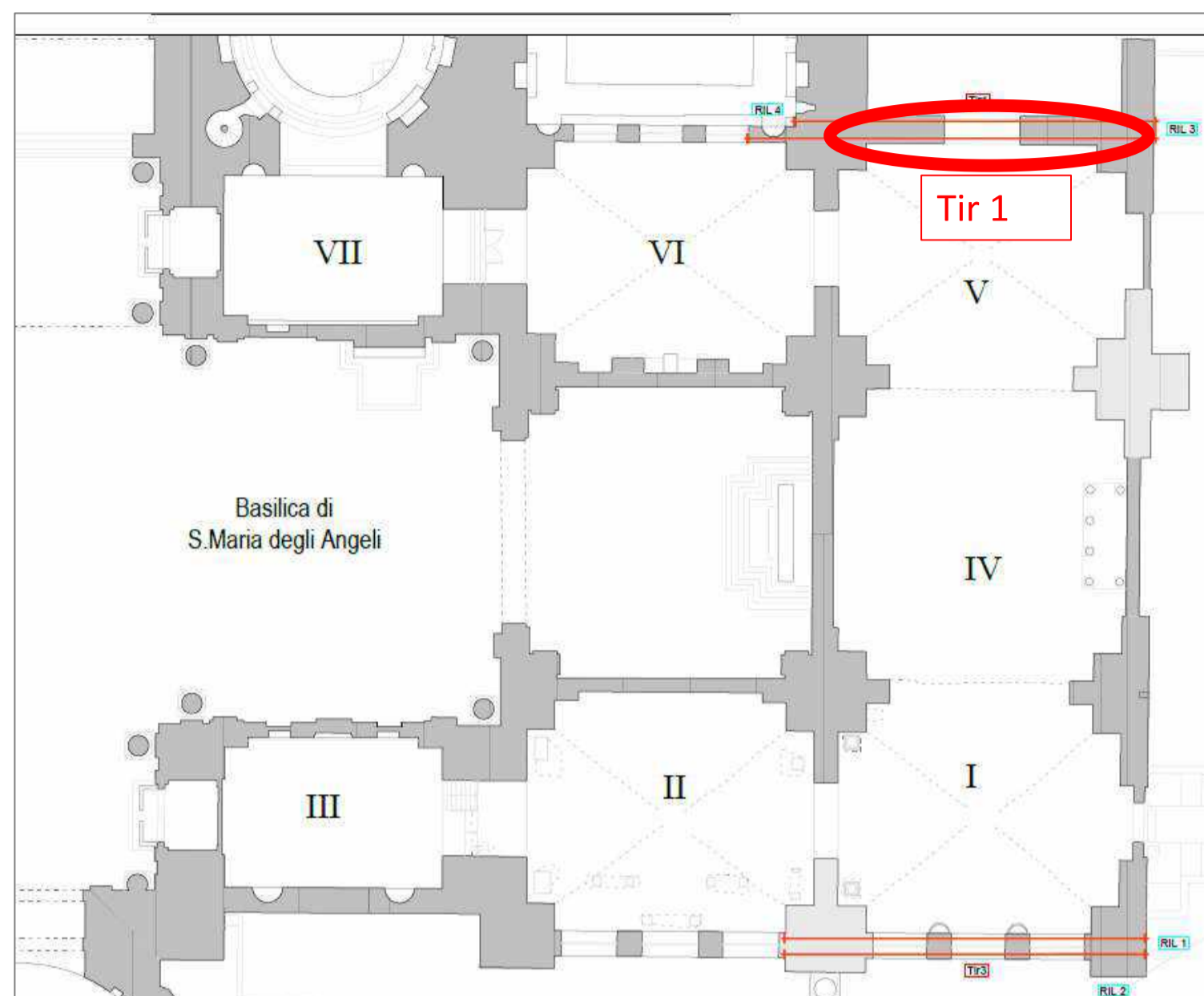
5



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



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 3.64 m di lunghezza (L) a sezione circolare con:

Φ max = 36.4 mm.

Φ min = 32 mm.

Φ medio = 34.2 mm.

Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (0.91 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 1.82 m dagli incastri).

Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 62.5 mm sull'incastro sinistro.

Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)

Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).

La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

Tir_1_C					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	fn	11.84 Hz
Lunghezza	3.64	m	2*luce catena	2L	7.28 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.002926	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	22.676	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	4718.11 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		46.269 kN



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

6

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

Catena Tir_1_C:

Frequenza principale 18034 = 11.84 Hz

Frequenza principale 21162 = 11.84 Hz

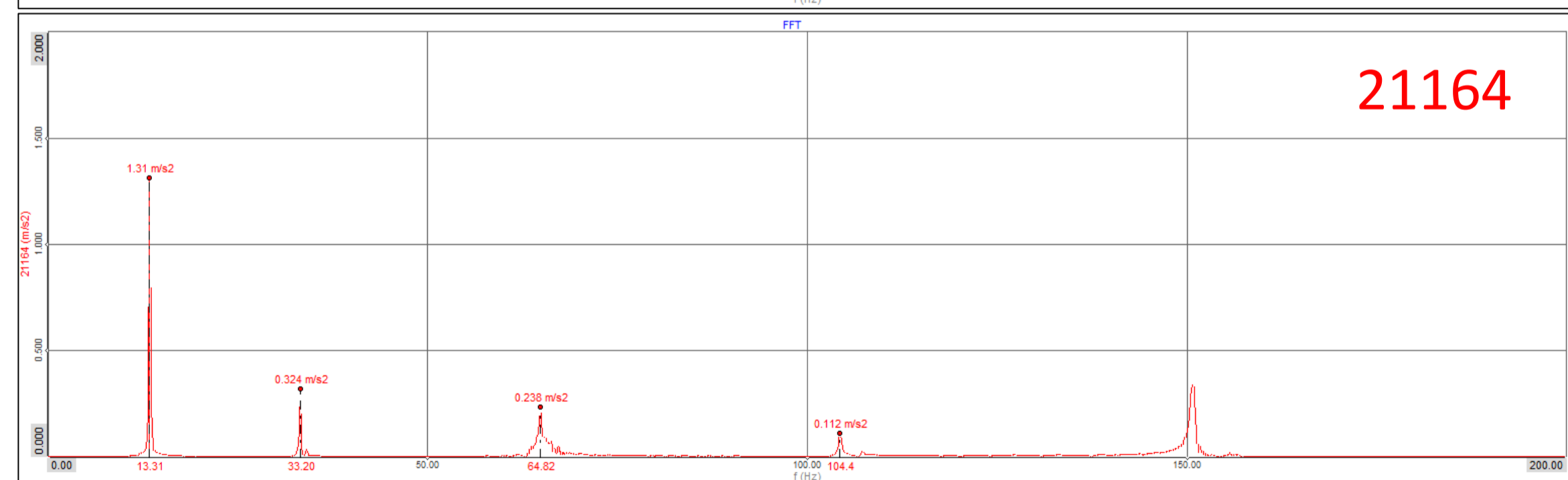
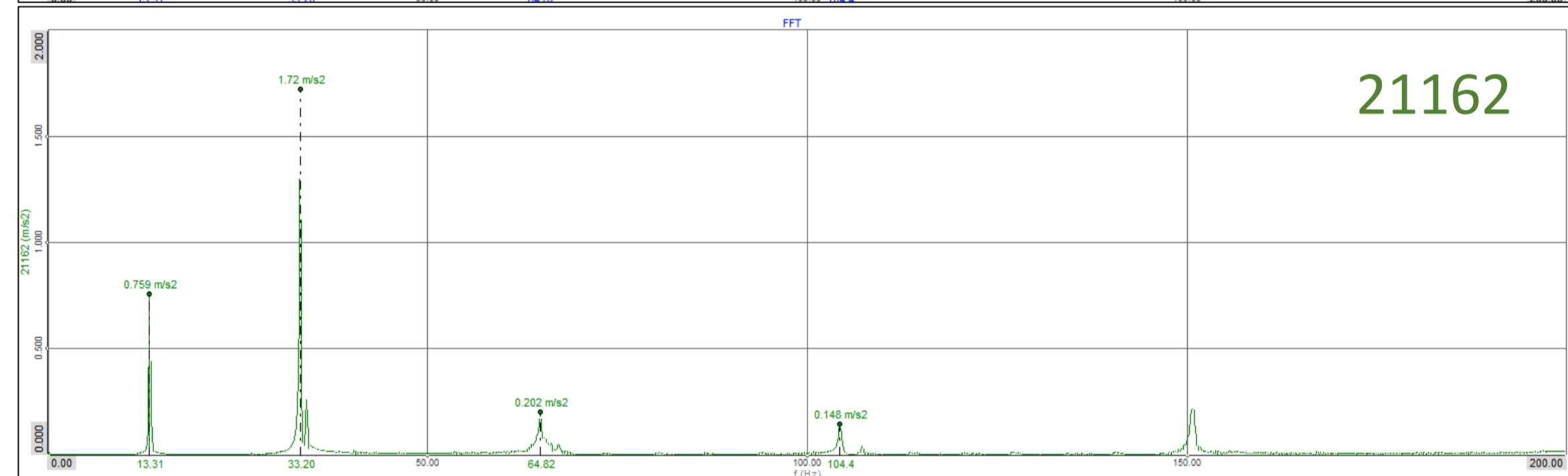
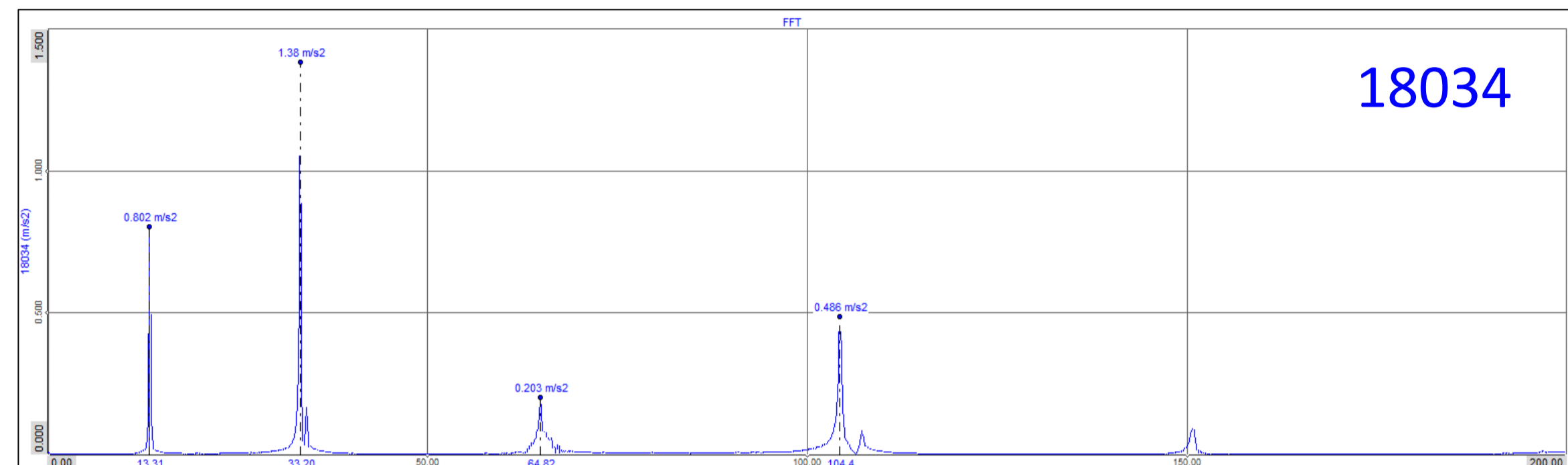
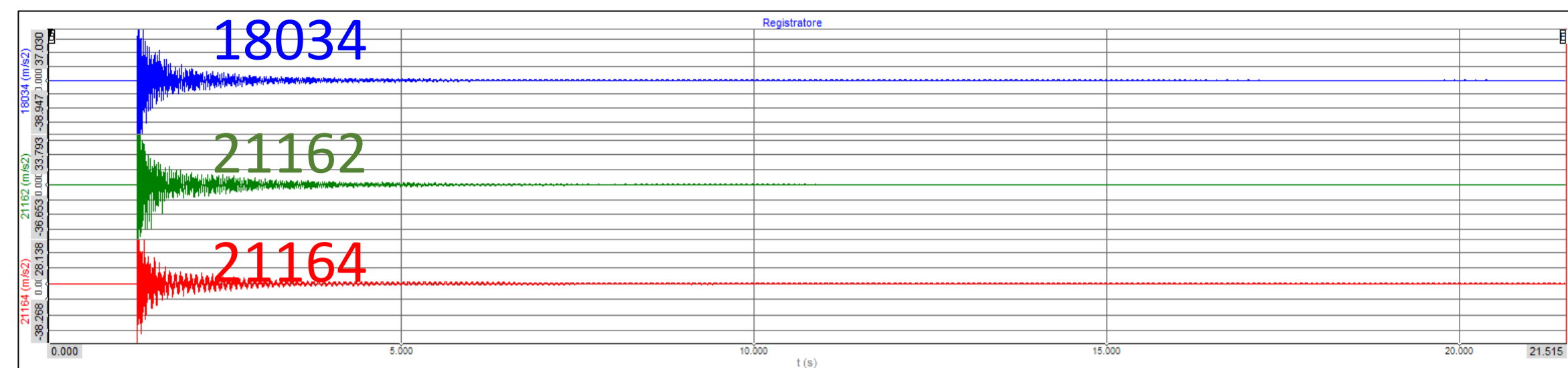
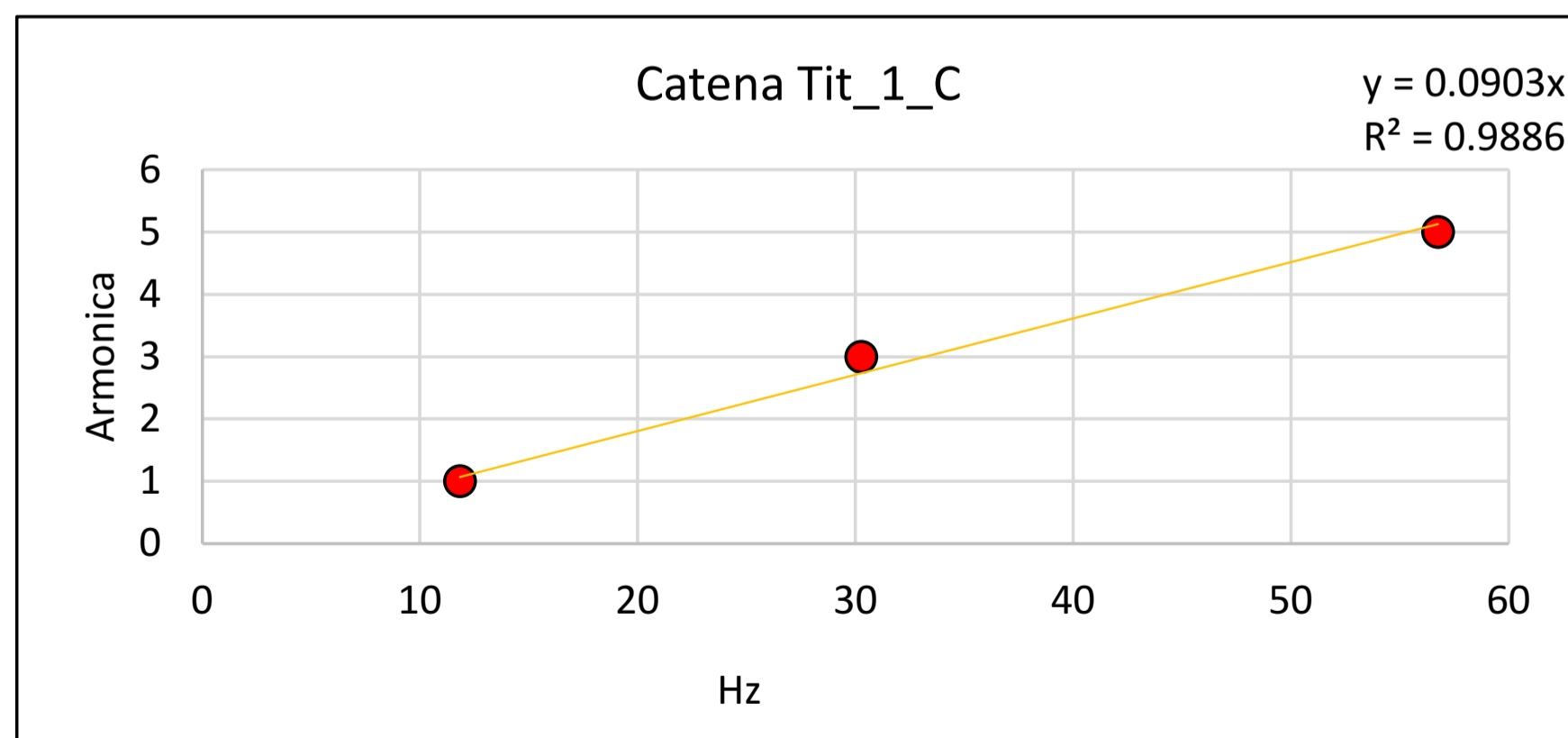
Frequenza principale 21164 = 11.84 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

4718.11 kgf = 46.269 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 3	armonica 5	posizione accelerometro
Tit_1_C_18034	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_21164	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_21162	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	verticale
Tit_1_C_media	11.84 Hz	30.27 Hz	56.76 Hz	
armonica	1	3	5	



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

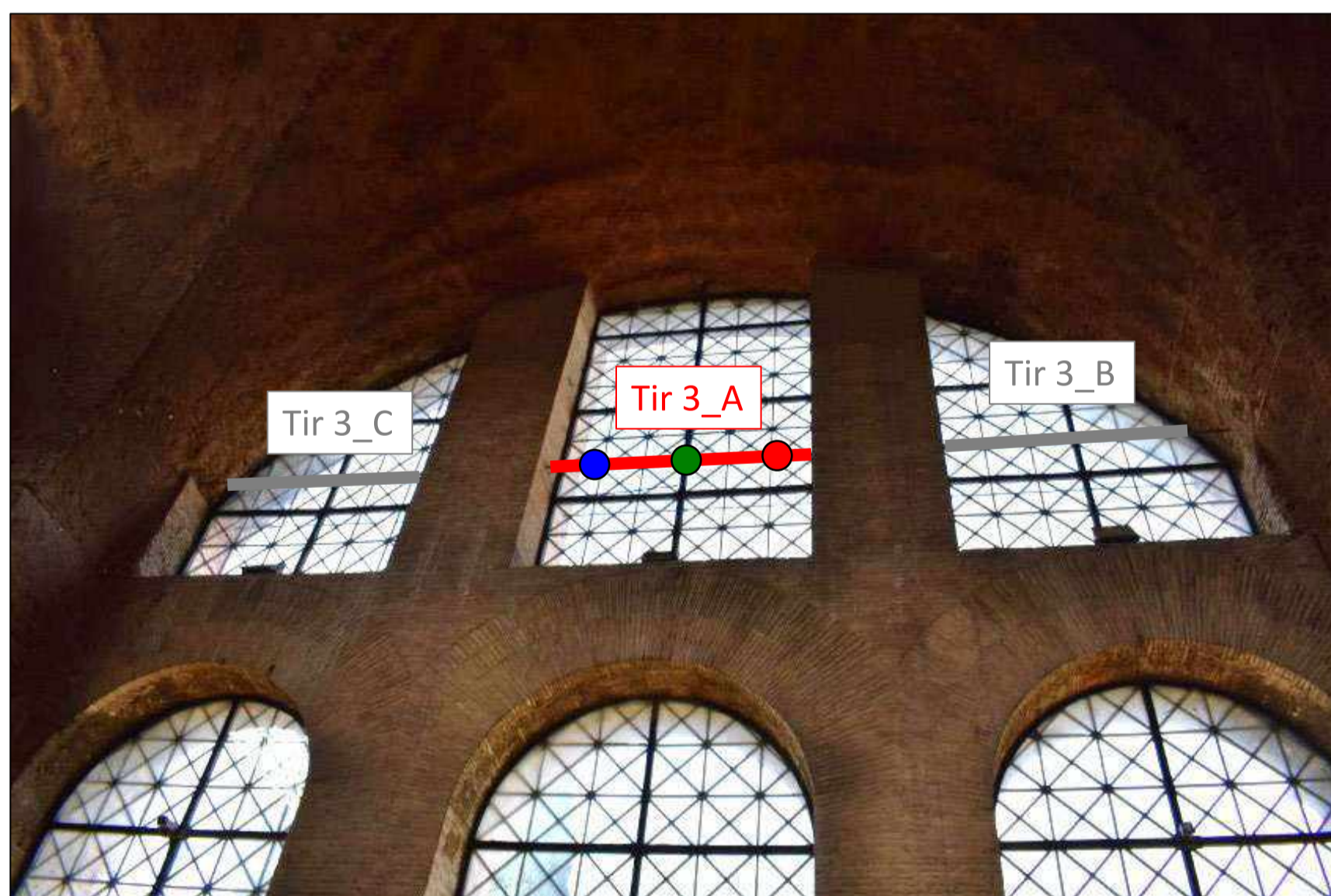
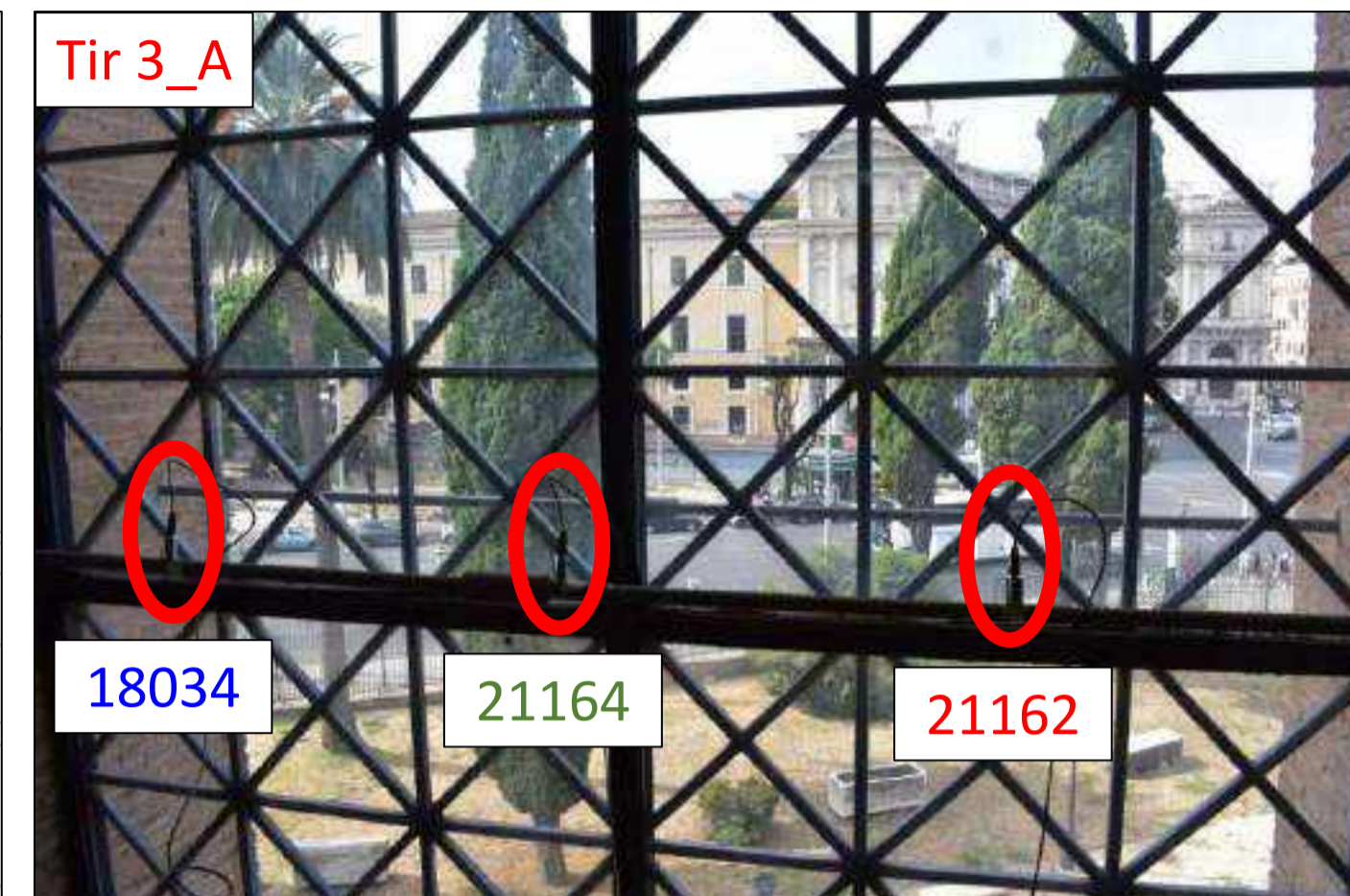
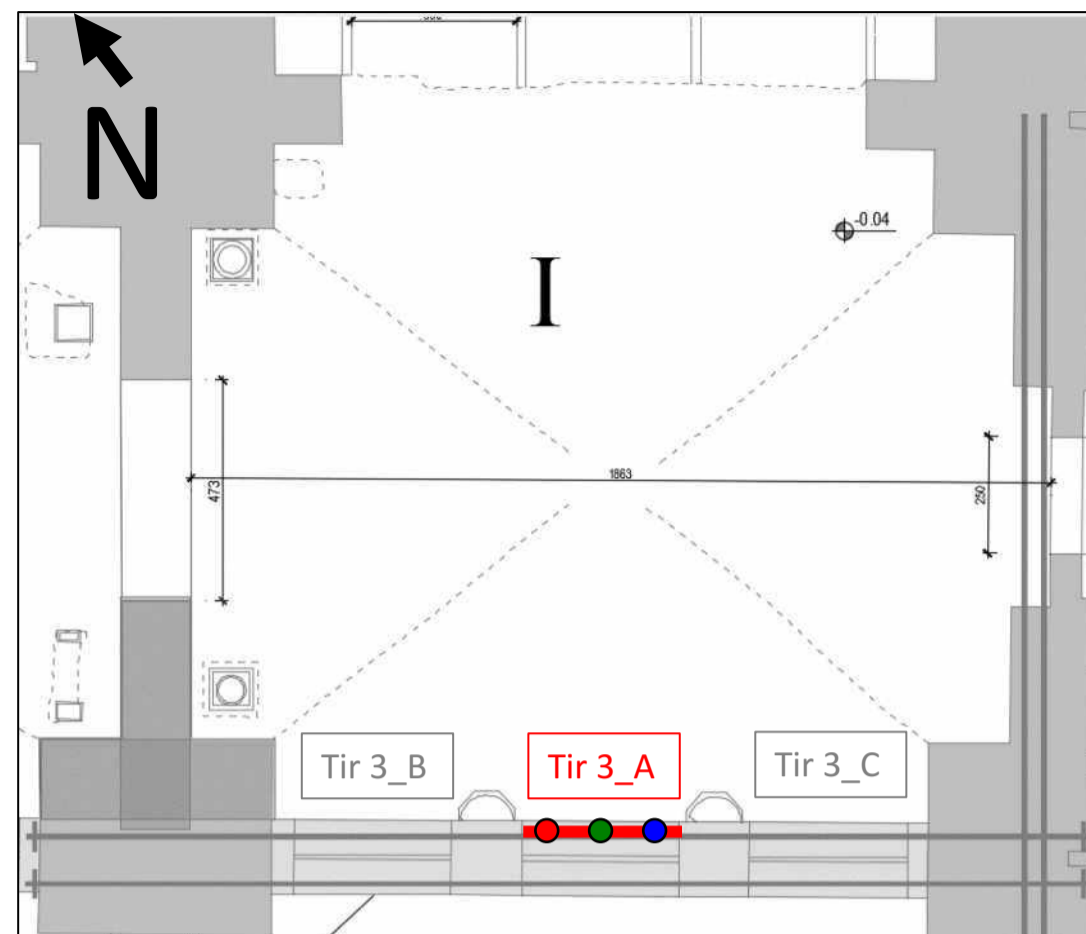
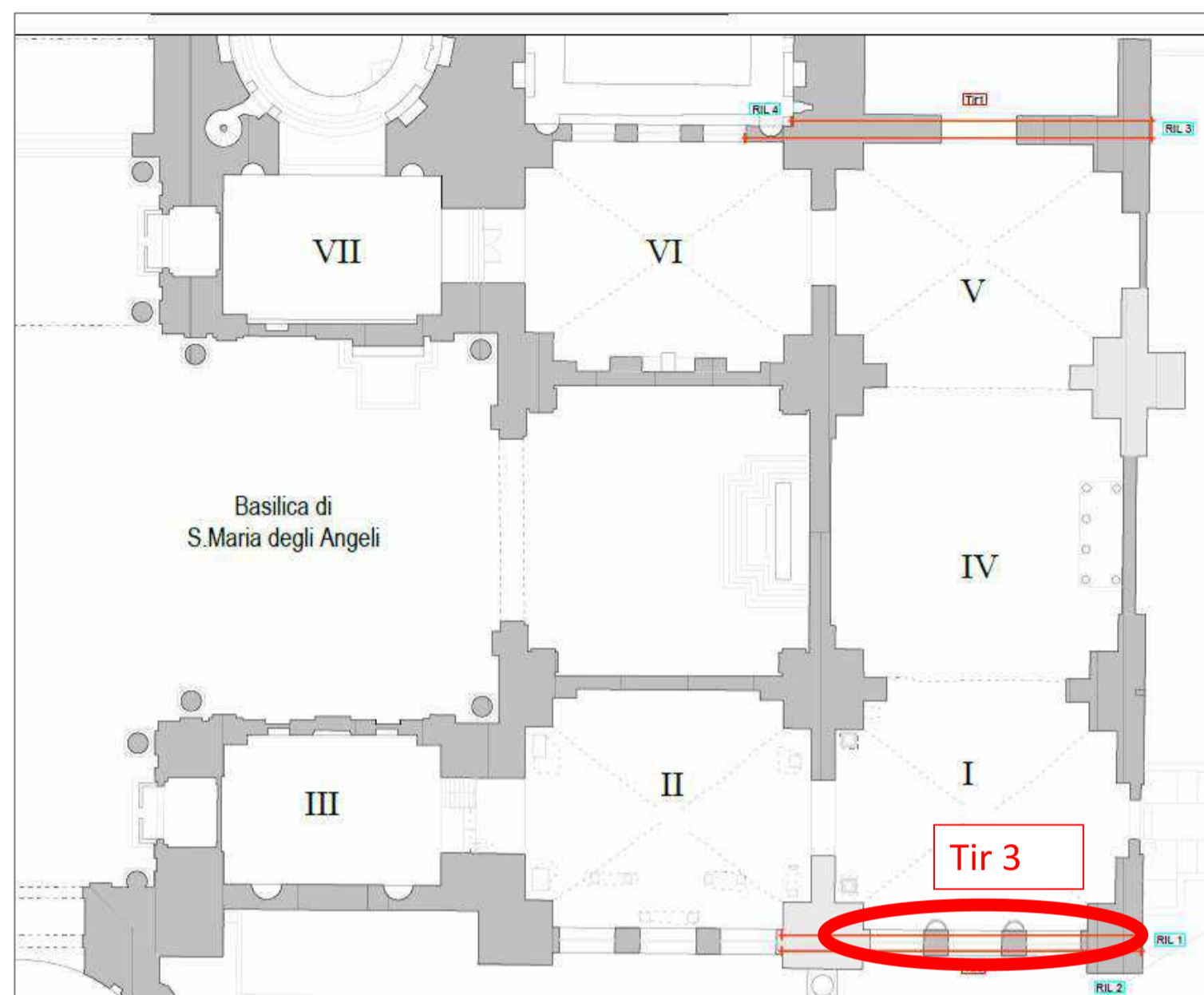
CLIENTE Ministero della Cultura - Museo Nazionale Romano
Terme di Diocleziano - Grandi Aule

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

7



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 3.41 m di luce (L) a sezione circolare con:

Φ max = 36.6 mm.

Φ min = 32 mm.

Φ medio = 34.3 mm.

Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (0.85 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 1.7 m dagli incastri).

Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 61.7 mm a 1.72 m dall'incastro destro.

Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)

Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).

La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

Tir_3_A					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	f _n	19.65 Hz
Lunghezza	3.41	m	2*Luca catena	2L	6.82 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.002741	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	21.243	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	11405.02 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		111.845 kN



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 grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

8

Catena Tir_3_A:

Frequenza principale 18034 = 19.65 Hz

Frequenza principale 21162 = 19.65 Hz

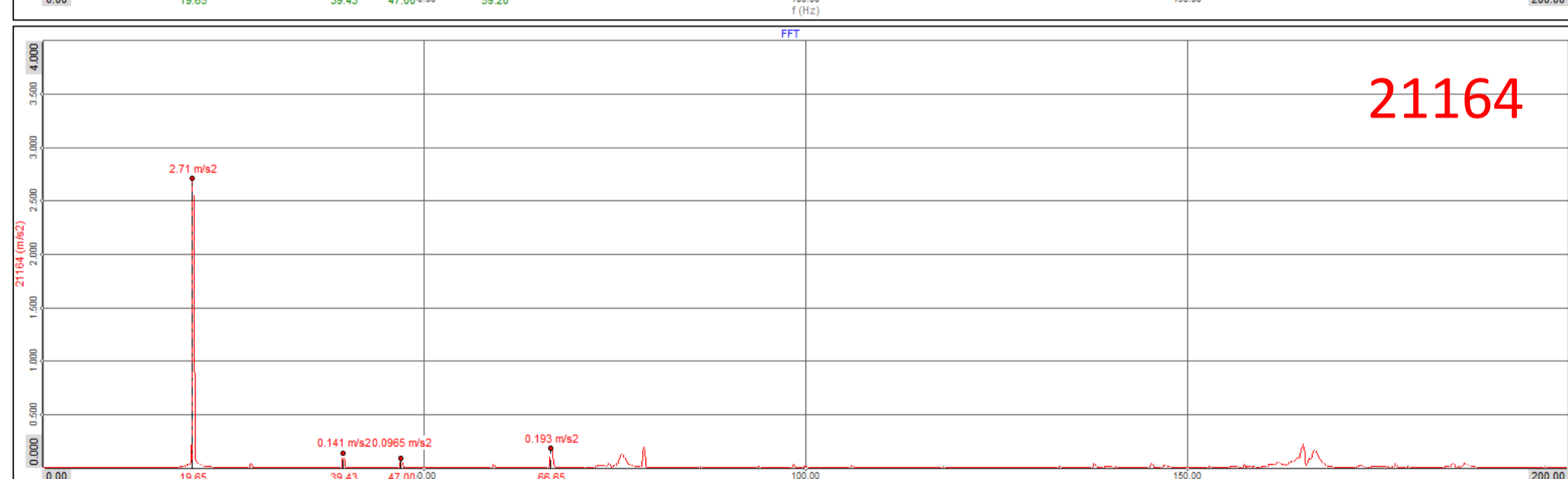
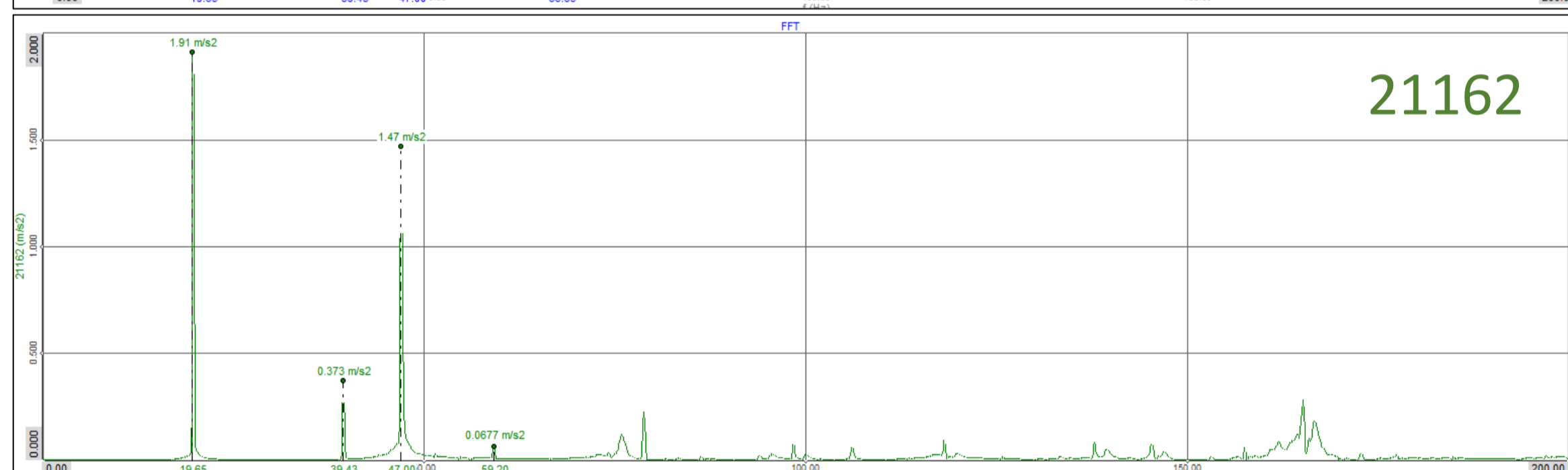
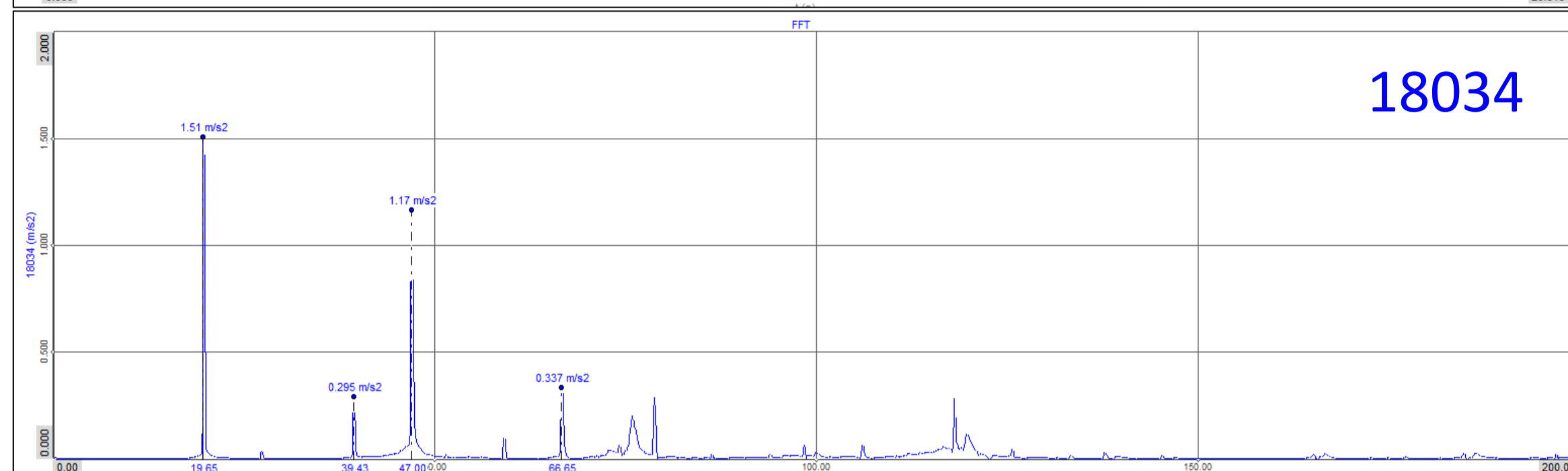
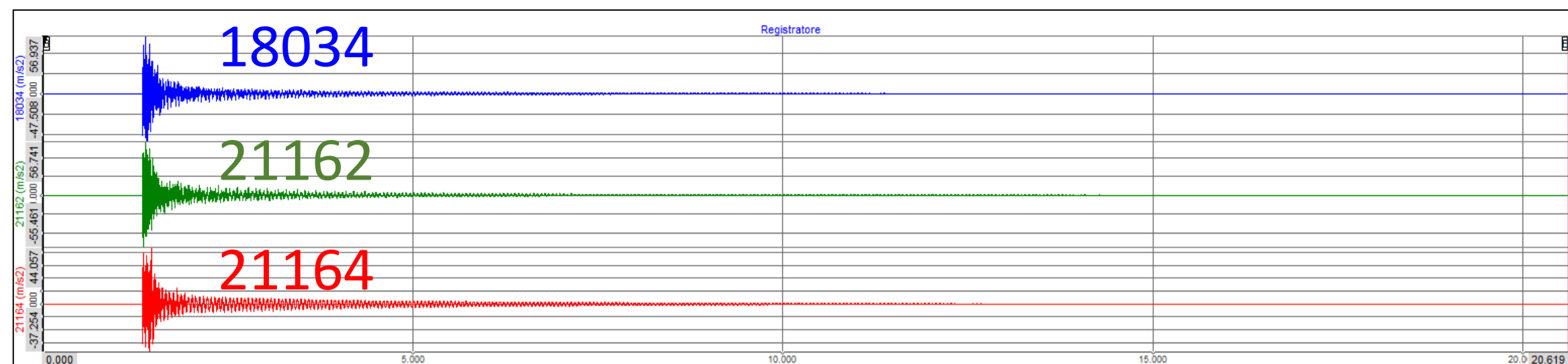
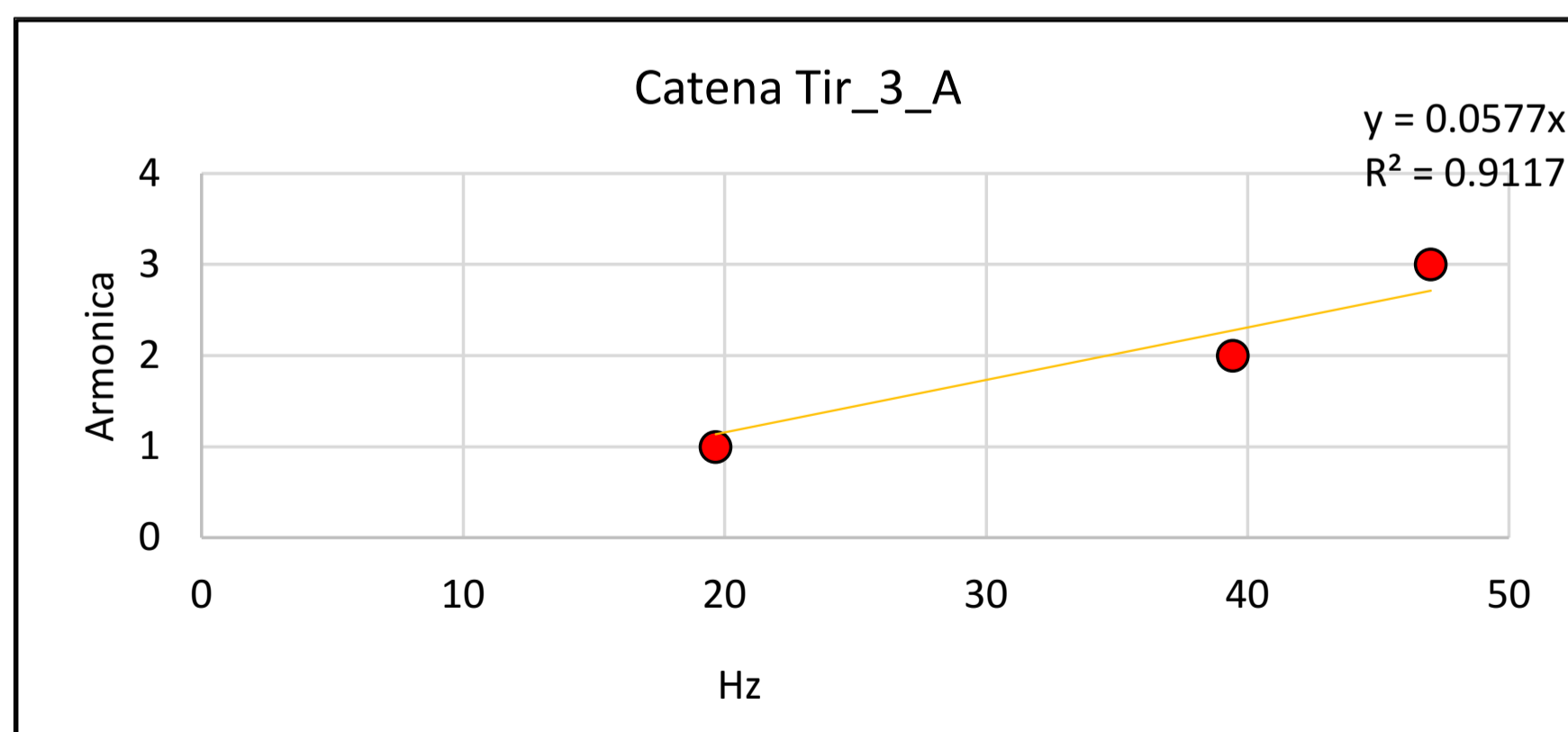
Frequenza principale 21164 = 19.65 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

11405.02 kgf = 111.845 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 3	posizione accelerometro
Catena Tir 3_A_18034	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Catena Tir 3_A_21164	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Catena Tir 3_A_21162	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	verticale
Tir_3_A media	19.65 Hz	39.43 Hz	47 Hz	
armonica	1	2	3	



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

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

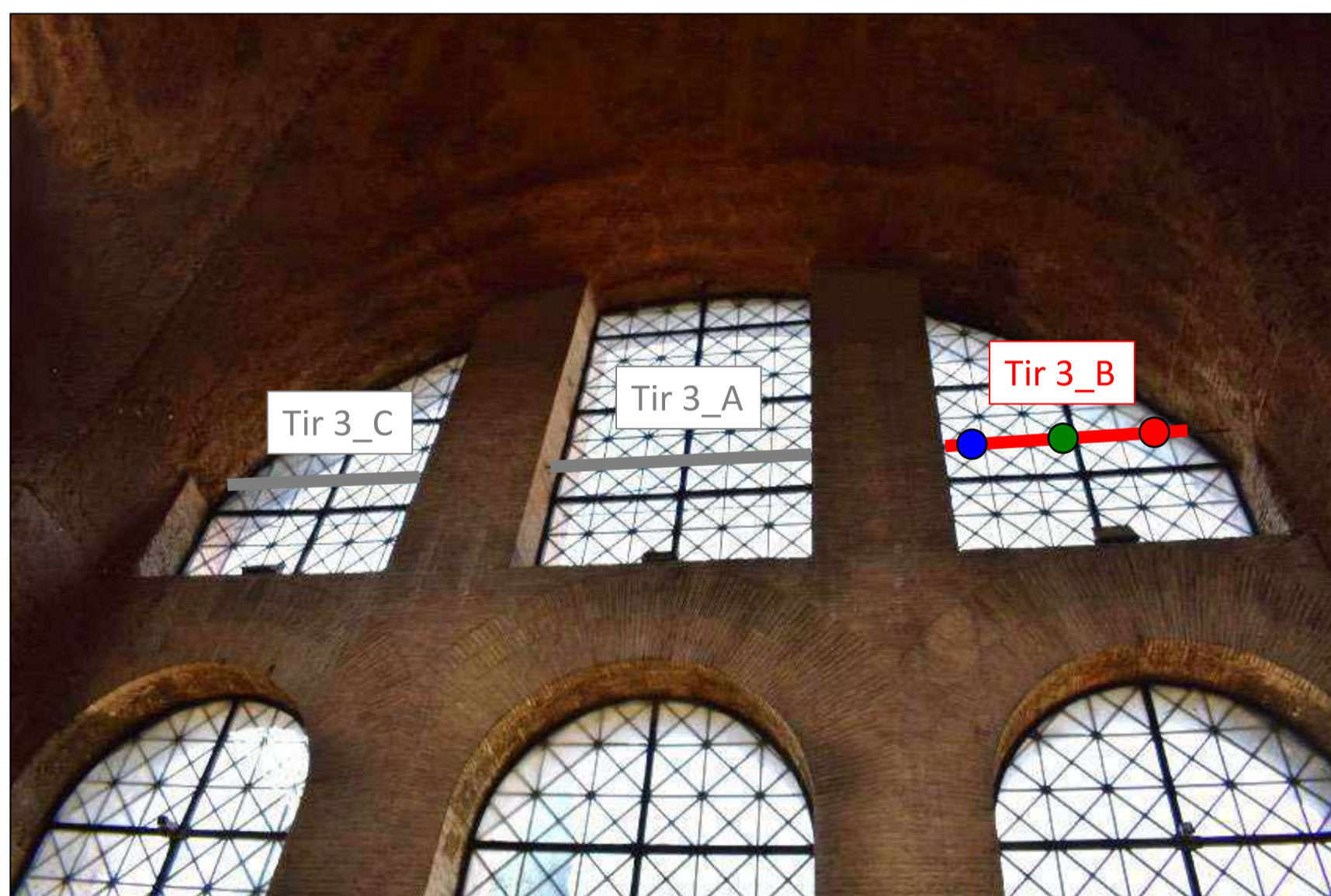
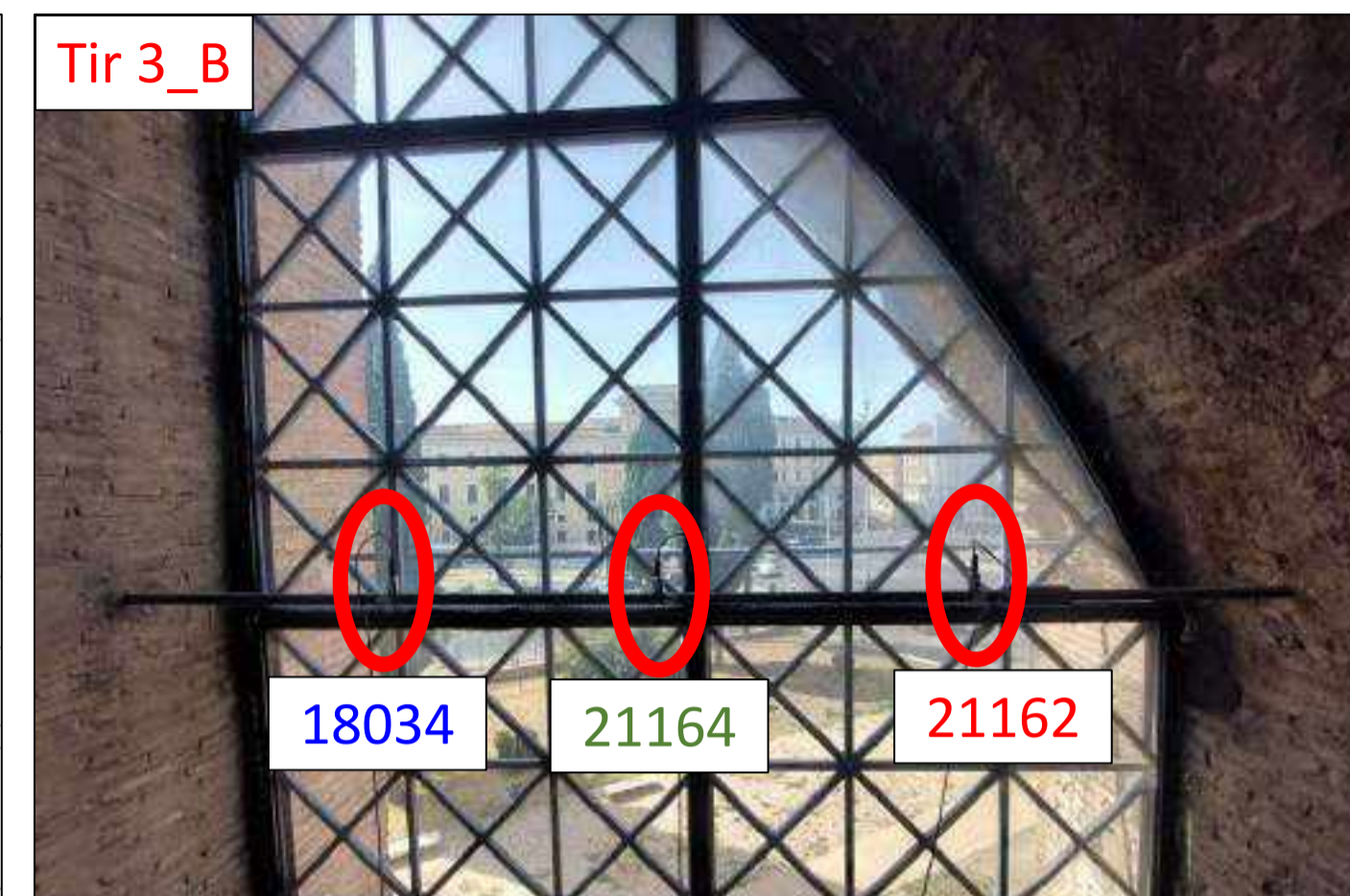
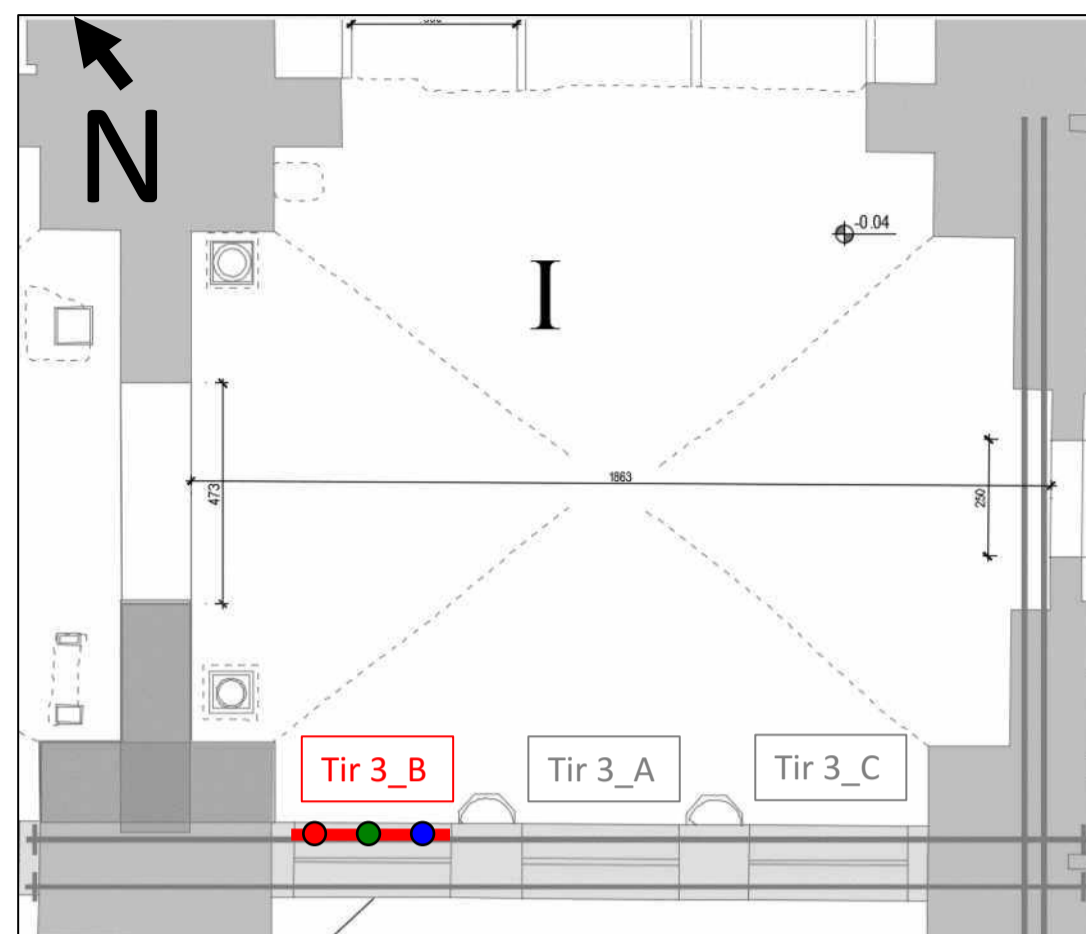
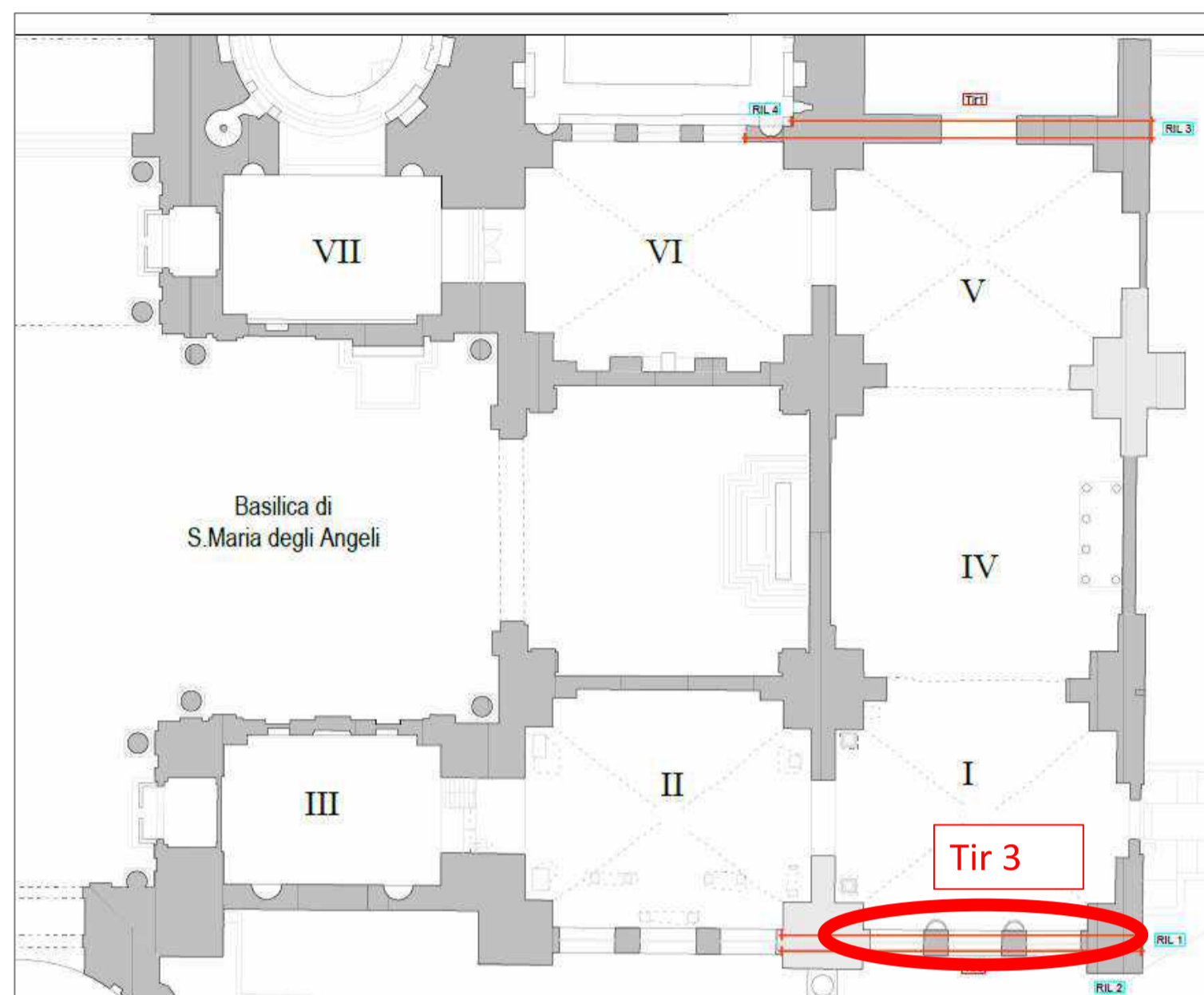
9



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



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 3.33 m di luce (L) a sezione circolare con:

Φ max = 36.6 mm.

Φ min = 32 mm.

Φ medio = 34.3 mm.

Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (0.83 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 1.66 m dagli incastri).

Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 61.5 mm a 0.60 m dall'incastro destro.

Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)

Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).

La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

Tir_3_B					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	f _n	21.97 Hz
Lunghezza	3.33	m	2*luce catena	2L	6.66 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.002677	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	20.745	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	13595.99 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		133.331 kN



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 grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

10

Catena Tir_3_B:

Frequenza principale 18034 = 21.97 Hz

Frequenza principale 21162 = 21.97 Hz

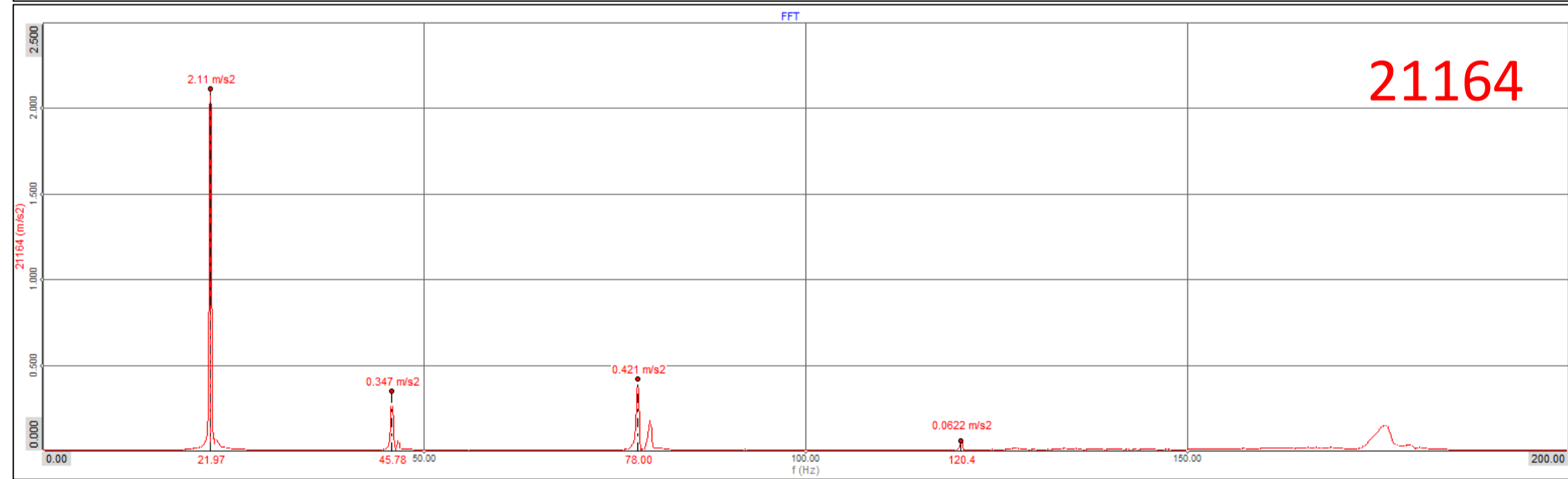
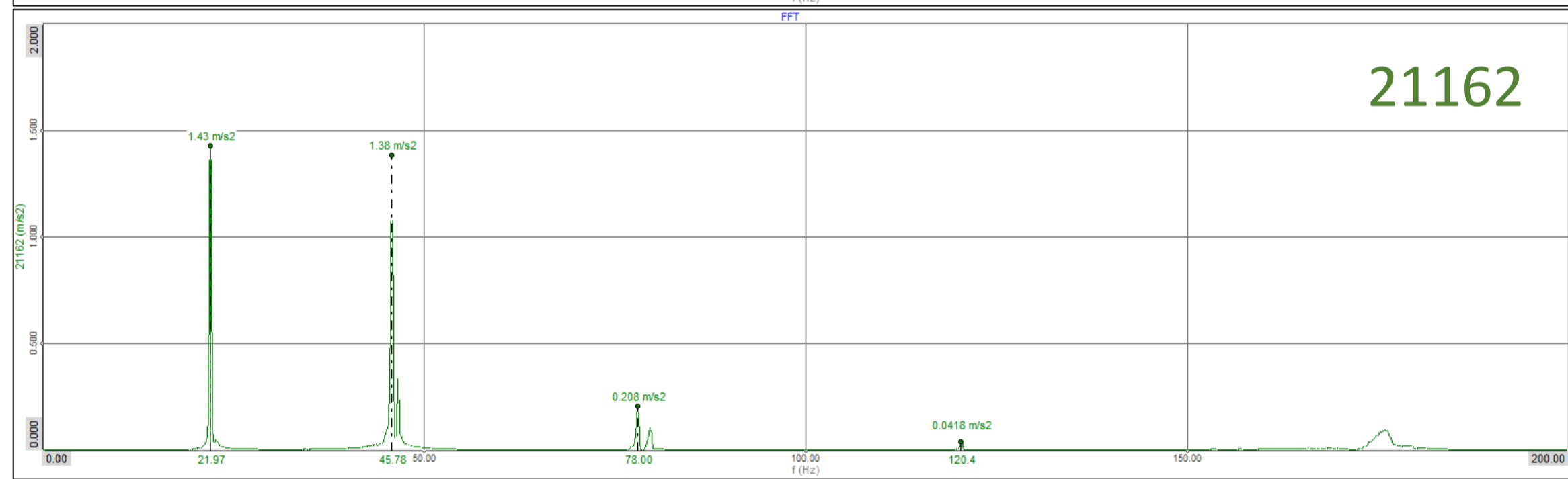
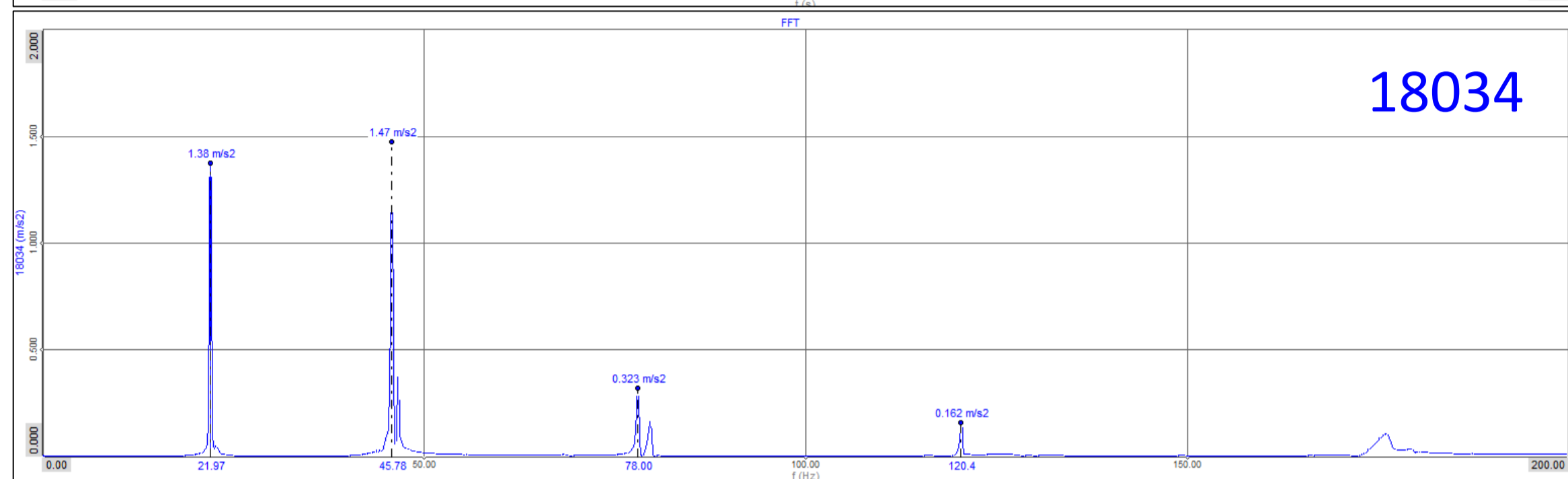
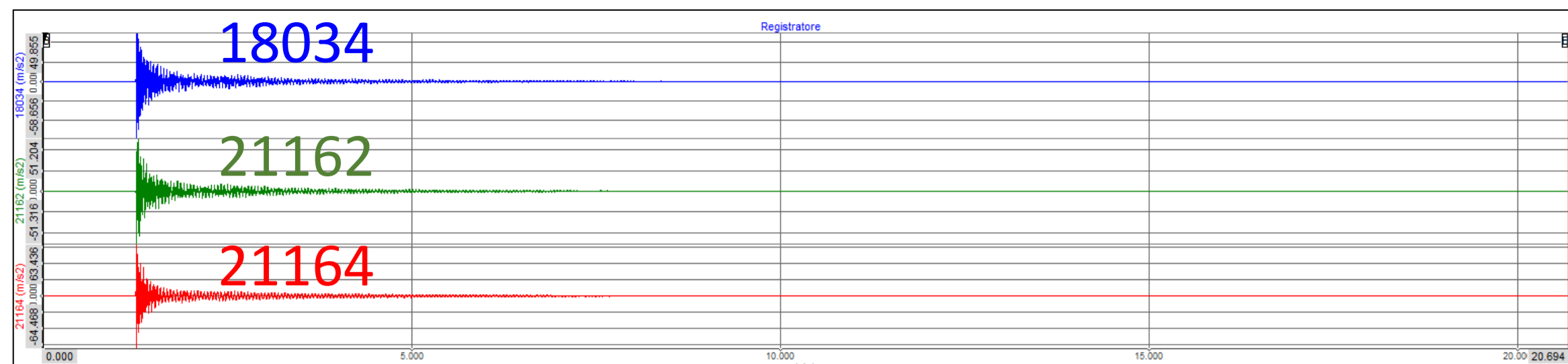
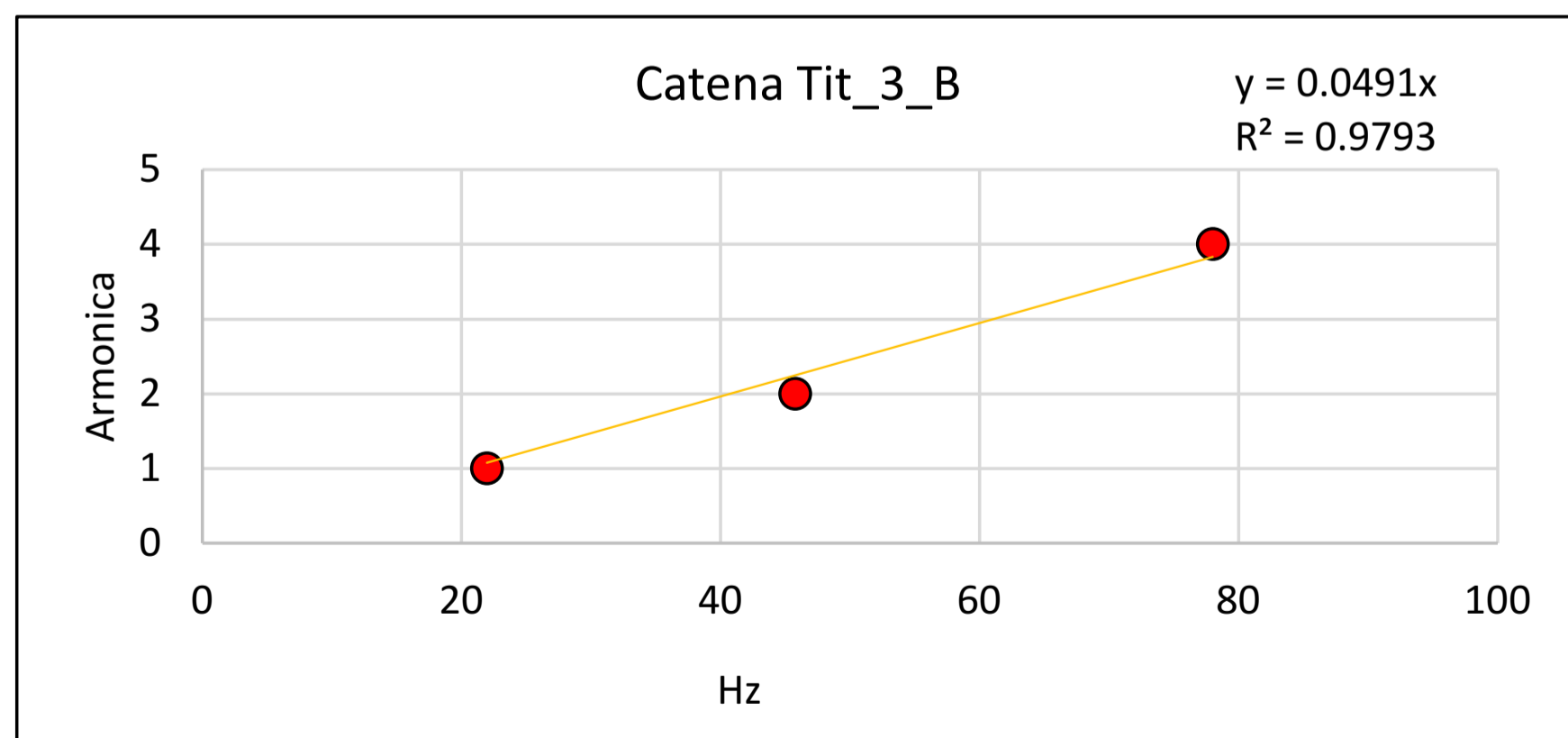
Frequenza principale 21164 = 21.97 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

13595.99 kgf = 133.331 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Tit_3_B_18034	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_21164	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_21162	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	verticale
Tit_3_B_media	21.97 Hz	45.78 Hz	78 Hz	
armonica	1	2	4	



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

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

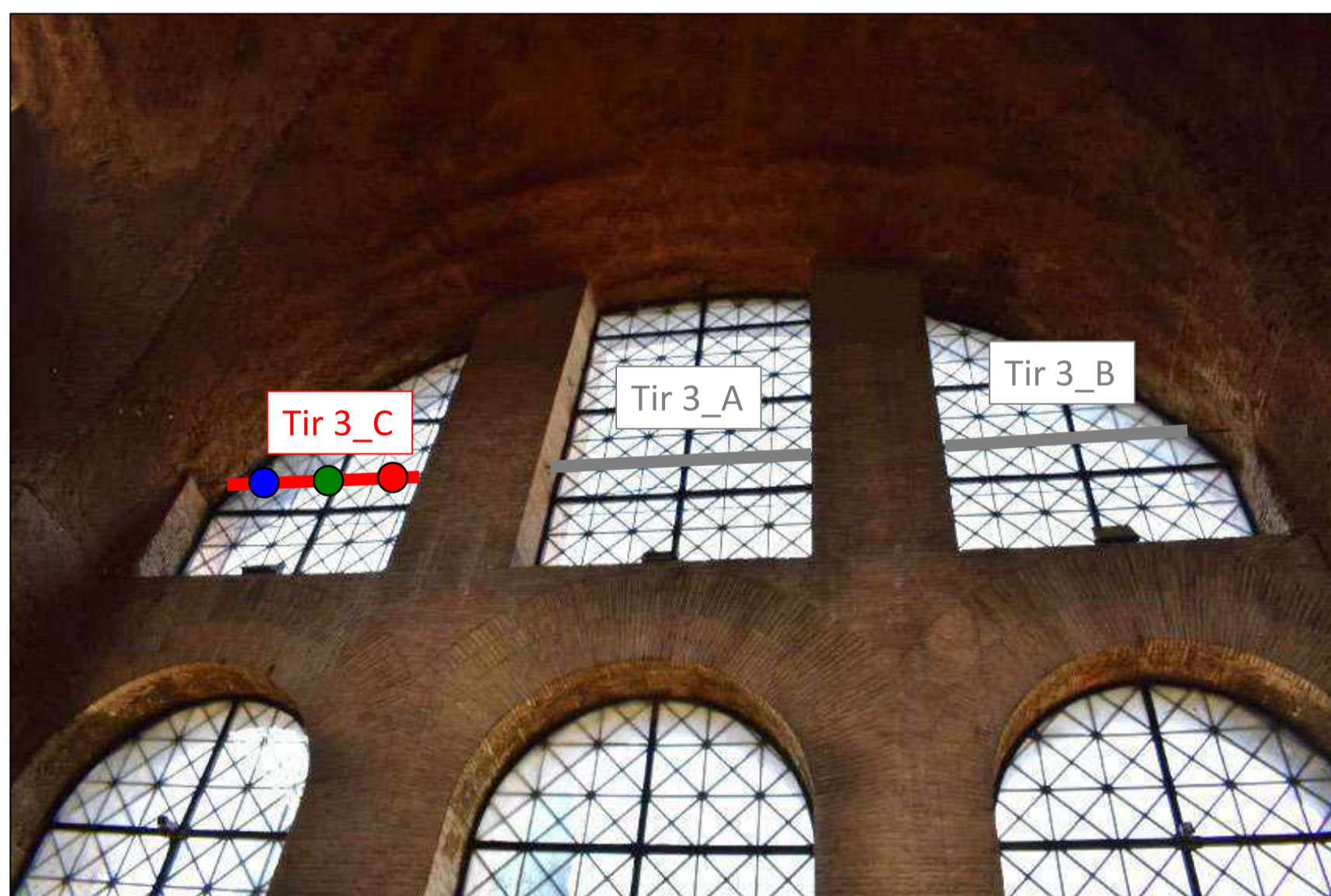
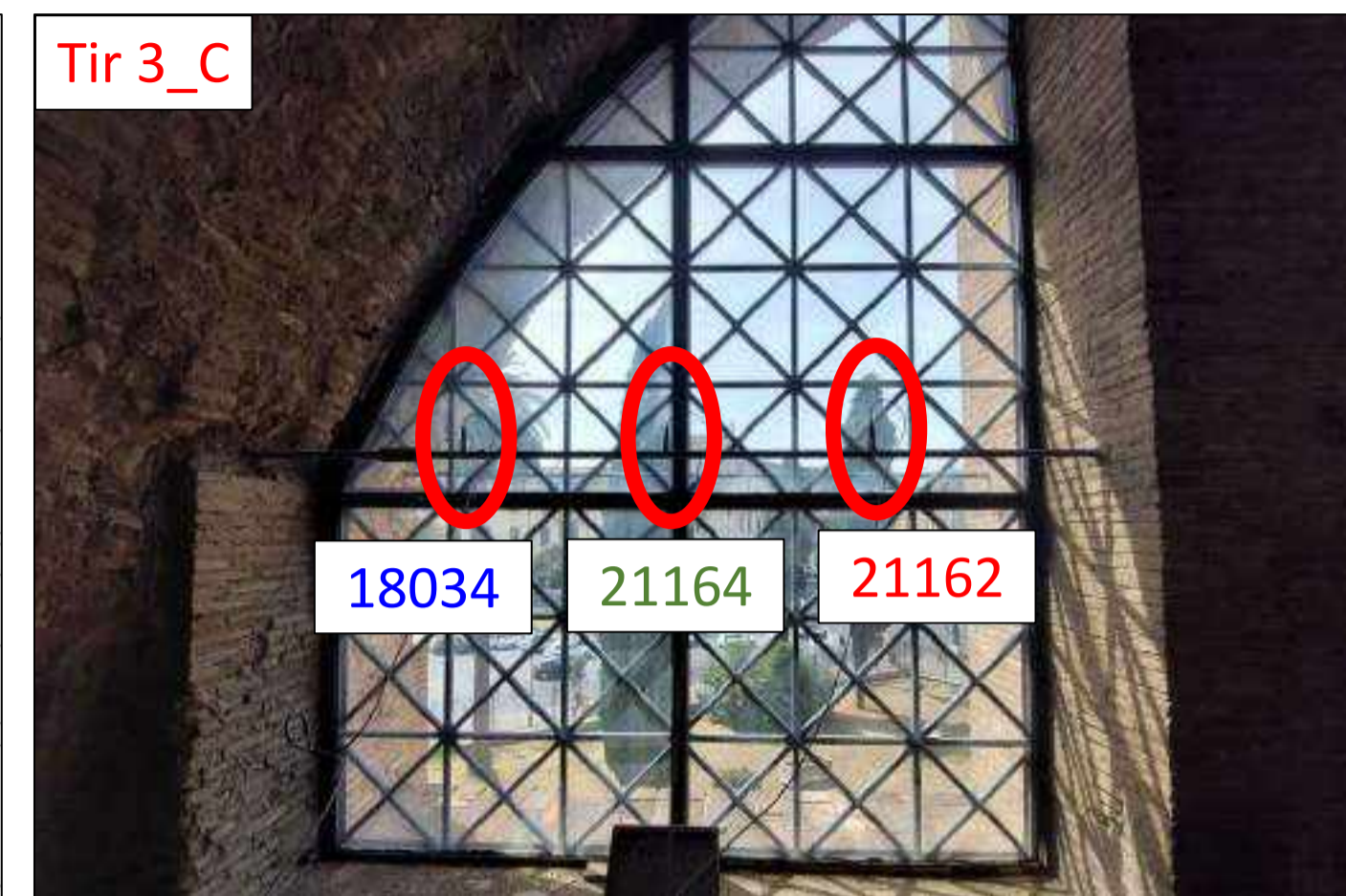
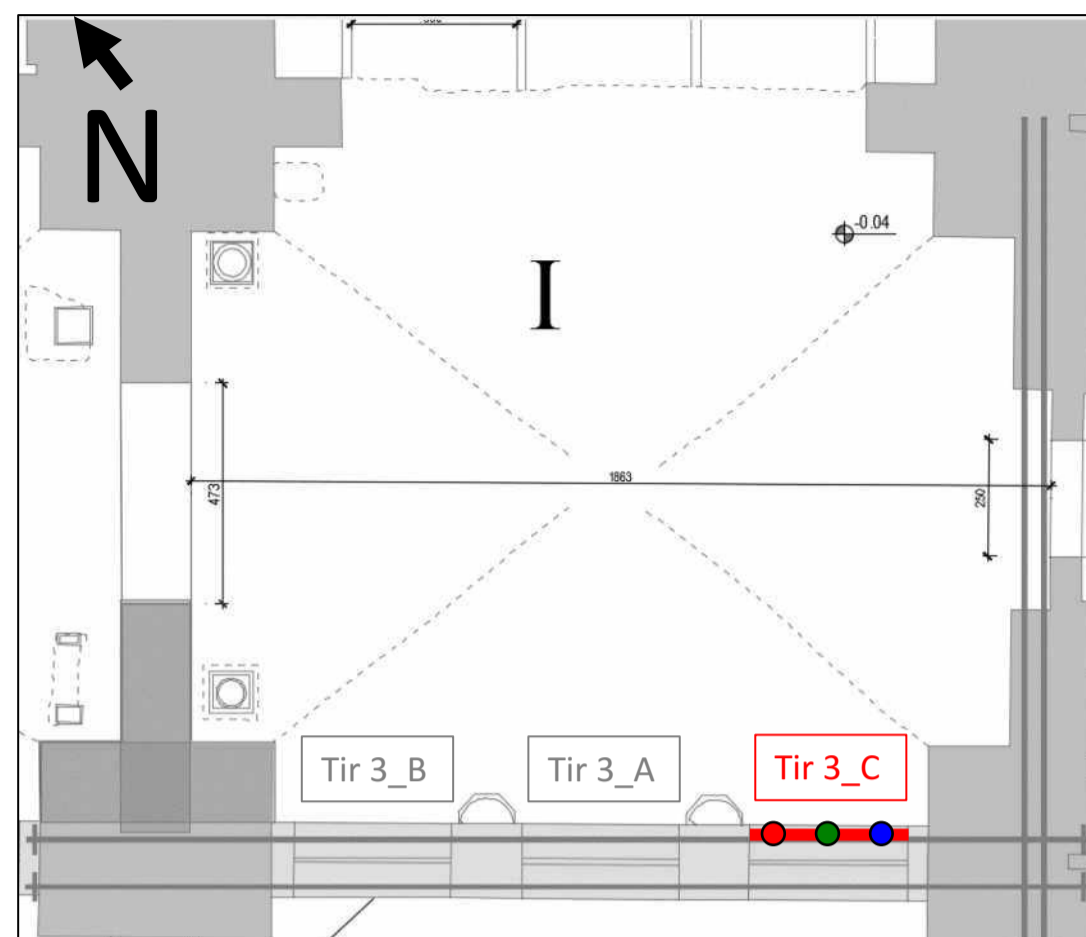
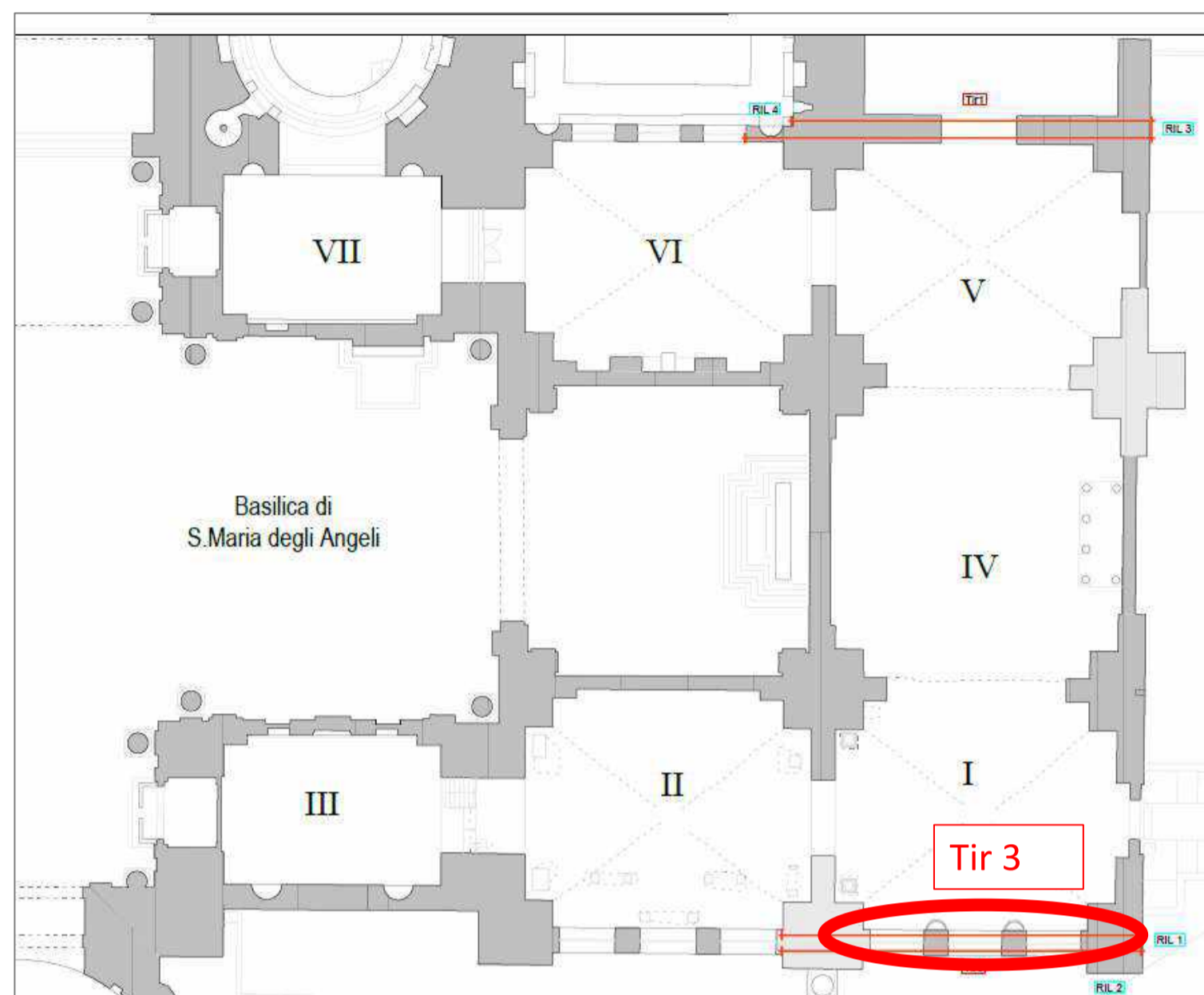
11



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



Catena costituita da una barra ad aderenza migliorata di 3.55 m di luce (L) a sezione circolare con:
 Φ max = 36.6 mm.
 Φ min = 32 mm.
 Φ medio = 34.3 mm.
 Sensori 18034 e 21162 posizionati a L/4 (0.855 m dagli incastri), sensore 21164 posizionato a L/2 (a 1.77 m dagli incastri).
 Presente un manicotto di 0.17 m con Φ 61.5 mm a 0.575 m dall'incastro sinistro.
 Densità acciaio da letteratura = 7750 kg/m³ (a T=20°C è compresa fra 7500 e 8000 kg/m³)
 Peso per unità di lunghezza (1 m) = 6.230 kg/m (considerato il Φ min).
 La condizione di vincolo non è tenuta in conto ed il tiro sarà quindi compreso tra due valori: uno in corrispondenza della situazione di doppio incastro (che lo sottostima) ed uno a quella di doppio appoggio (che lo sovrastima) con un errore, comunque, quantificabile in $\pm 10\%$ (Brunetti G., *Tecniche di indagine distruttive e monitoraggio*, 2007).

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{g \frac{S}{p}} \rightarrow S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

Tir_3_C					
Densità dell'acciaio (T=20°C)	7750	kg/m ³	Frequenza fondamentale	f _n	20.26 Hz
Lunghezza	3.55	m	2*luce catena	2L	7.1 m
Diametro (Φ min)	0.032	m	Modo proprio di riferimento	n	1
Sezione	0.000804	m ²	Peso per unità di lunghezza (1 m)	p	6.230 kg/m
Volume catena (lunghezza*sezione)	0.002854	m ³	Accelerazione di gravità	g	9.81 m/s ²
Peso catena (densità*volume)	22.116	kg	Tiro a cui è sottoposta la catena	S	13140.08 kg
Peso per unità di lunghezza (1 m)	6.230	kg/m	Forza totale di tensione		128.860 kN



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

12

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

Catena Tir_3_C:

Frequenza principale 18034 = 20.26 Hz

Frequenza principale 21162 = 20.26 Hz

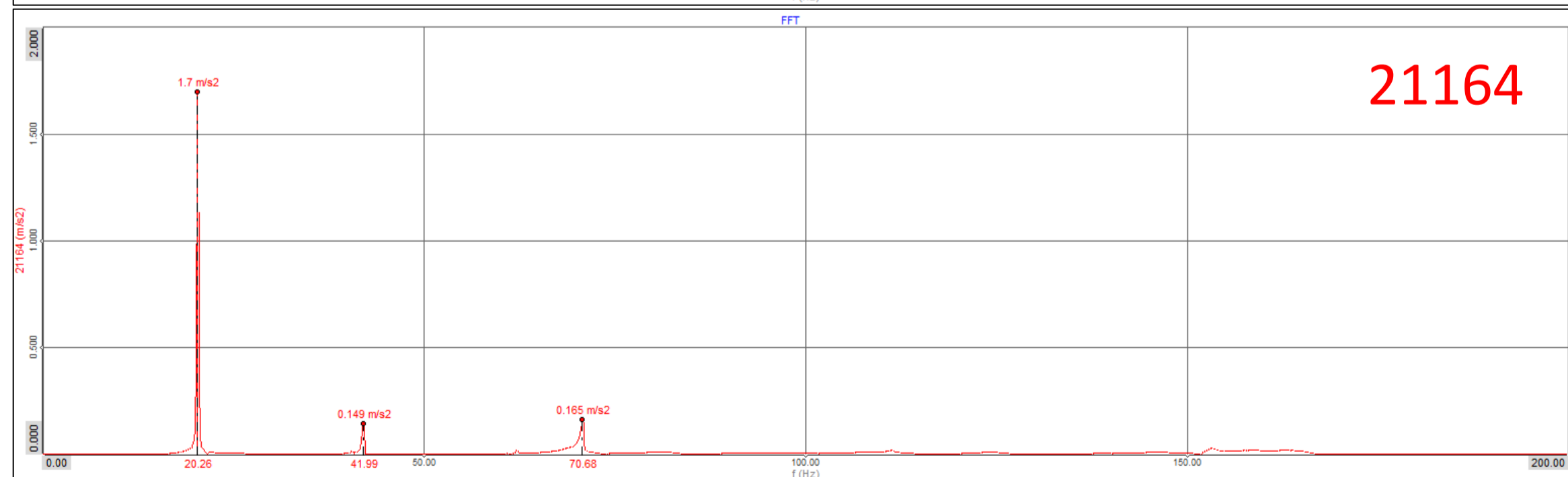
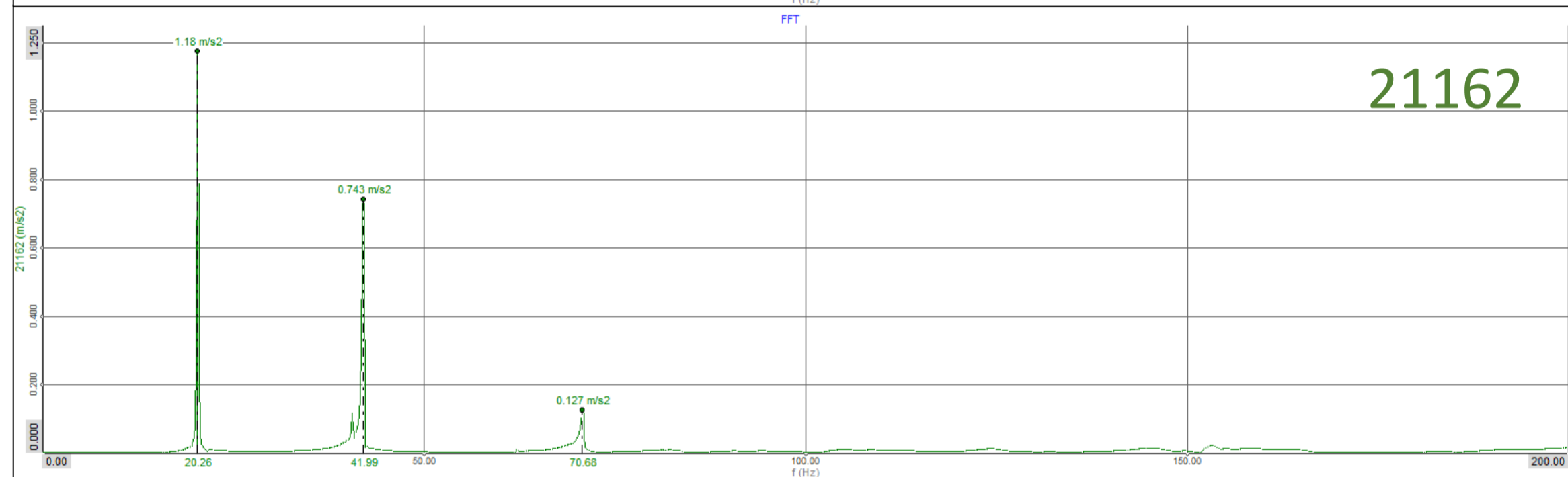
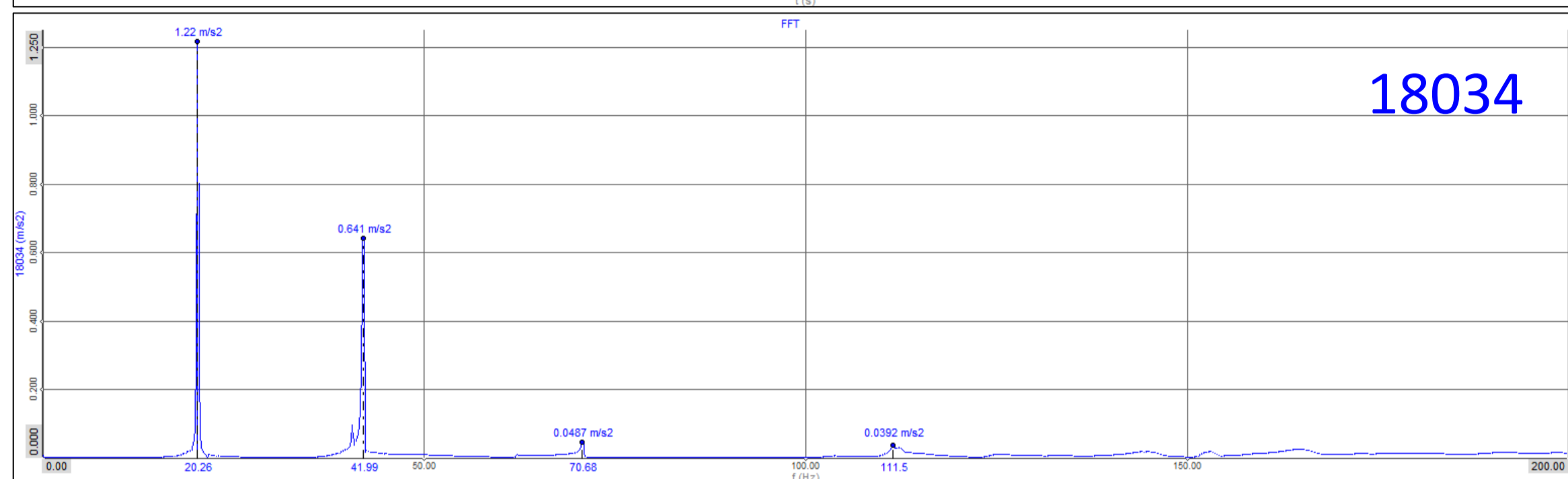
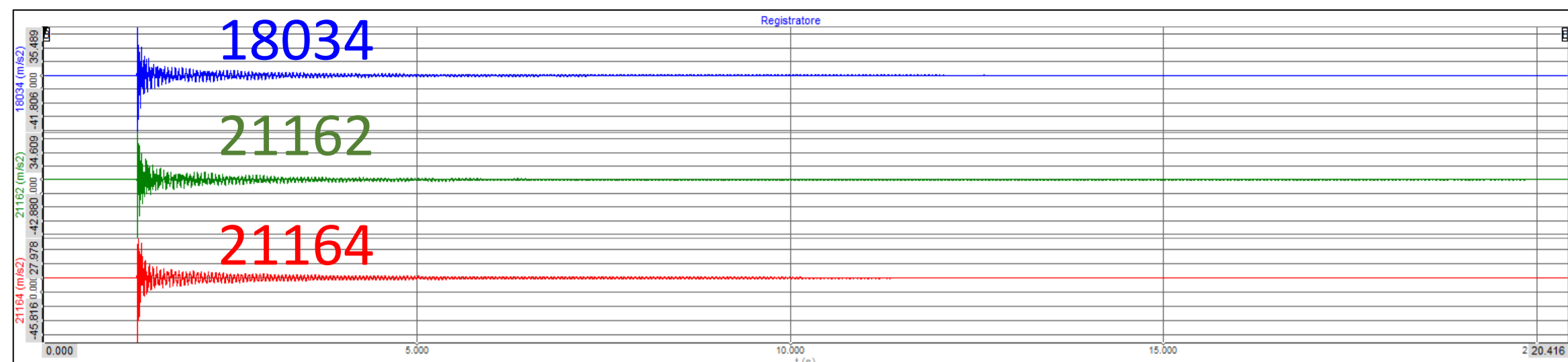
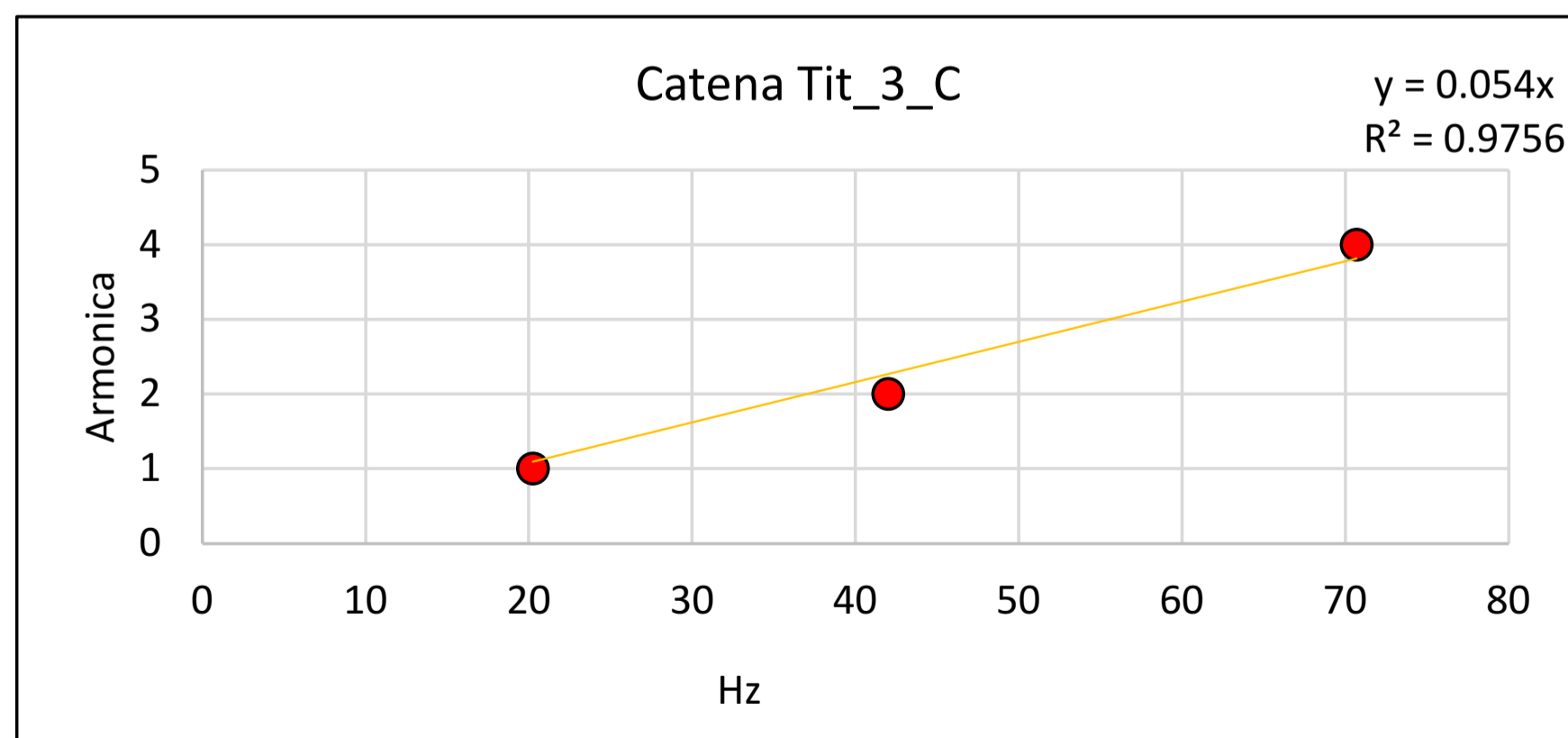
Frequenza principale 21164 = 20.26 Hz

Tensione della catena (tiro a cui è sottoposta):

13140.08 kgf = 128.860 kN

$$S = \frac{(f_n \cdot \frac{2L}{n})^2 \cdot p}{g}$$

file	Frequenza principale	armonica 2	armonica 4	posizione accelerometro
Tit_3_C_18034	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_21164	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_21162	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	verticale
Tit_3_C_media	20.26 Hz	41.99 Hz	70.68 Hz	
armonica	1	2	4	



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

RIFERIMENTI INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA

PROGETTO INDAGINI DIAGNOSTICHE
Elaborato grafico 2A_Codice prova Tir_Prova dinamica catene per la determinazione dello stato tensionale

13



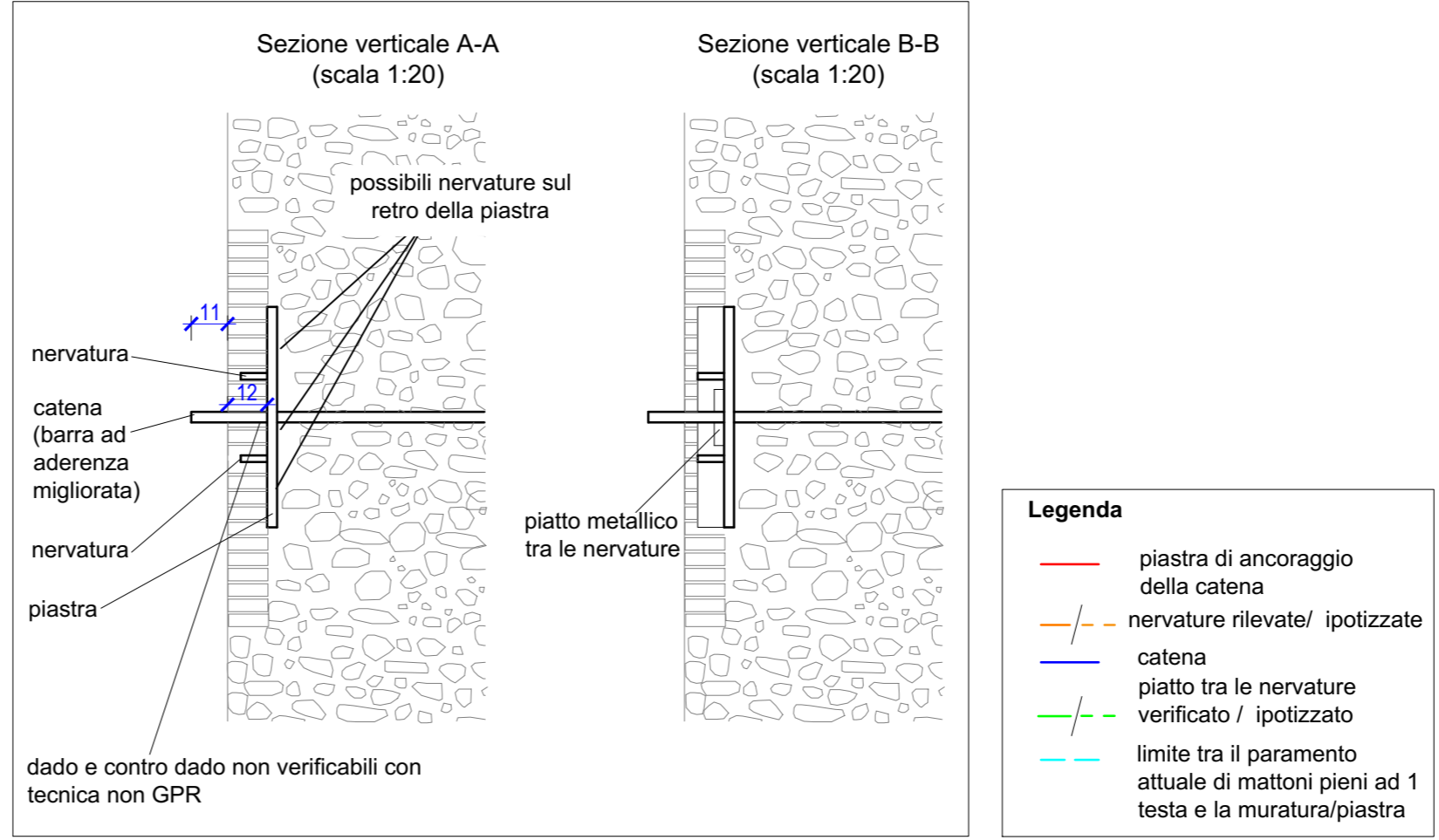
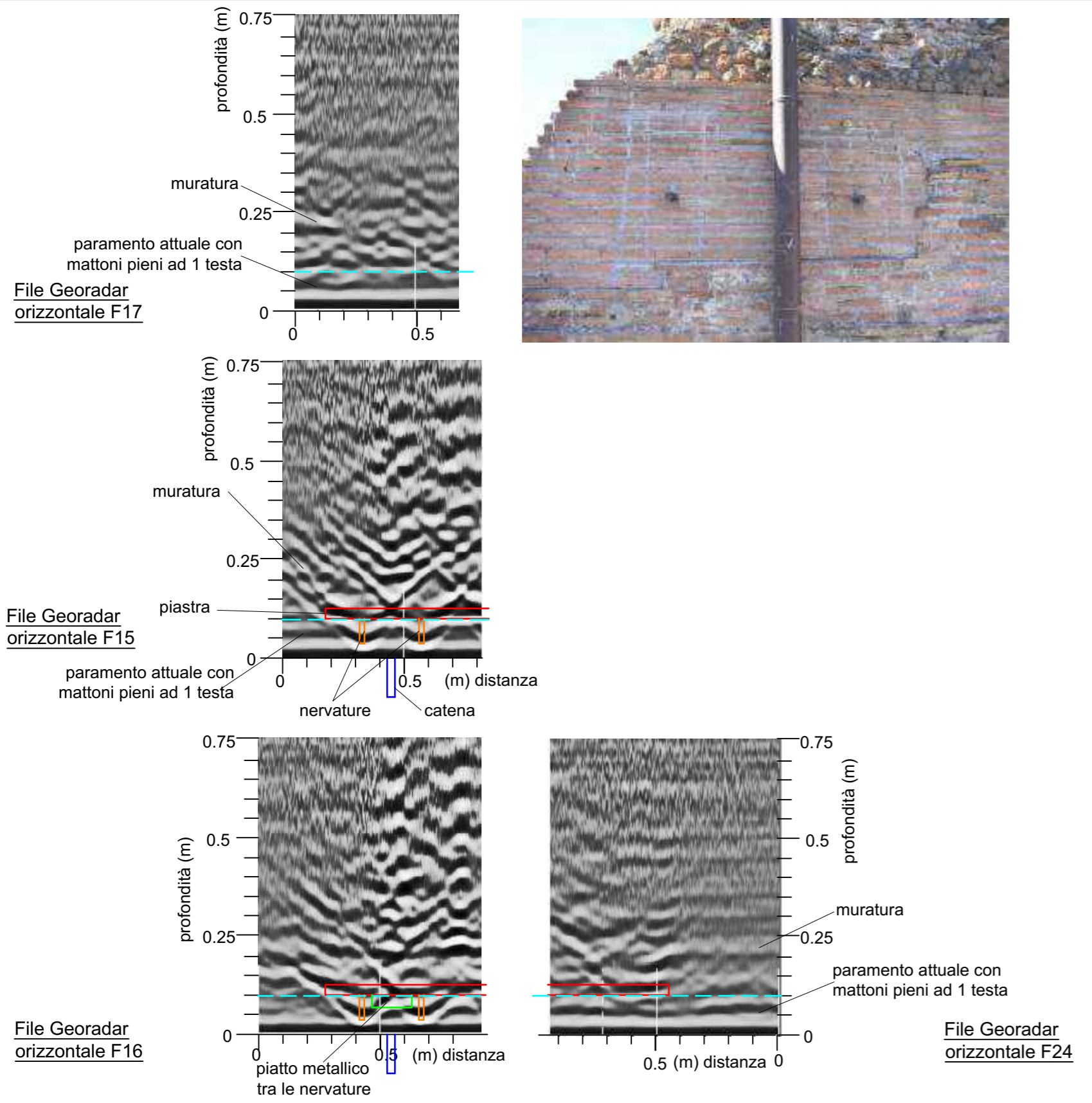
Società di ingegneria e Laboratorio autorizzato per l'esecuzione e la certificazione di prove e controlli sui materiali da costruzione su strutture esistenti del Settore "A" della Circolare 633/STC del 03-12-2019, di cui all'art.59, comma 2, lettera c-bis) del D.P.R. n. 380/2001. Decreto di Autorizzazione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



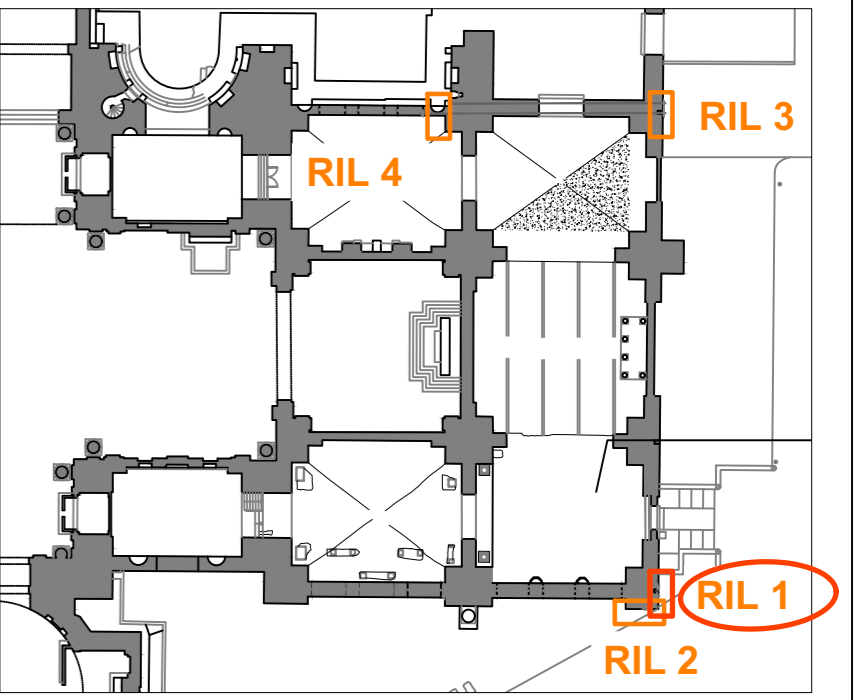
SO.IN.G Strutture e Ambiente S.r.l.
www.soing.eu

Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL 1

RIL 1



- Legenda**
- piastra di ancoraggio della catena
 - - - nervature rilevate/ ipotizzate
 - catena
 - - - piatto tra le nervature verificato / ipotizzato
 - - - limite tra il paramento attuale di mattoni pieni ad 1 testa e la muratura/piastra



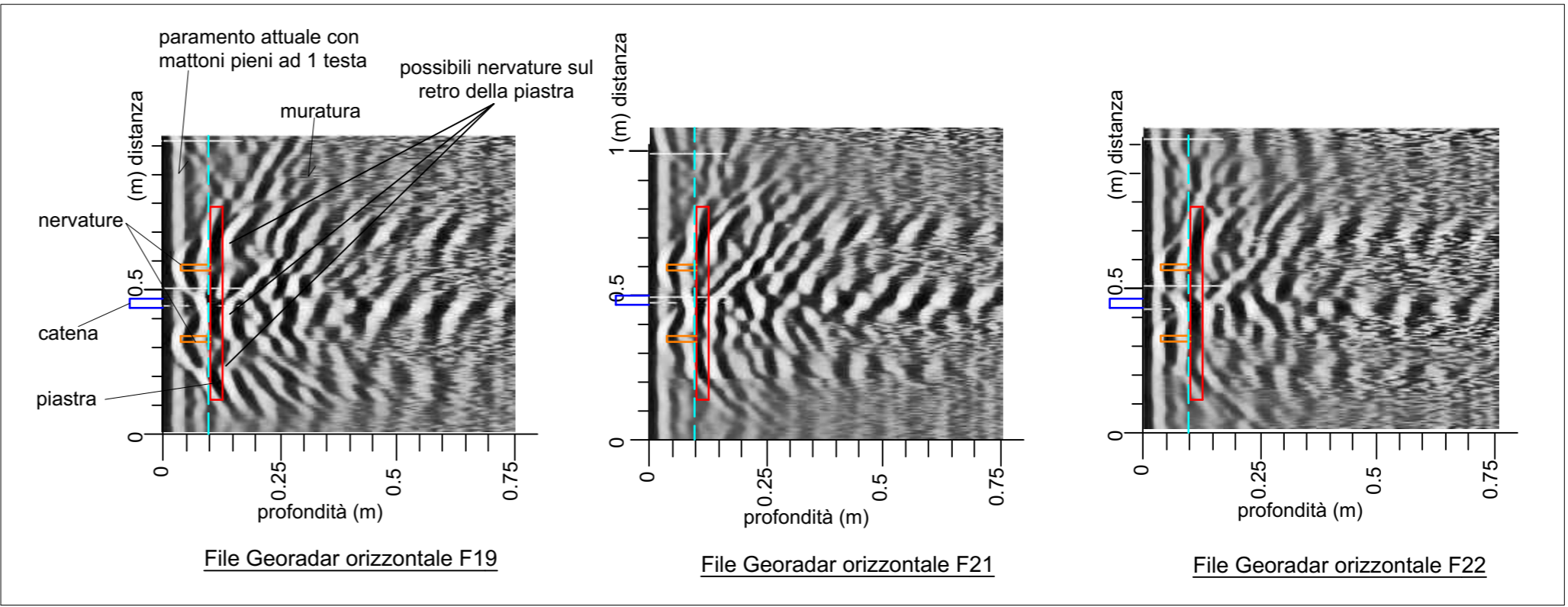
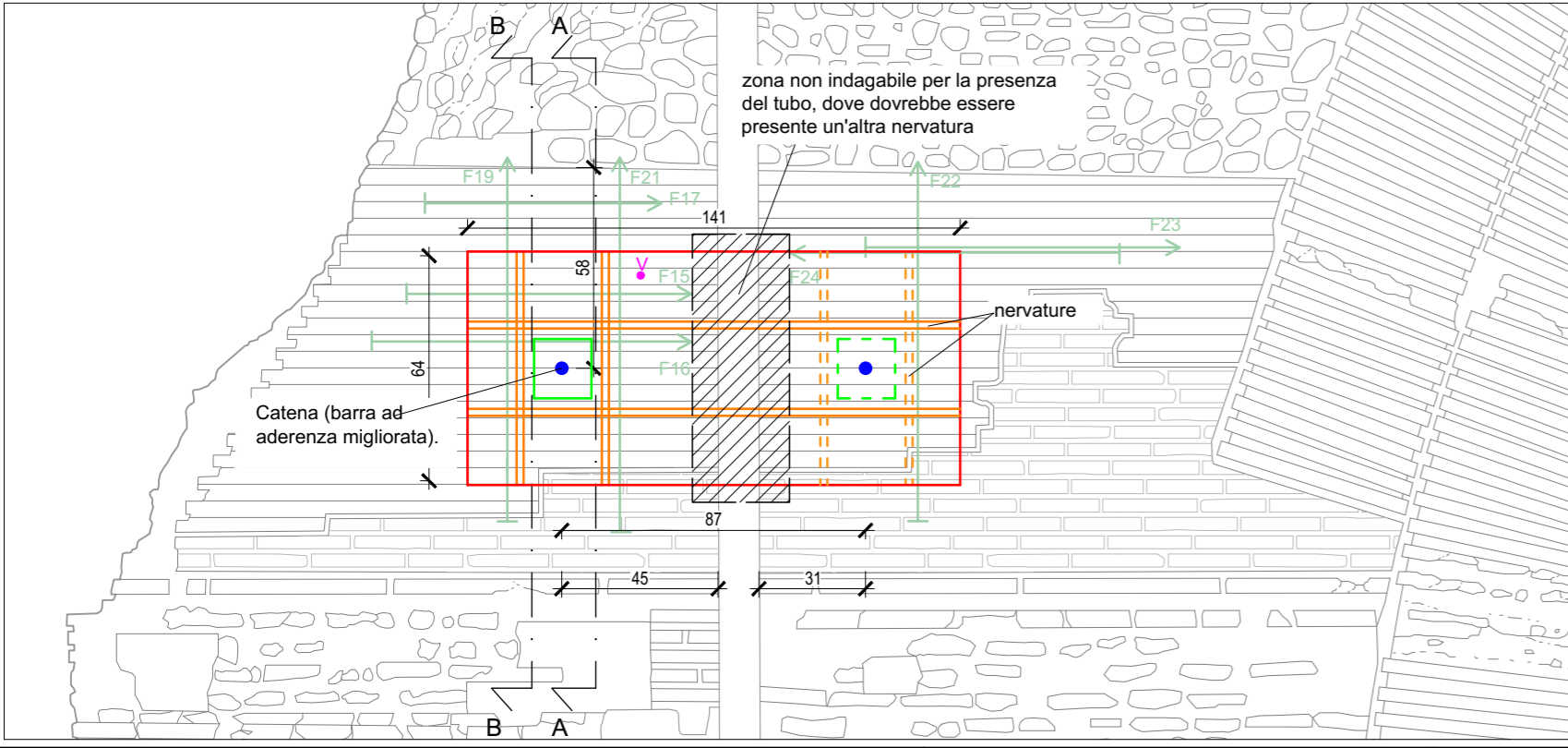
- Note:**
- le catene sono barre ad aderenza migliorata.
 - diametro barre = 32mm (al netto dell'ingombro delle nervature che costituiscono l'aderenza migliorata)



N.B. Gli assi delle sezioni georadar, distanza e profondità, non sono in rapporto 1:1

N.B. La definizione "ipotizzato" nella legenda è riferita a parti della struttura non direttamente verificate con l'indagine georadar, ma facilmente ipotizzabili per simmetria.

Dettaglio con ricostruzione geometrica della piastra di ancoraggio sul Prospetto Sud-Est (scala 1:20)



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

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 F89D2100020001

OGGETTO
Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL1
ELABORAZIONE Ing. Erika Lorenzini
VERIFICA Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA
6 Ottobre 2022

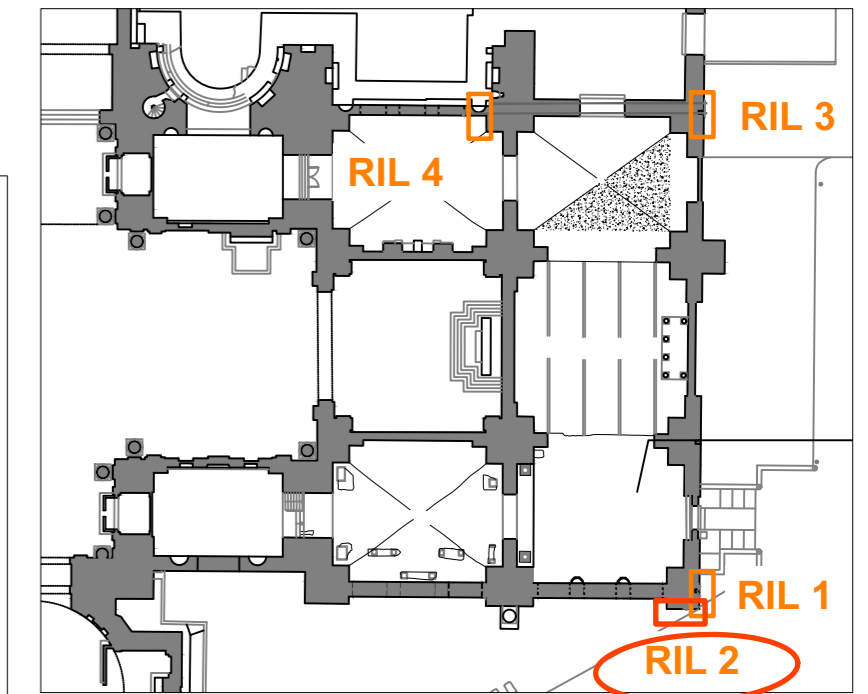
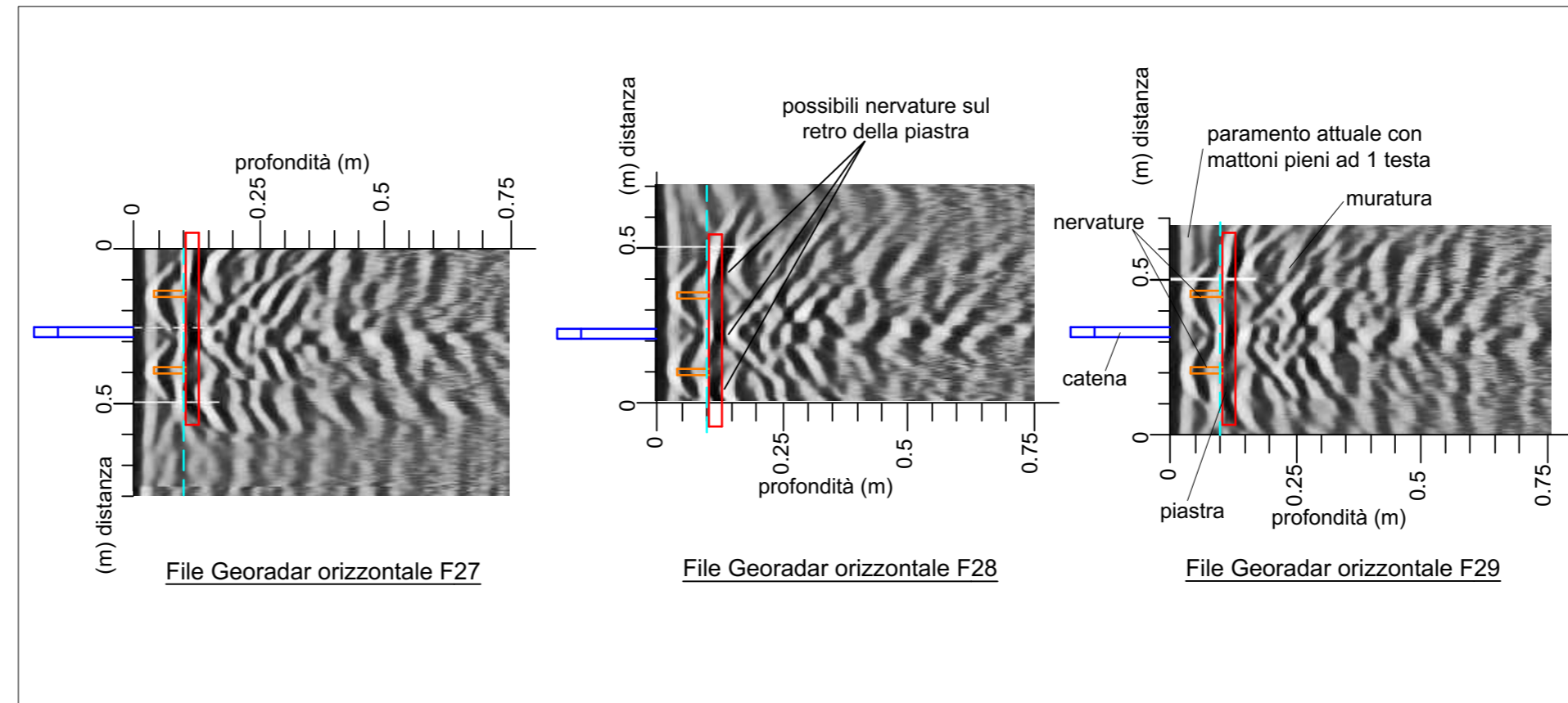
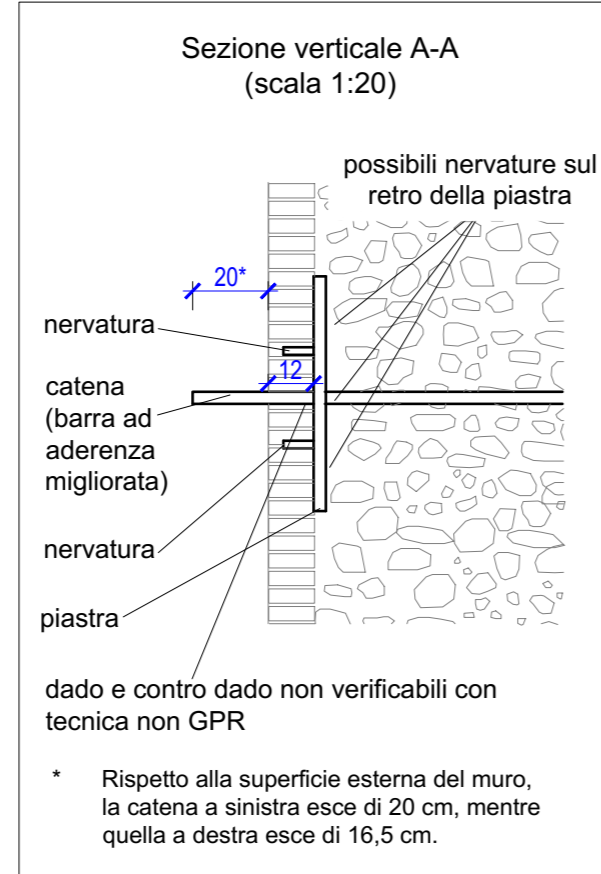
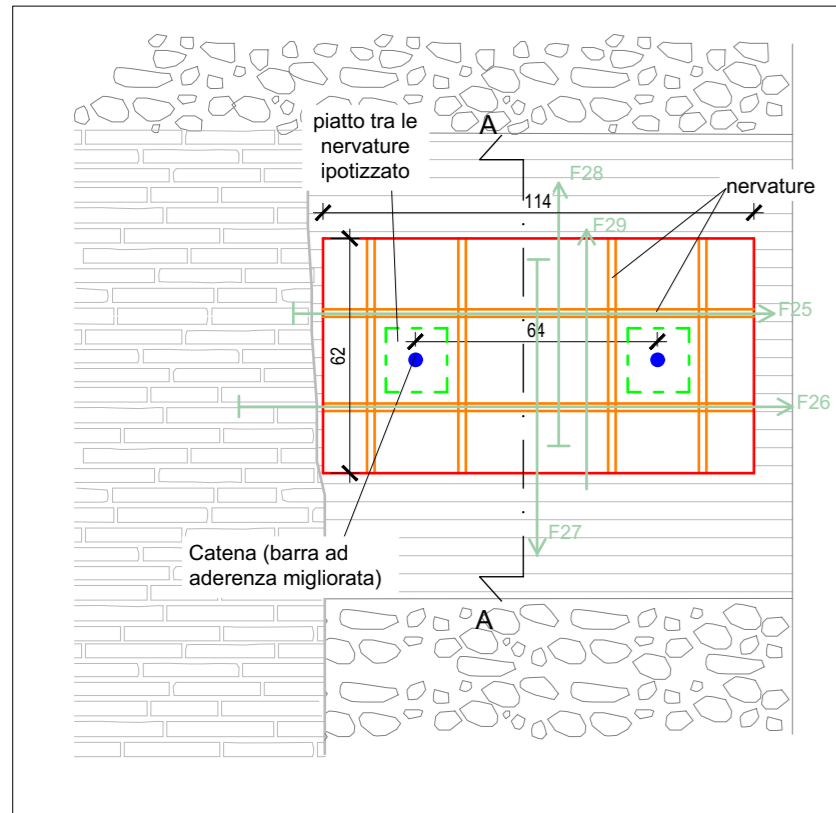
RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

TAVOLA
1

Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL 2

RIL 2

Dettaglio con ricostruzione geometrica della piastra di ancoraggio (scala 1:20)

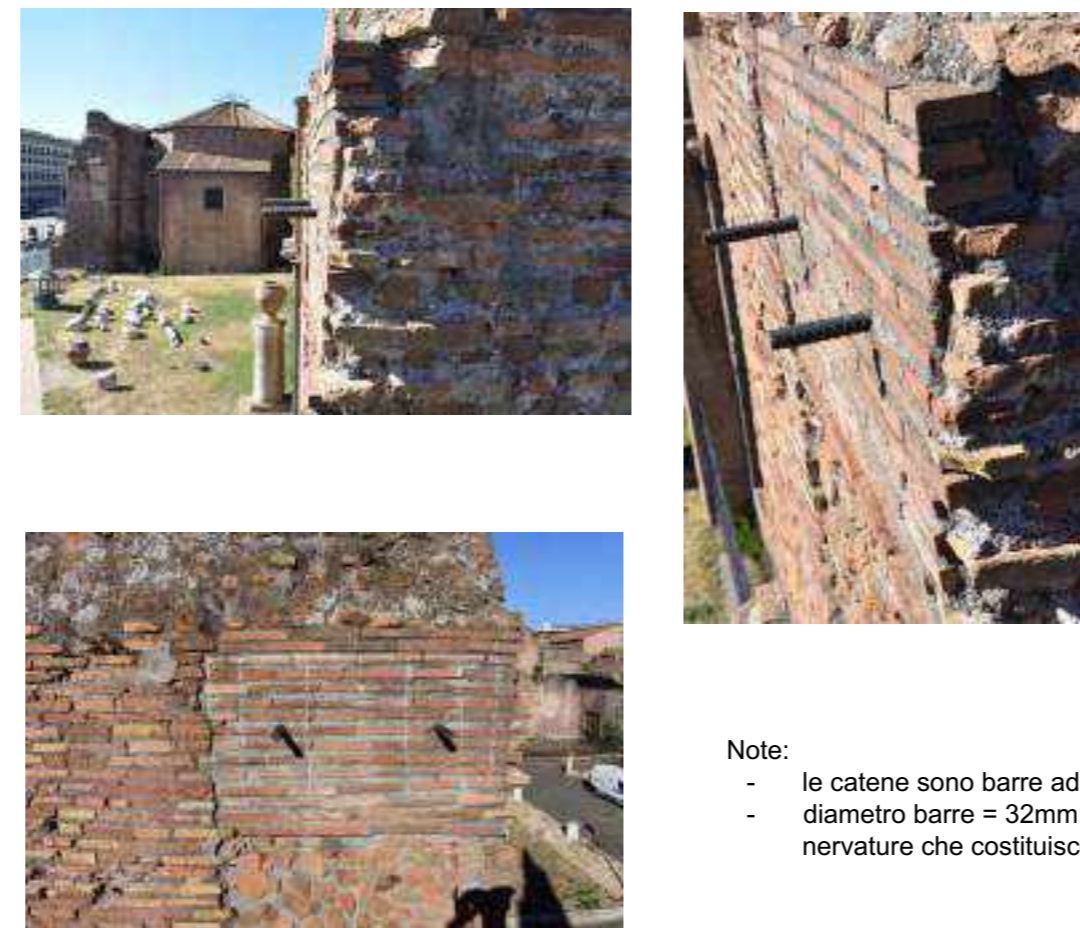
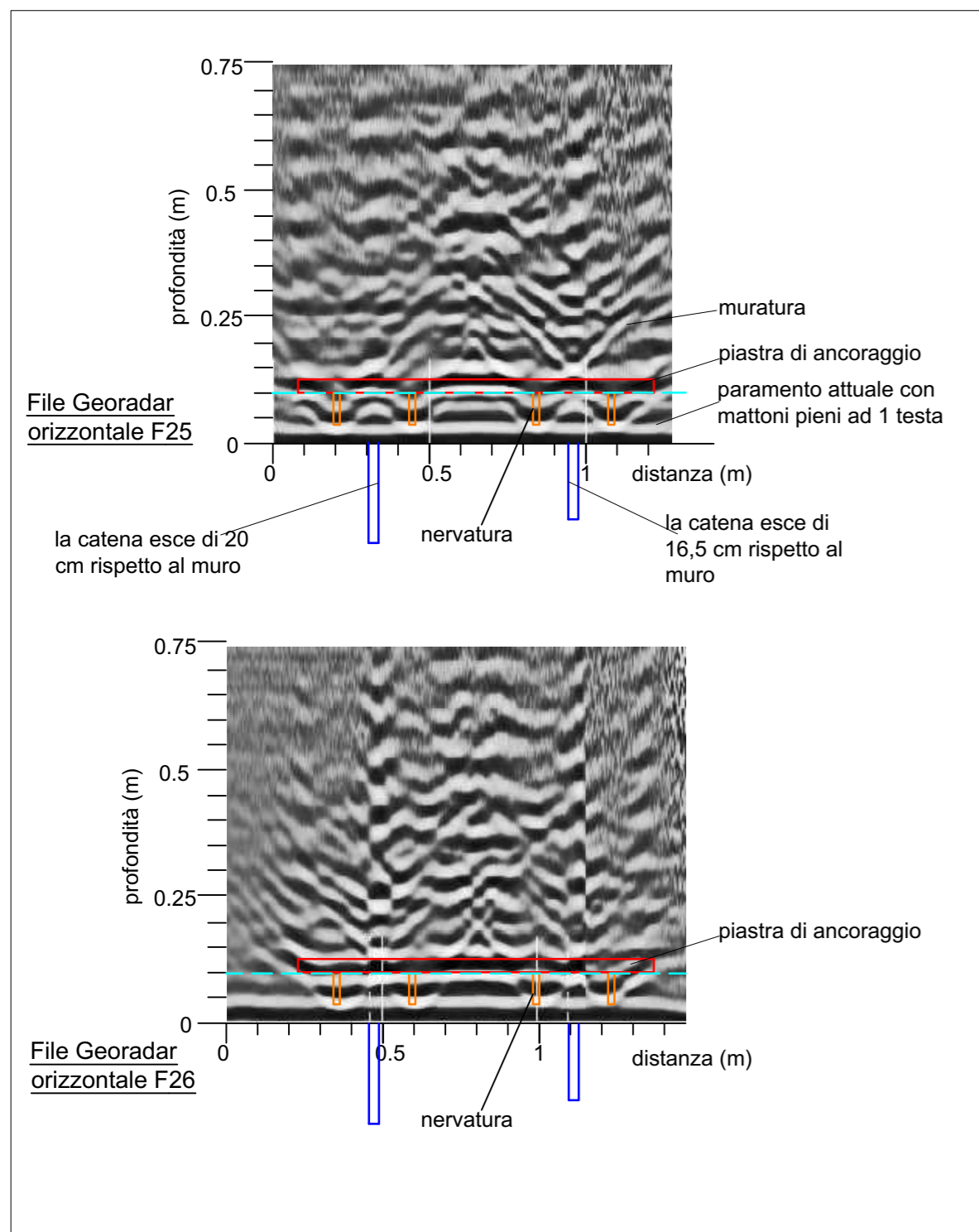


Ubicazione delle indagini

Legenda

- piastra di ancoraggio della catena
- - - nervature rilevate/ ipotizzate
- catena
- - - piatto tra le nervature verificato / ipotizzato
- - - limite tra il paramento attuale di mattoni pieni ad 1 testa e la muratura/piastra

N.B. La definizione "ipotizzato" nella legenda è riferita a parti della struttura non direttamente verificate con l'indagine georadar, ma facilmente ipotizzabili per simmetria.



Note:

- le catene sono barre ad aderenza migliorata.
- diametro barre = 32mm (al netto dell'ingombro delle nervature che costituiscono l'aderenza migliorata)

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

OGGETTO
Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL2

ELABORAZIONE	Ing. Erika Lorenzini
VERIFICA	Arch. Annalisa Morelli
APPROVAZIONE	Ing. Paolo Chiara

DATA CONSEGNA
6 Ottobre 2022

RIF. INTERNI
CO-049_22_archi

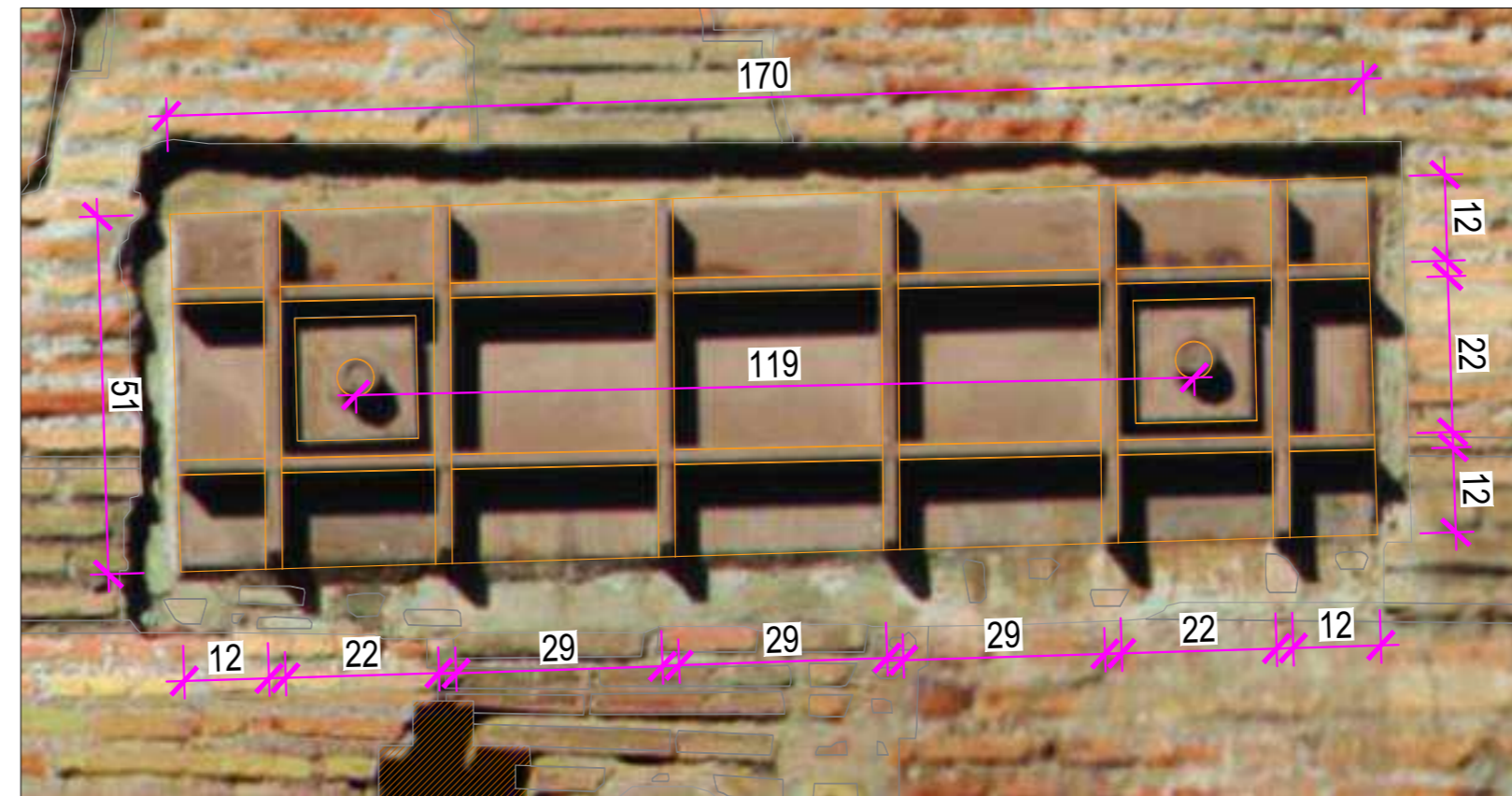
TAVOLA
2

Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL 3 e RIL 4

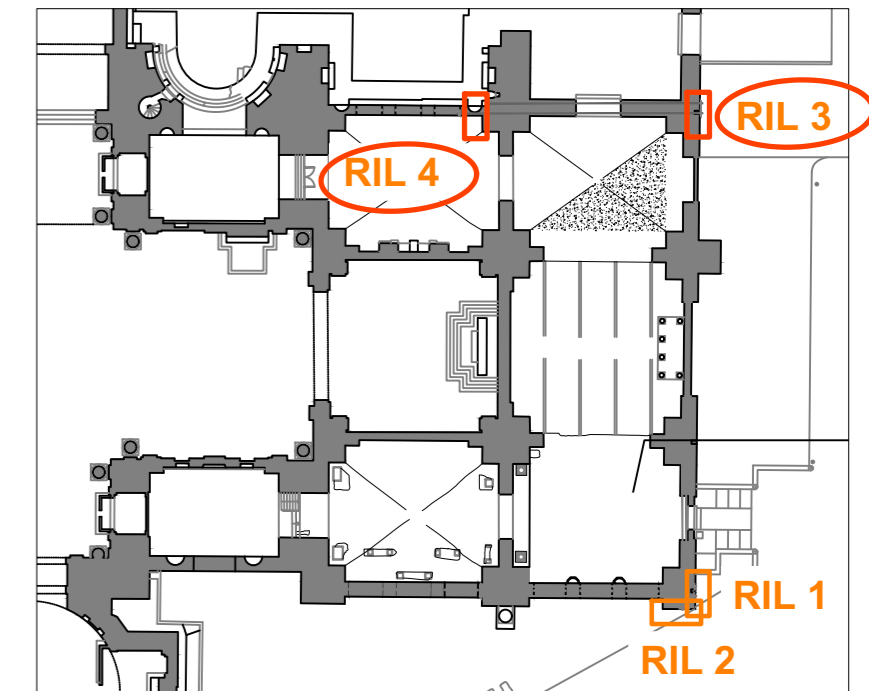
RIL 3



Dettaglio del Prospetto Sud -Est (scala 1:200) fornito dalla committenza



Dettaglio della piastra di ancoraggio delle catene in corrispondenza del punto RIL3. Tratto dal Prospetto Sud-Est (scala 1:10)



Ubicazione delle indagini


RIL 4



Piastra di ancoraggio a vista



Piastra di ancoraggio a vista

 <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 Rilievo geometrico delle piastre di ancoraggio dei tiranti - RIL3 e RIL 4</p>		<p>TAVOLA 3</p>
			<p>ELABORAZIONE Ing. Erika Lorenzini VERIFICA Arch. Annalisa Morelli APPROVAZIONE Ing. Paolo Chiara</p>	<p>DATA CONSEGNA 6 Ottobre 2022</p>	

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

Prove non invasive sui Pilastrì delle Grandi Aule

Tecniche: Tomografia Sonica, Indagine Georadar, Tomografia elettrica

RELAZIONE TECNICA INTEGRATA

Ns. Rif.: CO-049_22

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

SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l.

Via A. Nicolodi 48 - 57121 Livorno
Tel. +39 0586 426710 www.soing.eu
soing@soing.eu
P.IVA 01453530493



INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI.....	6
2.1 Inquadramento sulle tecniche costruttive utilizzate.....	7
2.2 Aspetto dei pilastri indagati.....	9
3. TECNICHE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE UTILIZZATE.....	16
3.1 Indagine Georadar (G).....	16
3.2 Indagine Sonica su murature (Sn).....	19
3.2.1 Indagine sonica Sn2.....	22
3.2.1.1 Acquisizione semidiretta Sn2.....	23
3.2.1.2 Acquisizione indiretta Sn2.....	23
3.2.2 Indagine sonica Sn4.....	24
3.2.2.1 Acquisizione diretta Sn4.....	25
3.2.2.2 Acquisizione indiretta Sn4.....	25
3.3 Indagine elettrica di tipo Tomografico 3D (3Dp).....	25
3.3.1 Configurazione delle misure per l'acquisizione dei dati 3D sui pilastri.....	27
4. RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE SUI PILASTRI.....	32
4.1 Risultati Indagine Georadar sui pilastri (Codice prova G2 e G4).....	32
4.1.1 Pilastro 2- Codice prova G2.....	35
4.1.2 Pilastro 4- Codice prova G4.....	40
4.2 Risultati Indagine sonica sui pilastri (Codice prova Sn2 e Sn4).....	43
4.2.1 Pilastro 2- Codice prova Sn2.....	43
4.2.2 Pilastro 4- Codice prova Sn4.....	44
4.3 Risultati dell'indagine di Tomografia elettrica 3D (Codice 3Dp2 e 3Dp4)..	45
4.3.1 Pilastro 2- Codice prova 3Dp2.....	46
4.3.2 Pilastro 4- Codice prova 3Dp4.....	53
5. CONCLUSIONI.....	58
ALLEGATI	

Elaborato grafico 3A_codice prova G_Indagine georadar

Elaborato grafico 3B_codice prova Sn_indagine sonica

Elaborato grafico 3C_codice prova 3Dp_indagine elettrica 3D

Elaborato grafico 3D1_codice prova C_carotaggio e prove di schiacciamento

Elaborato grafico 3D2_codice prova C_videoendoscopia nei fori di carotaggio

SO.IN.G. Strutture e Ambiente S.r.l.

Via A. Nicolodi 48 - 57121 Livorno
 Tel. +39 0586 426710 www.soing.eu
 soing@soing.eu
 P.IVA 01453530493



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 sui pilastrini, in particolare Georadar multifrequenza, Tomografia elettrica 3D

e Indagine Sonica. Nella descrizione dei risultati, ove sia necessario, si fa riferimento alle prove dirette eseguite nello spessore murario, i cui risultati sono descritti in dettaglio in altri elaborati grafici e tecnici.

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:

- 3A_Codice prova G_Indagine Georadar
- 3B_Codice prova Sn_Indagine Sonica
- 3C_Codice prova 3Dp_Indagine ERT3D

La sigla propria di ogni prova viene poi fatta seguire dal numero di attribuzione del pilastro studiato.

2. UBICAZIONE DELLE INDAGINI

I pilastri indagati e oggetto di questa relazione sono stati denominati Pilastro 2 e Pilastro 4. Il Pilastro 2 si trova a cavallo tra l'Aula V e l'Aula IV, mentre il Pilastro 4 tra le Aule I e II. Entrambi i pilastri affacciano sia all'interno della struttura che sui giardini esterni, che si trovano ad una quota superiore di circa 1,5-1,6 m rispetto al piano di calpestio interno alla struttura.

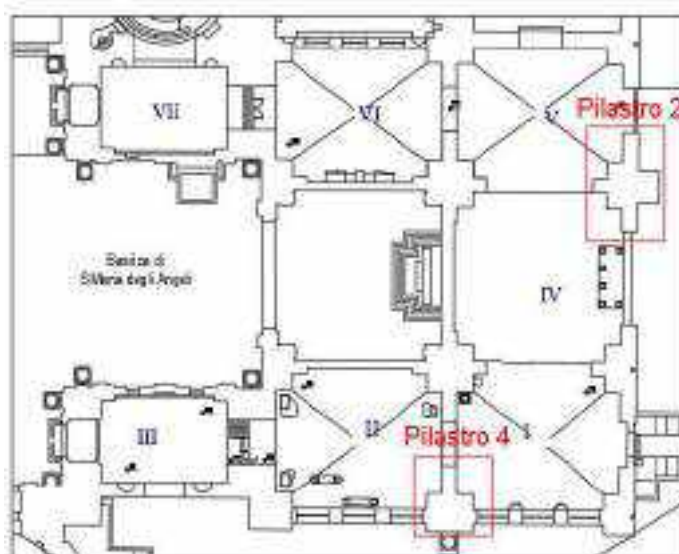


Figura 2.1 – Ubicazione in planimetria dei Pilastri 2 e 4

Per poter confrontare i risultati ottenuti con le diverse tecniche di indagine utilizzate, le varie facce dei pilastri sono state nominate univocamente (v. Figura 2.2).

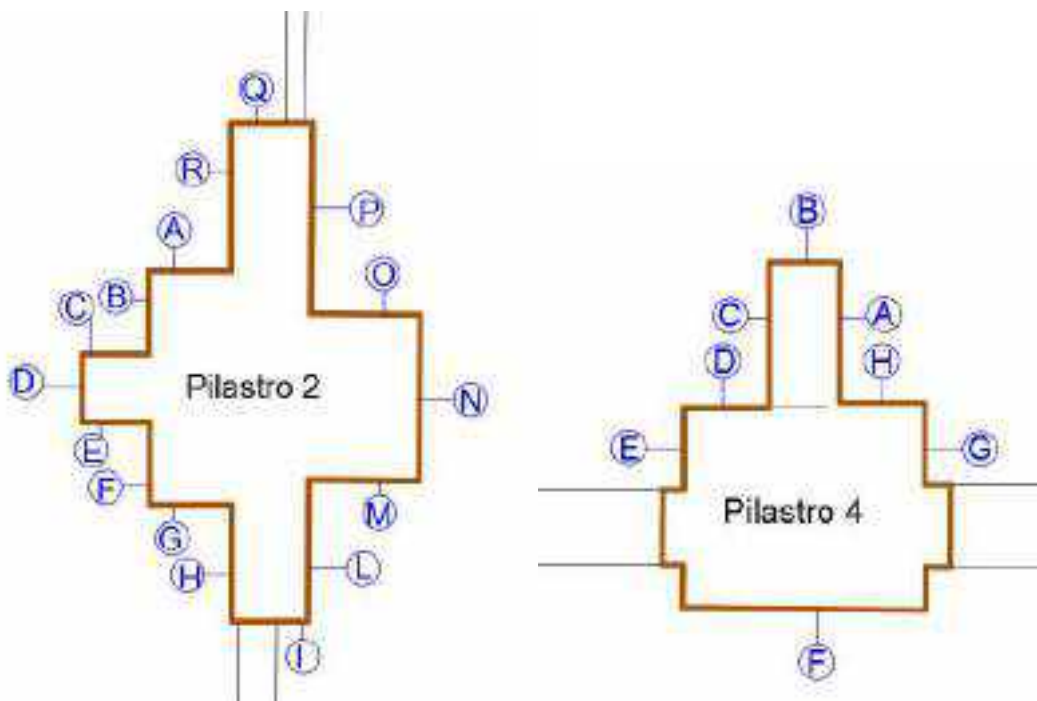


Figura 2.2 – Sezioni dei pilastri 2 e 4 e nomenclatura delle facce per facilitarne la descrizione nell'elaborato grafico e della descrizione dei risultati

2.1 Inquadramento sulle tecniche costruttive utilizzate

I pilastri oggetto di questa relazione sono realizzati mediante la tecnica edilizia inventata ed ampiamente utilizzata dai romani denominata “Opus Caementicium” (opera cementizia). Tale tecnica prevede l'utilizzo di calce viva, prodotta dal processo di calcinazione di rocce calcaree, e successivamente spenta utilizzando acqua e mescolata con materiale “pozzolanaceo” (ceneri e lapilli piroclastici).

La malta così prodotta veniva messa in opera all'interno di una trincea con o senza armatura lignea per le fondazioni, mentre per l'elevato l'opera di contenimento della malta veniva eseguita dai paramenti stessi dell'opera, precedentemente preparati e realizzati, nel nostro caso con ricorsi di laterizi legati da strati di malta. Una volta pronte le cortine esterne si riempiva la cavità che risulta nel mezzo, alternando uno strato di malta con uno strato di inerti denominati “caementa”. Colmata la porzione centrale si procedeva ad innalzare nuovamente il paramento e l'opera cresceva per fasi successive. I caementa utilizzati avevano diversa natura: blocchi di tufo di differenti formazioni vulcaniche, resti di laterizi, clasti di lava, di calcare e travertino. Osservando le carote realizzate si riconoscono prevalentemente resti di laterizi e clasti di tufo di diverso colore. Subordinatamente clasti carbonatici di taglia ridotta. Nella relazione tecnica dedicata esclusivamente alle analisi petrografiche si trovano

tutti i dettagli derivanti da materiale prelevato nello spessore dei pilastri, oltre che dalla superficie delle volte (Elaborato 3F).

I costruttori romani, cercavano di sfruttare nel modo più conveniente le diverse caratteristiche meccaniche dei caementa in modo da mettere quelli più duri e resistenti in corrispondenza delle parti più sollecitate della muratura e alleggerendo gradualmente tutta la costruzione dal basso verso l'alto. Quindi i materiali più pesanti vanno soprattutto nelle fondazioni; le volte sono irrobustite alle reni e alleggerite nella parte superiore. Questo sistema trova un chiaro esempio nella sezione del Pantheon (Lugli, 1957).

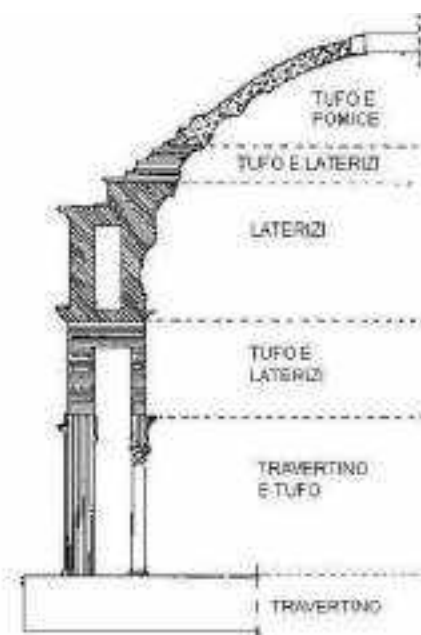


Figura 2.1.1 – Sezione del Pantheon indicante i caementa utilizzati nel nucleo (Lugli, 1957).

Si evidenzia inoltre che nello scritto “Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano” gli autori (Lombardi e Santucci) descrivono l’esistenza di discendenti pluviali realizzati con riseghe murarie quadrangolari posti in posizione superficiale rispetto al filo esterno delle murature, oppure inglobati nello spessore murario. Dall’immagine tratta dallo stesso lavoro si osserva che tali discendenti interessano anche i pilastri dell’area delle Terme oggetto di studio.



Figura 2.1.2 – Immagine tratta da “Gli impianti tecnici delle Terme di Diocleziano”.

Tale informazione è certamente di interesse per poter interpretare al meglio alcune variazioni nei dati acquisiti.

2.2 Aspetto dei pilastri indagati.

Esteriormente i pilastri oggetto di studio presentano un aspetto disomogeneo frutto dell'azione del tempo e di successive e ripetute attività di ricostruzione, restauro e ripristino.

Per un eventuale comparazione dei risultati ottenuti con le varie tecniche indirette e non invasive spinte alla descrizione interna della omogeneità muraria, sono stati elaborati dei prospetti delle varie facce dei pilastri che riassumono indicativamente l'aspetto esteriore del paramento.

Nelle figure sottostanti vengono riportate le diverse ricostruzioni di tessitura superficiale. L'obiettivo è quello di verificare la presenza di correlazione tra le diverse tipologie di paramento attuale della muratura e i risultati delle indagini che attraversano tutto o in parte lo spessore murario.

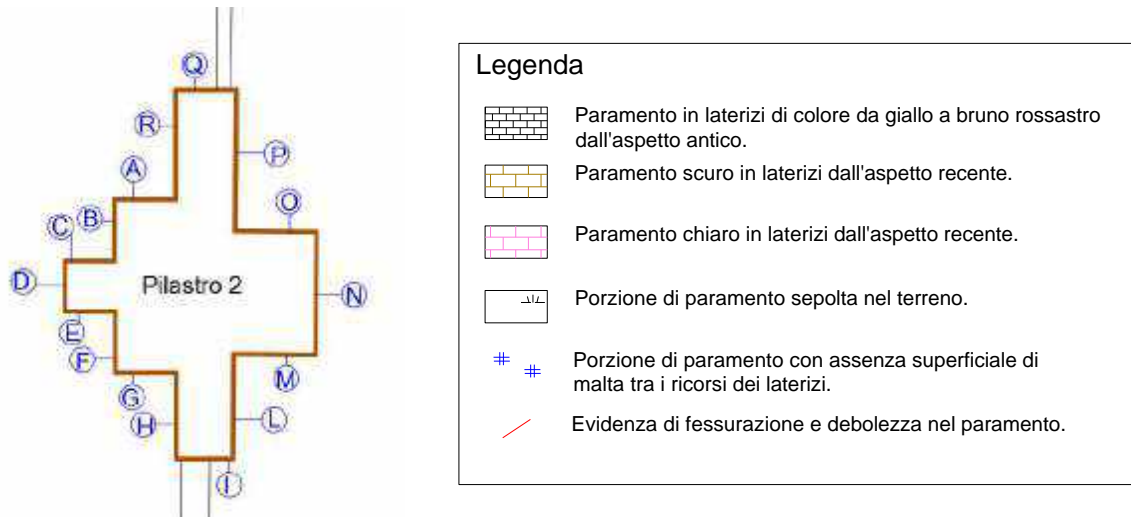


Figura 2.2.1 – Facce e Legenda relative al Pilastro 2.

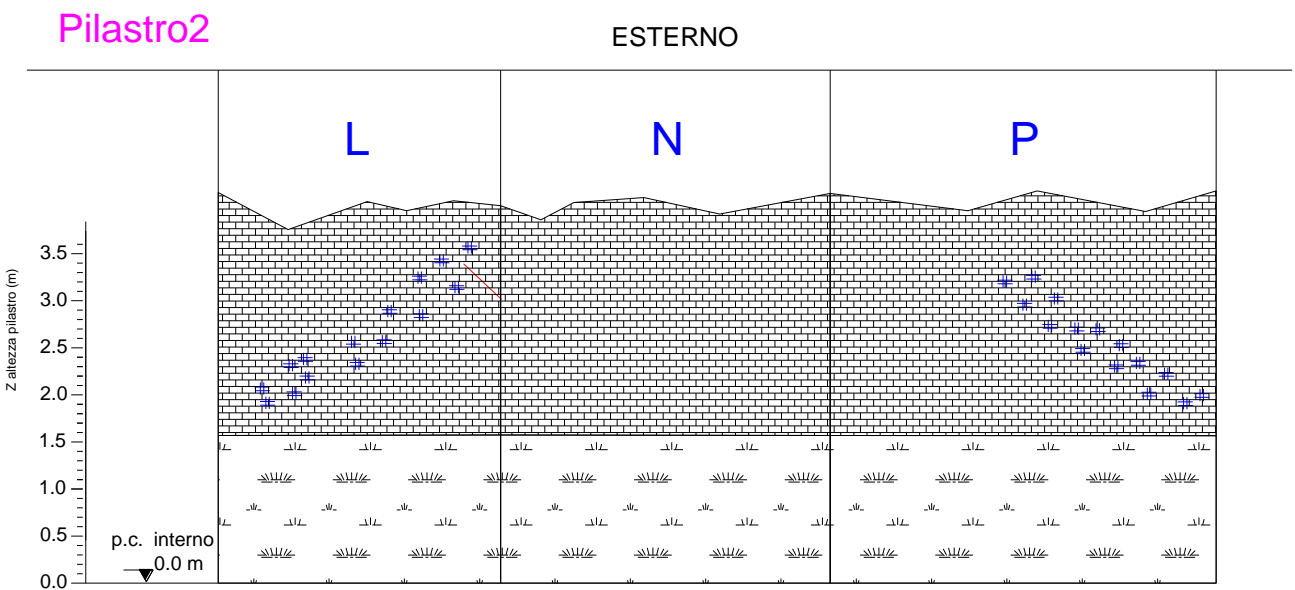
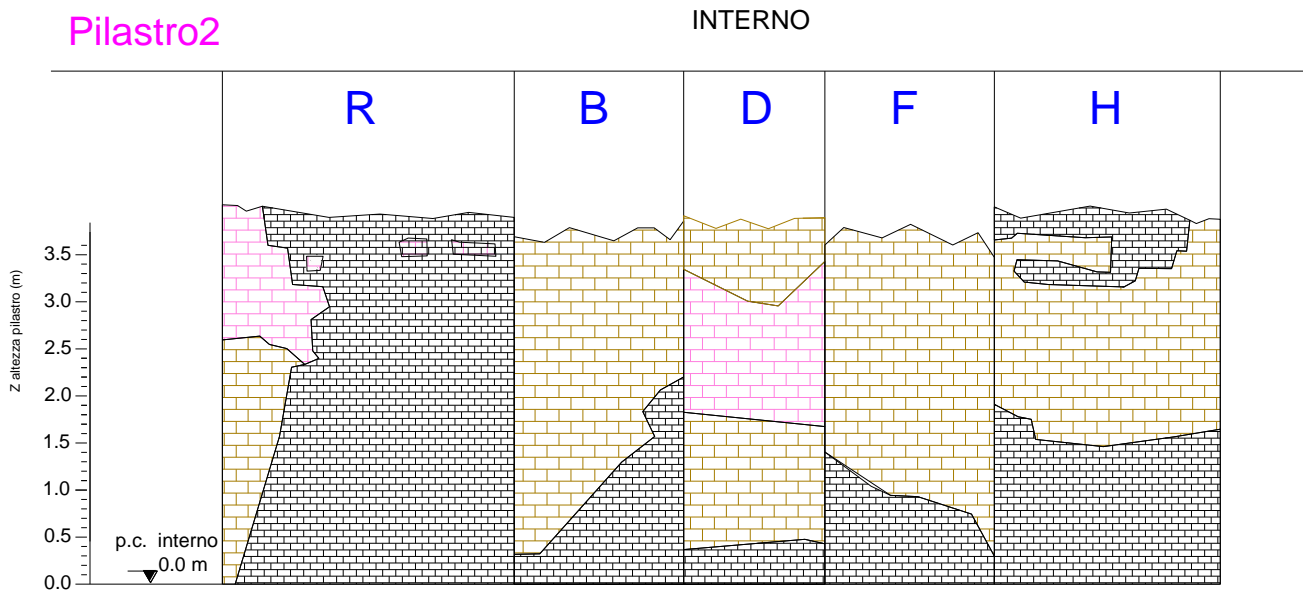


Figura 2.2.2 – Ricostruzione paramento del Pilastro 2.

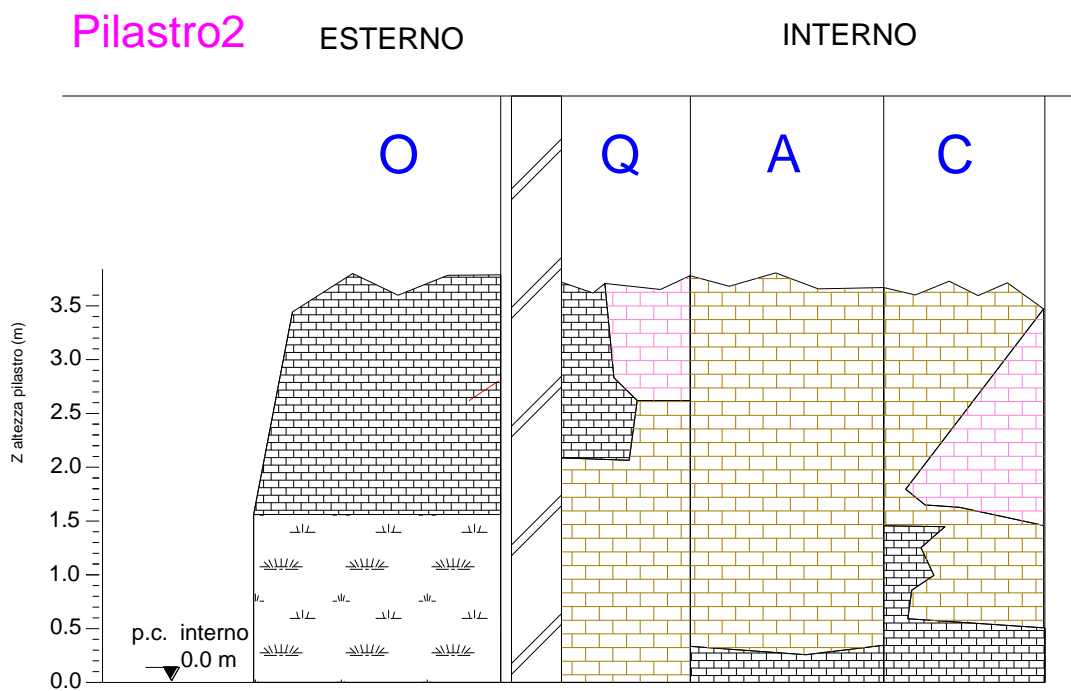
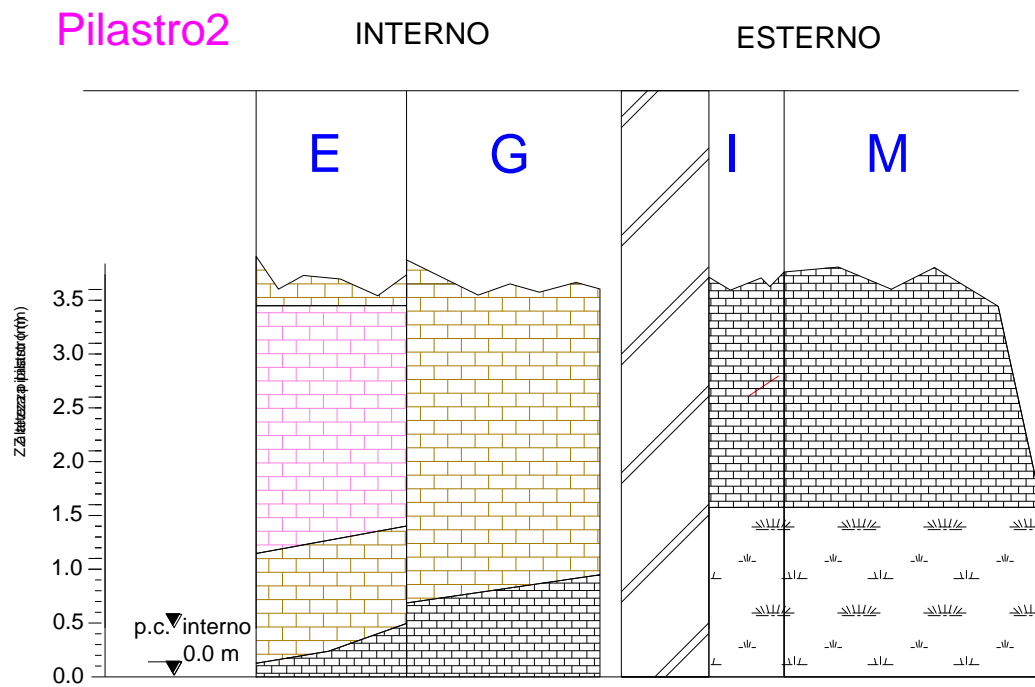


Figura 2.2.3 – Ricostruzione paramento del Pilastro 2.

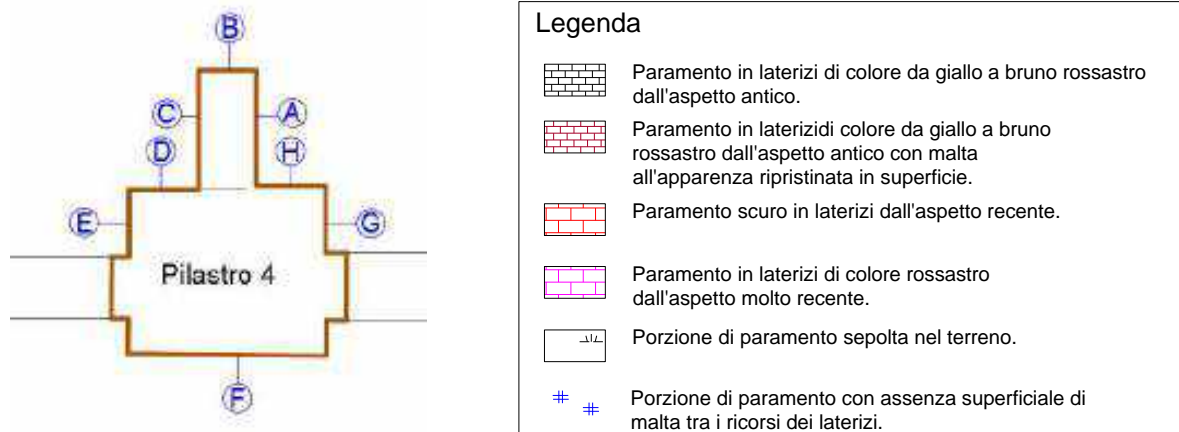
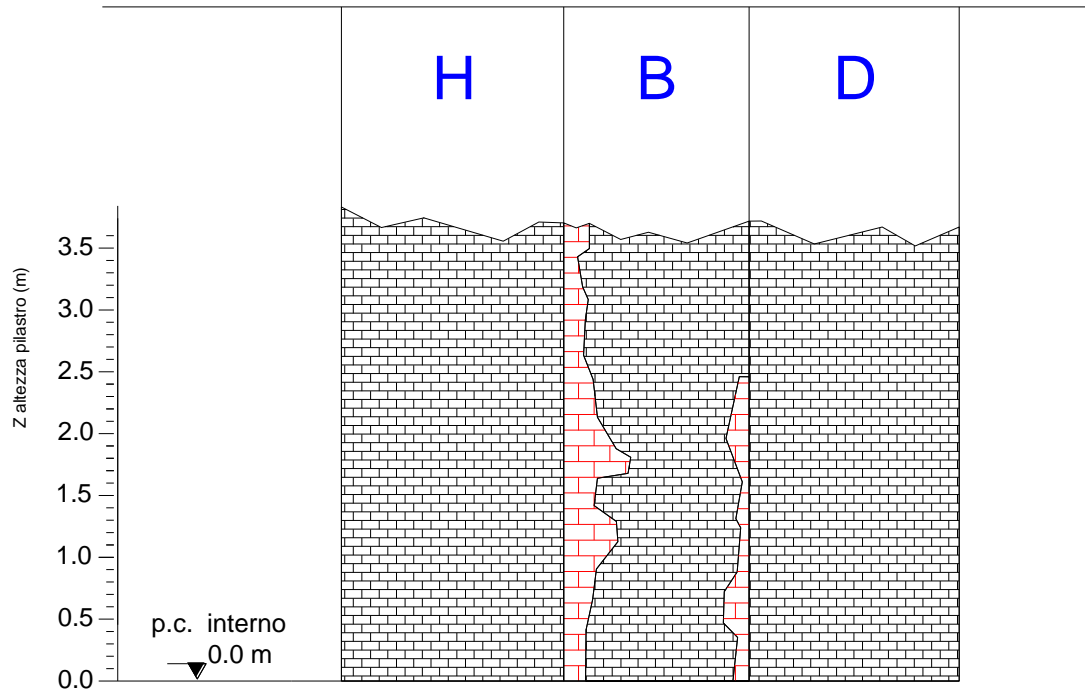


Figura 2.2.4 – Facce e Legenda relative al Pilastro 4.

Pilastro4

INTERNO



Pilastro4

ESTERNO

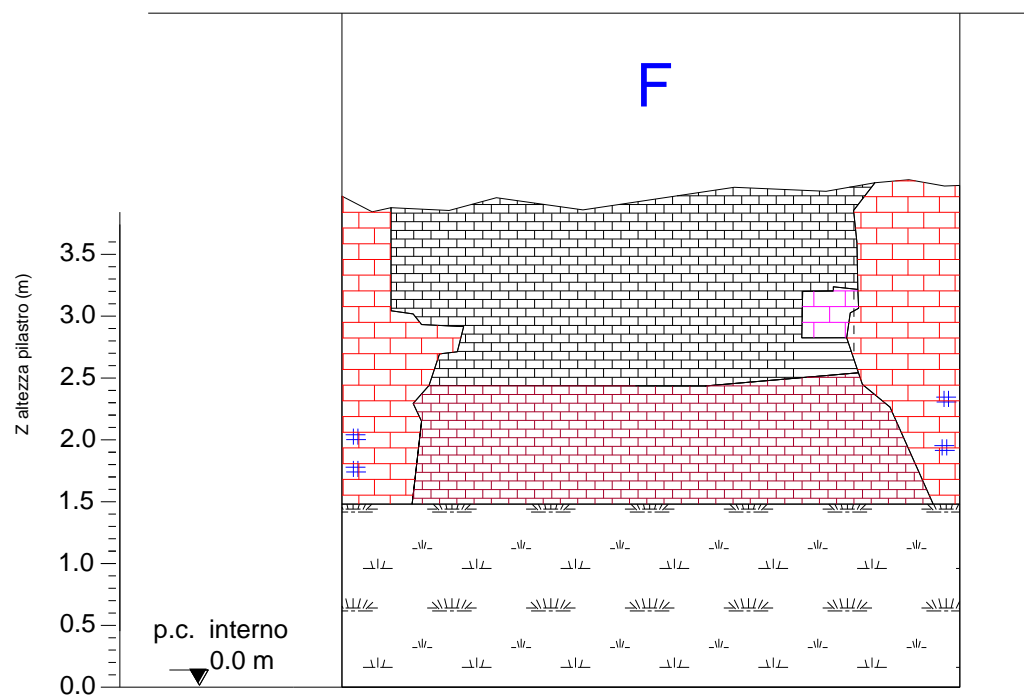
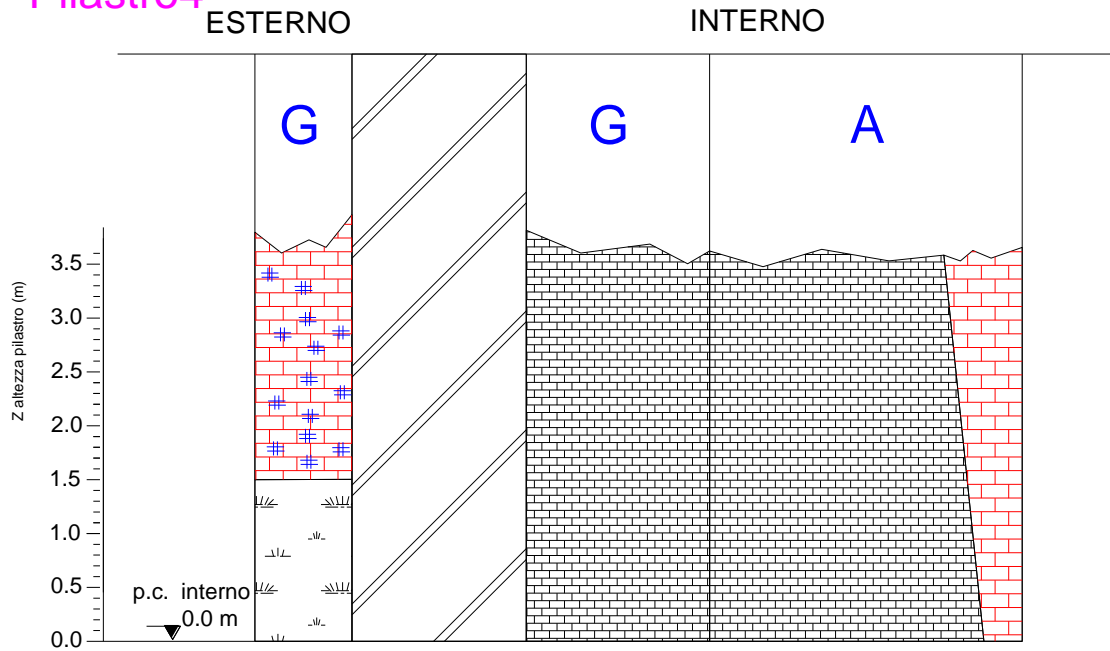


Figura 2.2.5 – Ricostruzione paramento del Pilastro 4.

Pilastro4



Pilastro4

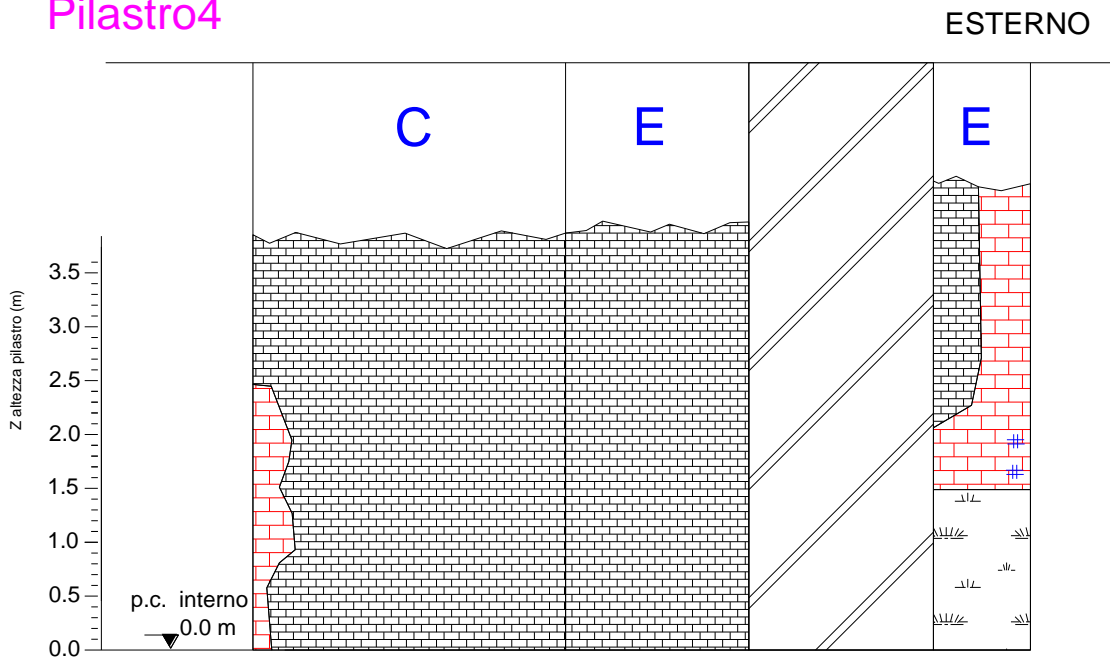


Figura 2.2.6 – Ricostruzione paramento del Pilastro 4.

3.TECNICHE E STRUMENTAZIONE DI INDAGINE UTILIZZATE

3.1 Indagine Georadar (G)

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.

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 soprattutto in applicazioni diverse dallo studio di sezioni murarie, e 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 tracce acquisite e le anomalie rilevate nelle strutture indagate.

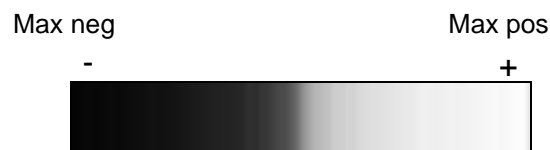
Il risultato dell'indagine radar 2D è una sezione continua del volume di struttura/suolo indagato in cui l'ascissa corrisponde al percorso dell'antenna e l'ordinata ai tempi andata-ritorno necessari alle onde elettromagnetiche per raggiungere nel mezzo gli orizzonti o gli oggetti riflettenti; le intensità 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. Questo nei casi in cui gli spazi e le superfici a disposizione siano tali da poter acquisire dati con la massima regolarità, e un passo regolare. Nel caso in oggetto di analisi sono state acquisite sezioni 2D la cui localizzazione rilevata con precisione, ha permesso comunque di poter posizionare al meglio le zone di interesse dal punto di vista della disomogeneità interna del pilastro, della cavità nel sottosuolo e degli spessori nelle volte.

La profondità è riferita alla superficie sulla quale è passata la strumentazione Georadar, nel nostro caso la superficie verticale della faccia del pilastro.

In linea generale, oltre all'utilizzo per gli scopi connessi al presente lavoro, la tecnica 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: