

Ministero della Cultura

SOPRINTENDENZA ABAP per le province di Pisa e Livorno

Lungarno Pacinotti, 46, 56126 Pisa PEC. sabap-pi@pec.cultura.gov.it



INTERVENTO

SAN GIULIANO TERME - PISA | Acquedotto mediceo
Lavori di messa in sicurezza e restauro tratto urbano ed extraurbano

FINANZIAMENTO

Finanziamento MiBACT Programmazione finanziata ai sensi dell'articolo 1, commi 9 e 10, della legge 23 dicembre 2014, n. 190 (legge di stabilità 2015) annualità 2019 e 2020 cap 8099/1 €uro 3.200.000,00

STAZIONE APPALTANTE

Soprintendenza ABAP per le province di Pisa e Livorno

LIVELLO

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO

INDAGINE DIAGNOSTICHE CONOSCITIVE

CODICE ELABORATO

PE-A-13-IDC

SOPRINTENDENTE

dr. arch. VALERIO TESI

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

dr. arch. VALERIO TESI

PROGETTISTI

FRANCESCHI GERMANI architetti associati
ingegneri associati TALINI & VENTURI

COORDINATORE PER LA SICUREZZA

dr. arch. EMANUELA MOLLICA

RILIEVO DIGITALE E FOTOGRAMMETRICO

dr. arch. FRANCESCO TIOLI

INDAGINI DIAGNOSTICHE STRUTTURALI

geom. SILVIO OLIVERIO (SurveyItalia srl)

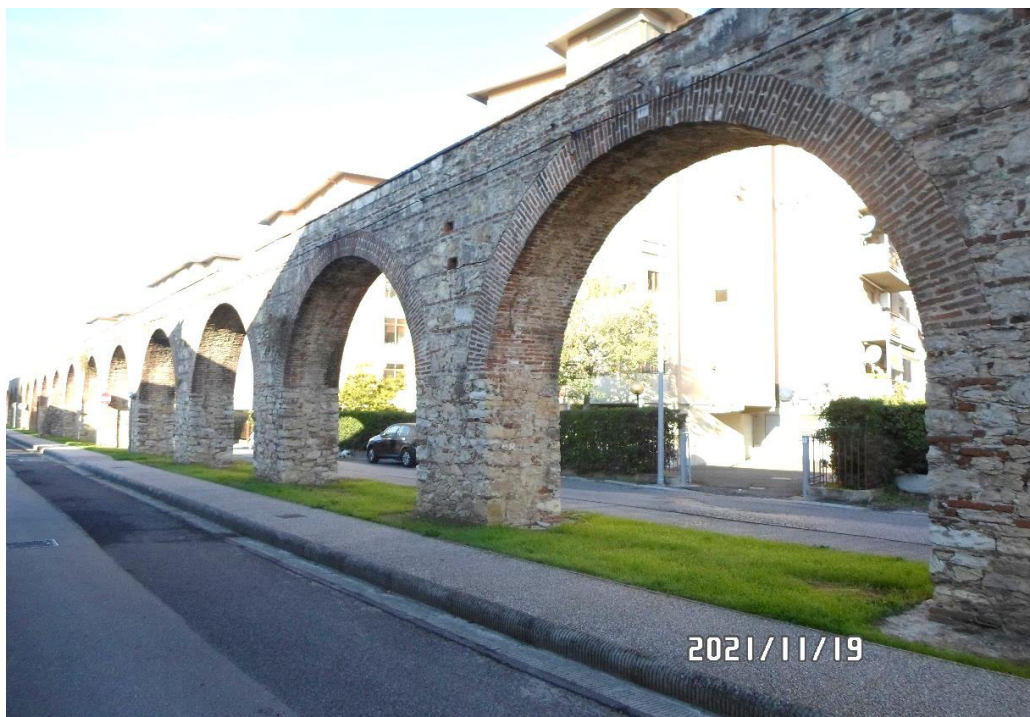
RELAZIONE GEOLOGICA E INDAGINI GEOGNOSTICHE

dr. ERALDO SANTARNECCHI

REVISIONE	DATA REVISIONE	AGGIORNAMENTI
0	MARZO 2024	EMISSIONE

**LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA E RESTAURO TRATTO URBANO ED
EXTRAURBANO DELL'ACQUEDOTTO MEDICEO - PROGRAMMAZIONE
FINANZIATA AI SENSI DELL'ART. 1, COMMI 9 E 10 DELLA LEGGE 23
DICEMBRE 2014, N. 190 (LEGGE DI STABILITÀ 2015) € 3.200.000,00**

RAPPORTO DI PROVA RP553-2021-PI



COMMITTENTE:

Ministero Della Cultura

**Soprintendenza Archeologica Belle Arti e Paesaggio
per le Province di Pisa e Livorno**

Lungarno A. Pacinotti, 46 - 56126 Pisa (PI)

Soprintendente: Arch. Valerio TESI

PROGETTISTI: Arch. Stefania Franceschi e Arch. Leonardo Germani

INDAGINE DIAGNOSTICA STRUTTURALE

ELABORATO IN DATA: 03/12/2021

INDAGINI ESEGUITE IN DATA: 08-28/10/2021 e 18-19/11/2021

NUMERO PAGINE: **61**

Sommario

Premessa.....	3
Campagna di indagine strutturale	4
Normativa di riferimento e strumentazione utilizzata	4
PROVE PENETROMETRICHE SU MALTA	4
INDAGINI SONICHE SU MURATURE	12
ENDOSCOPIE.....	28
MECCANICA DELLE MURATURE - MARTINETTI PIATTI.....	40
Estratto Tabella C8.5.I.....	41
SINTESI DEI RISULTATI MECCANICA DELLE MURATURE.....	41
MPT1-arco A4-5	42
MPT1-A4-5 SINGOLO	43
MPT1-A4-5 DOPPIO	44
MPT2-arco A74-75	46
MPT2-A74-75 SINGOLO	47
MPT2-A74-75 DOPPIO	48
MPT3-arco A141-142	50
MPT3-A141/142 SINGOLO	51
MPT3-A141/142 DOPPIO	52
Conclusioni sulle indagini.....	55
Proprietà meccaniche delle malte.....	55
Indagine sonica	55
Endoscopie murarie.....	56
Meccanica delle murature	56
Analisi petrografiche su campioni di malte prelevati dalle murature	56
Certificazione del personale.....	58

Premessa

La campagna di diagnostica strutturale è stata eseguita presso l'Acquedotto Mediceo di Pisa meglio noto come "I Condotti" nel tratto compreso tra via Di Pratale e Via De Amicis, nel tratto terminale presso Le Gondole.



La struttura si erige tra i comuni di Pisa e San Giuliano terme, ed è composta complessivamente da 954 archi equidistanti e decrescenti, edificati con muratura mista di pietra e laterizi. Le indagini, commissionate dalla Soprintendenza di Pisa, sono state condotte nel tratto pisano compreso tra Via Di Pratale e via De Amicis. Le analisi hanno permesso la caratterizzazione meccanica gli elementi strutturali di alcune arcate su indicazione del gruppo di lavoro coordinato dai progettisti Arch. Stefania Franceschi e Arch. Leonardo Germani.

Gruppo di lavoro che ha eseguito le prove:	
Geom. Silvio Oliverio [Albo Geometri Pisa n.1190]:	Operatore controlli non distruttivi (CND) Livello 3 UNI 473 della Survey Italia Controlli non Distruttivi Monitoraggi Rilievi Srl direzione tecnica Dott. Ing. Leonardo Landucci
Assistenti:	- Ing. Daniel Dal Pino [Albo Ingegneri Lucca n. A 2451] - Geom. Francesco Scuderi
	- Sig. Jarda Gavrila, Marika Turini
Gruppo di Progettazione	Franceschi e Germani Architetti Associati
Consulenza Geologica	Dott. Gelogo Eraldo Santarnecchi
Consulenza calcolo	Ing. Francesco Venturi Ing. Cristiano Talini

Campagna di indagine strutturale

Le indagini eseguite riferite al seguente rapporto riguardano la caratterizzazione dei materiali attraverso l'esecuzione delle seguenti indagini in situ:

• Endoscopie	6
• Prove su malta	6
• Indagini soniche	7
• Martinetti piatti in modalità singola e doppia	3+3

COMMITTENTE:	Soprintendenza Archeologia, Belle Arti E Paesaggio Per Le Province Di Pisa E Livorno – Lungarno A. Pacinotti 46, Pisa		
STRUTTURA:	Acquedotto Mediceo - Pisa		
DIRETTORE DELLE OPERAZIONI DI INDAGINE:	Arch. Stefania Franceschi Arch. Leonardo Germani		
PRESENTI IN CANTIERE:	- Personale <i>Survey Italia S.r.l.</i> - Arch. Stefania Franceschi - Arch. Leonardo Germani		

Normativa di riferimento e strumentazione utilizzata

Normativa di riferimento:

- NTC 2018 e circolare esplicativa 21 gennaio 2019 n.7
- Per prove su malta: UNI EN 998-2:2016 - ASTM C 803
- Per indagini soniche su murature: UNI EN 12504-4
- Per martinetti piatti: ASTM C1196 - C1197

Strumentazione utilizzata:

- Endoscopio ottico digitale con sonda flessibile
- Ultrasuoni SONIC 14 by MAE Srl
- Penetrometro per malte RSM 15 produttore DRC
- Pompa oleodinamica 700 bar con manometro digitale precisione 0.1 bar
- Martinetti piatti 320x125 mm
- Mototroncatrice Husqvarna K970 Ring
- Utensili vari

PROVE PENETROMETRICHE SU MALTA

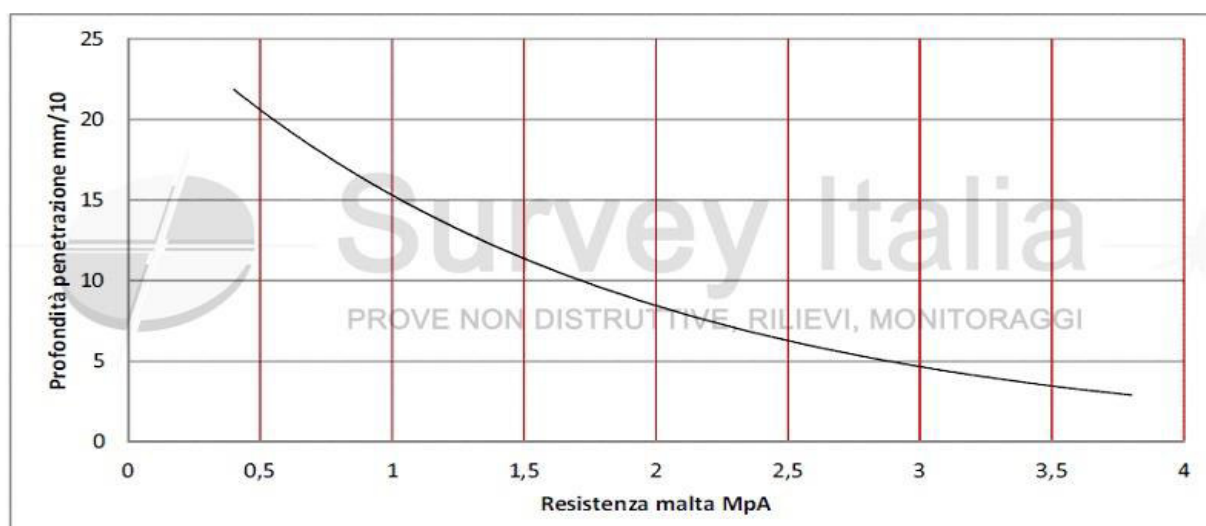
Tecnica di valutazione delle proprietà meccaniche della malta mediante infissione e misurazione dell'avanzamento di una sonda metallica normalizzata. La strumentazione

consiste in uno sclerometro che imprime colpi con carica predeterminata. È un metodo di penetrazione e il parametro che viene misurato è la profondità della cavità lasciata dalla sonda sulla superficie in prova. Il danno arrecato è di profondità e dimensioni molto limitate (pochi millimetri). Le letture effettuate vengono successivamente correlate con la resistenza a compressione del materiale mediante apposite tabelle di correlazione dello strumento. Per ciascuna serie di battute vengono impressi n. 7 colpi.

Per ogni stazione di prova sono state eseguite almeno n.3 prove mediate tra loro.

Classe	M1	M2,5	M5	M10	M20	Md
Resistenza a compressione (N/mm ²)	1	2,5	5	10	20	d
d Resistenza a compressione dichiarata dal fabbricante maggiore di 20 N/mm ² come multiplo di 5.						

Curva di correlazione tra profondità della penetrazione e resistenza della malta riferito a penetrometro per malta RSM 15 – produttore DRC

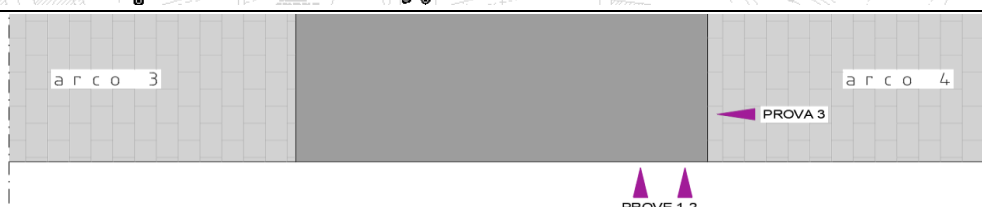
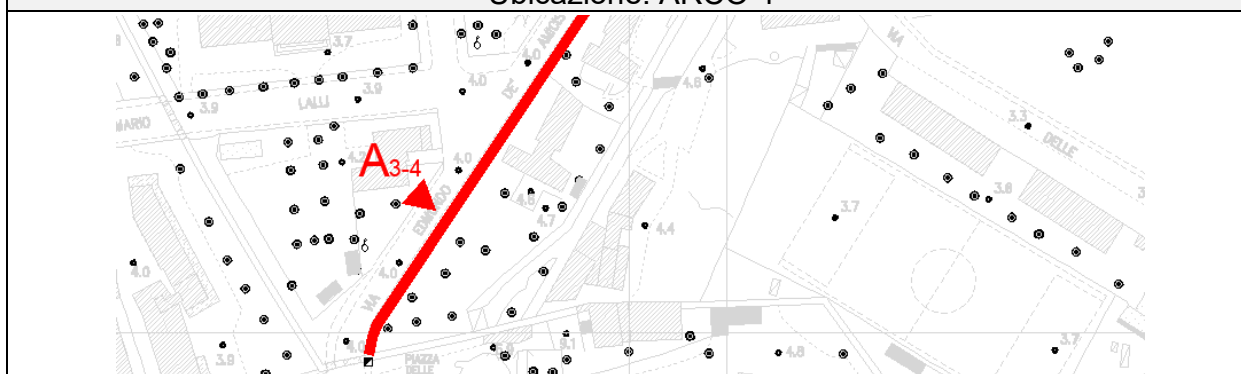


CM1-ARCO4

Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa
Oggetto:	Caratterizzazione della malta
Esecutori:	S.O.

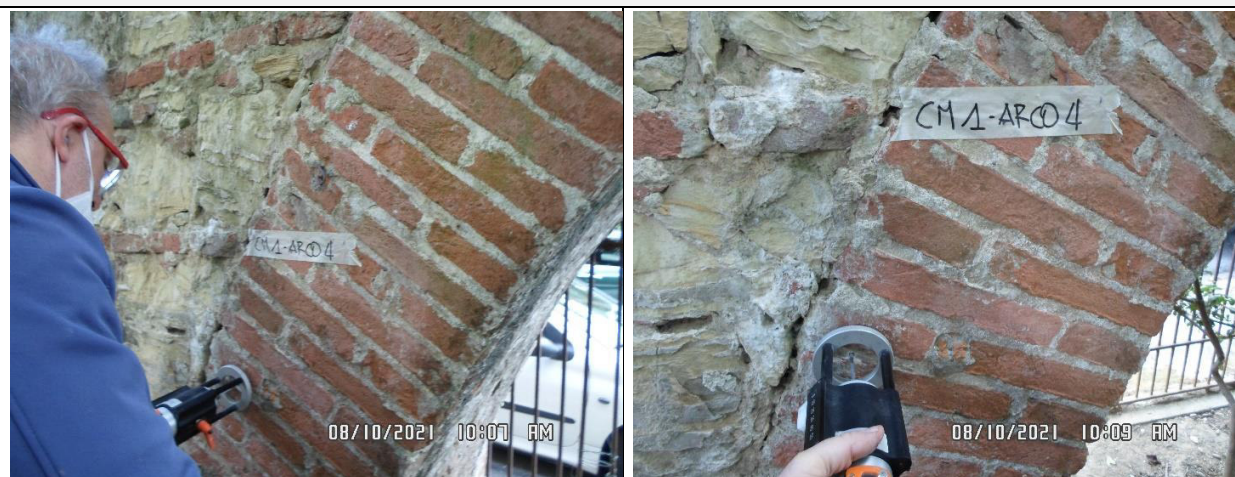


Ubicazione: ARCO 4




Numero serie effettuate	3
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	3,5 mm
Resistenza malta:	3,5 MPa
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M2,5

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

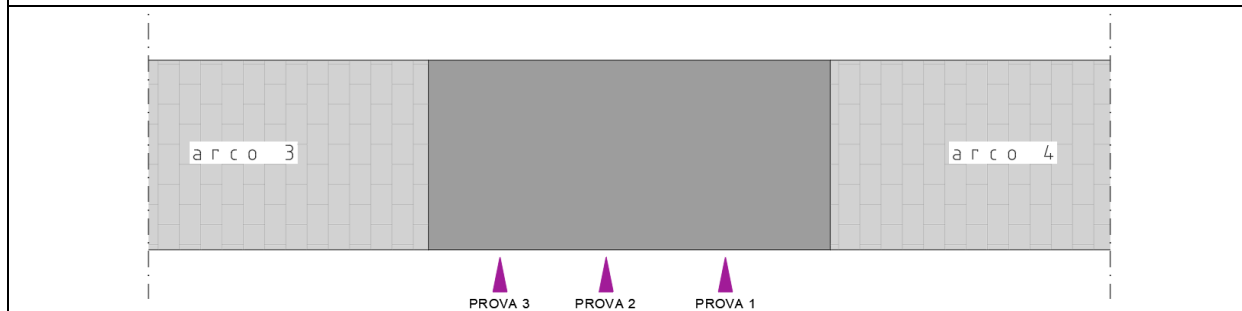
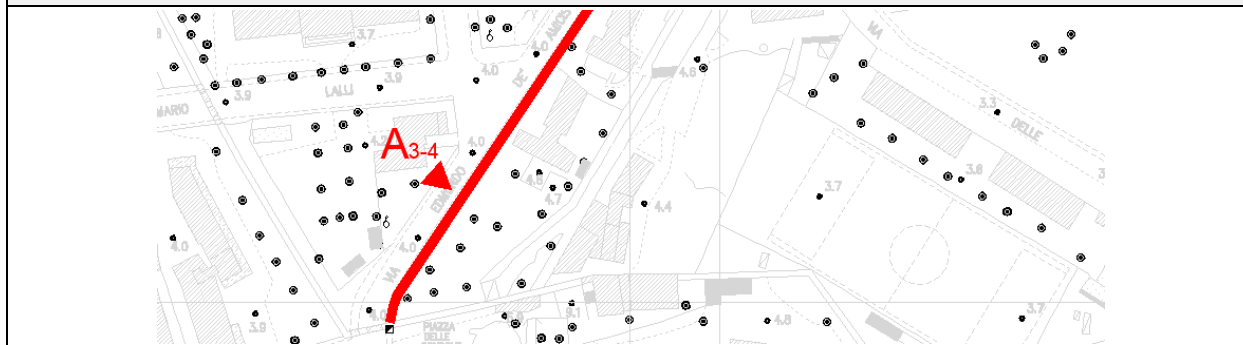


Note: prova eseguita sulla ghiera in mattoni h da terra 120 cm

CM2-ARCO3/4

Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa	
Oggetto:	Caratterizzazione della malta	
Esecutori:	S.O.	

Ubicazione: ARCO 3/4


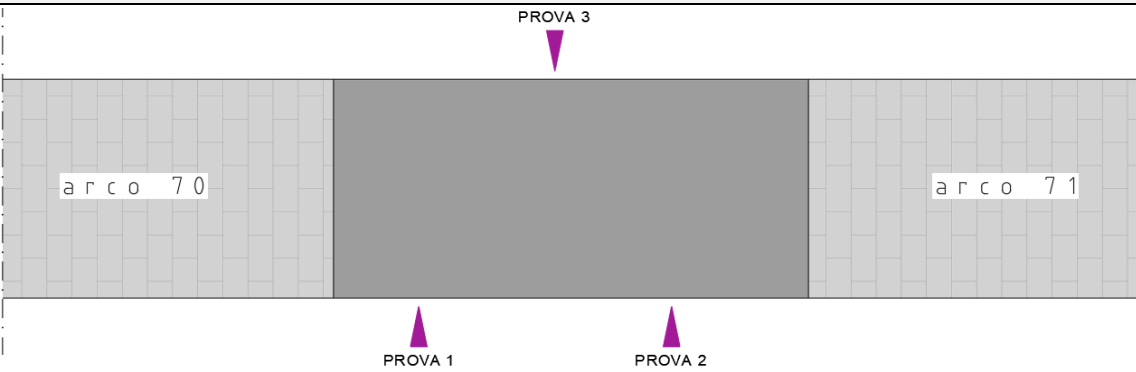




Numero serie effettuate	3
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	5 mm
Resistenza malta:	2,8 MPa
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M2,5

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Note: prova eseguita sulla spalla compresa tra i due archi h da terra 150 cm

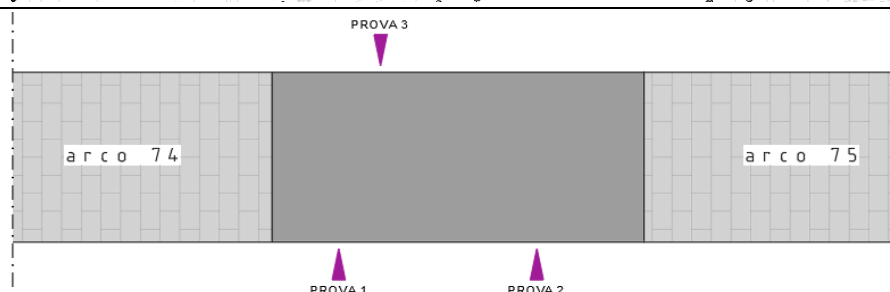
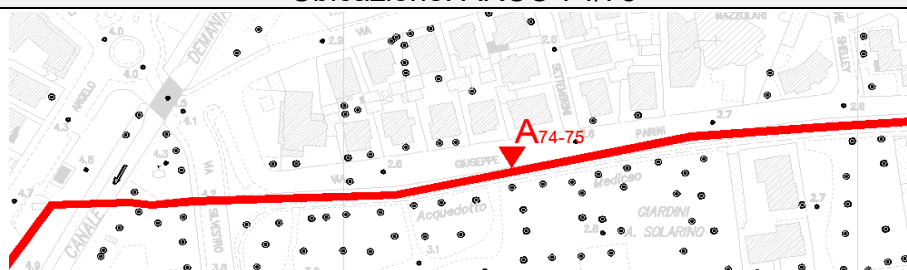
CM3-A70		
Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa	
Oggetto:	Caratterizzazione della malta	
Esecutori:	S.O.	
Ubicazione: ARCO 70/71		
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> </div>		
Numero serie effettuate	3	
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	4,3 mm	
Resistenza malta:	3,2 MPa	
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M2,5	
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>		
<p>Note: prova eseguita in modo diffuso su doppio paramento della spalla compresa tra i due archi h da terra 110 cm</p>		

CM4-A74

Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa
Oggetto:	Caratterizzazione della malta
Esecutori:	S.O.



Ubicazione: ARCO 74/75




Numero serie effettuate	3
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	6,6 mm
Resistenza malta:	2,3 MPa
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M1

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

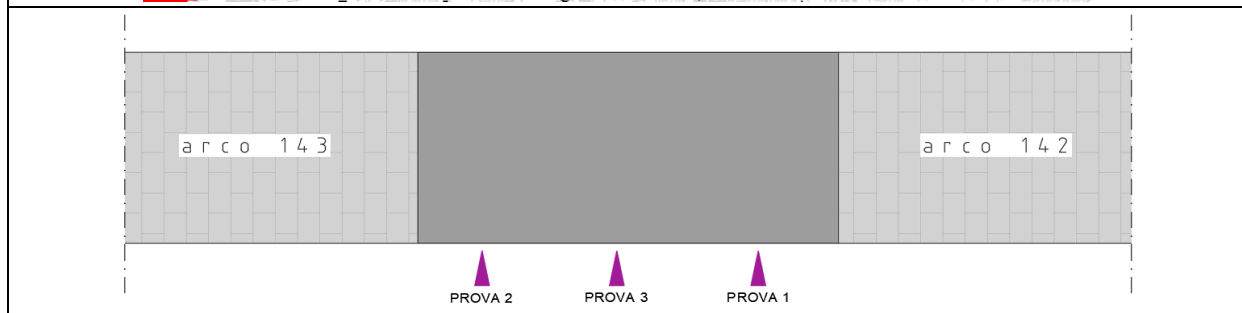


Note: prova eseguita in modo diffuso su doppio paramento della spalla compresa tra i due archi h da terra 130 cm

CM142/143

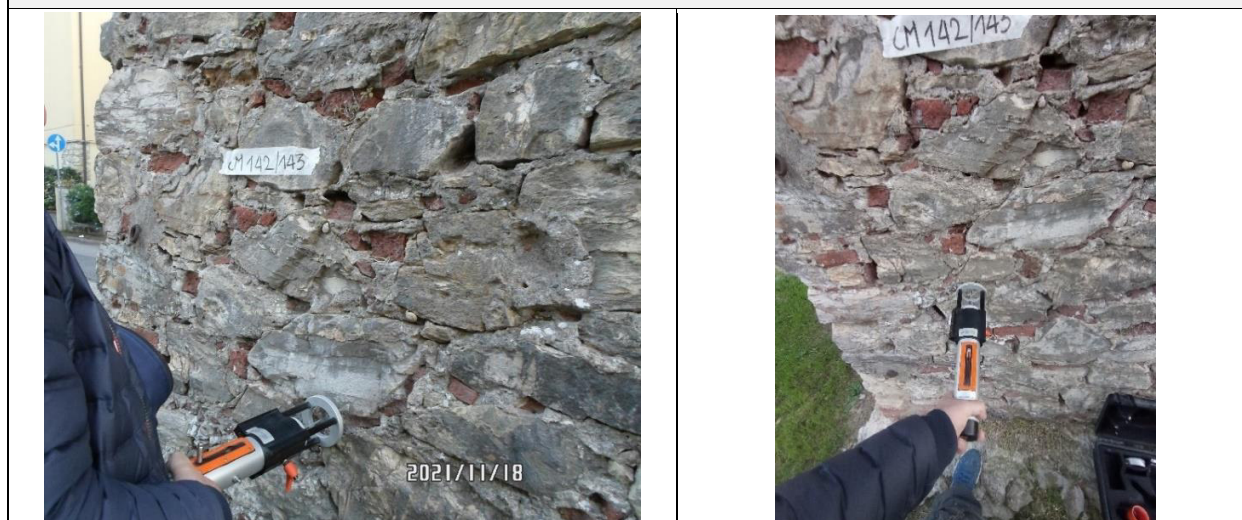
Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa	
Oggetto:	Caratterizzazione della malta	
Esecutori:	S.O.	

Ubicazione: ARCO 142/143



Numero serie effettuate	3
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	5 mm
Resistenza malta:	2,8 MPa
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M2,5

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



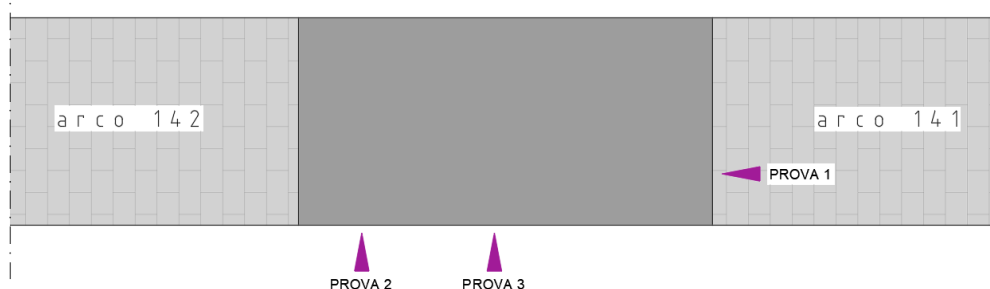
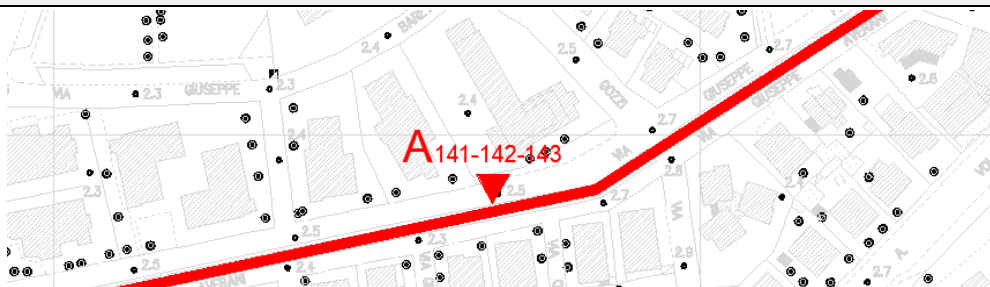
Note: h da terra 120 cm

CM142/141

Sede delle indagini:	Acquedotto Mediceo - Pisa
Oggetto:	Caratterizzazione della malta
Esecutori:	S.O.



Ubicazione: ARCO 142/141



Numero serie effettuate	3
Media delle differenze tra misurazione iniziale e finale:	4,3 mm
Resistenza malta:	3,2 MPa
CLASSIFICAZIONE:	classificabile come: M2,5

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Note: h da terra 140 cm

INDAGINI SONICHE SU MURATURE

L'indagine sonica condotta sulle murature consente, in modo non distruttivo, di poter effettuare una valutazione della qualità della muratura stessa e poterne definire la sua omogeneità negli strati più profondi, in modo da poter stimare la presenza continua e discontinua di nuclei interni, materiale incoerente o anche disomogeneo. La valutazione consente quindi di percepire se si è in presenza di una muratura in buono, discreto o cattivo stato. Ciò mediante la velocità di propagazione dell'onda sonica attraverso il mezzo indagato. L'indagine in questione è stata condotta col metodo per trasparenza, ovvero ponendo le sonde, sonda emittente e sonda ricevente sulle facce contrapposte del paramento murario indagato. Su ciascun paramento è stata tracciata una griglia con passo costante di 20x20 cm che è stata indagata in più punti con metodo incrociato.

È stata eseguita anche l'indagine per verificare e valutare il grado di disconnessione di alcune pile di convergenza delle arcate, laddove sono presenti lesioni orizzontali e con divagazione obliqua, ponendo sempre le sonde su paramenti contrapposti ed attraversati dalla lesione. Convenzionalmente le velocità di propagazione dell'onda attraverso il mezzo indagato individuano una qualità di muratura come di seguito riportata:

$V < 1000 \text{ m/s}$	<i>individua murature fortemente danneggiate con presenza di grossi vuoti interni</i>
$1000 \text{ m/s} < V < 2000 \text{ m/s}$	<i>rappresenta la maggioranza delle murature in mattoni esistenti; valori di V inferiori ai 1500 m/s possono indicare presenza di vuoti e difetti, irregolarità nei corsi o nelle giunzioni</i>
$V > 2000 \text{ m/s}$	<i>indica murature accuratamente costruite e conservate con elevata resistenza a compressione</i>

INDAGINI SONICHE - UNI EN 12504-4

Committente: Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio
Lungarno Antonio Pacinotti, 46, 56126 Pisa PI

Sede Indagini: ACQUEDOTTO MEDICEO - PISA
Oggetto: Prove Soniche
Esecutori: SO
Data: 08-28/10/2021 e 18-19/11/2021
Operatori: S.O.

n°	ID INDAGINE	POSIZIONE	TIPOLOGIA	VELOCITA' MEDIA m/s	note
1	S1	ARCO 4-5	muratura	5549,67	
2	S1bis (su lesione)	ARCO 3-4	muratura	1340,00	su lesione
3	SN2-A74/75	ARCO 74-75	muratura	4934,67	
4	S143/144	ARCO 143-144	muratura	4823,33	
5	S143/144bis (su lesione)	ARCO 143-144	muratura	1267,50	su lesione
6	S145/146	ARCO 145/146	muratura	4958,75	
7	S145/146bis (su lesione)	ARCO 145/146	muratura	1256,67	su lesione

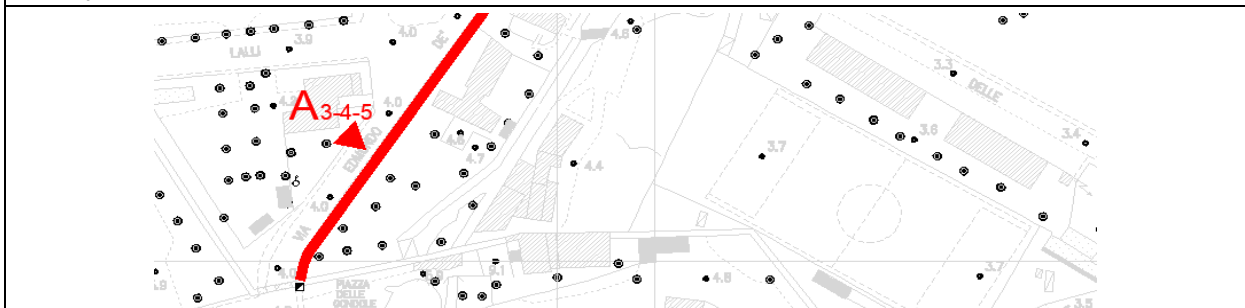
velocità del segnale che indica discontinuità degli elementi lapidei

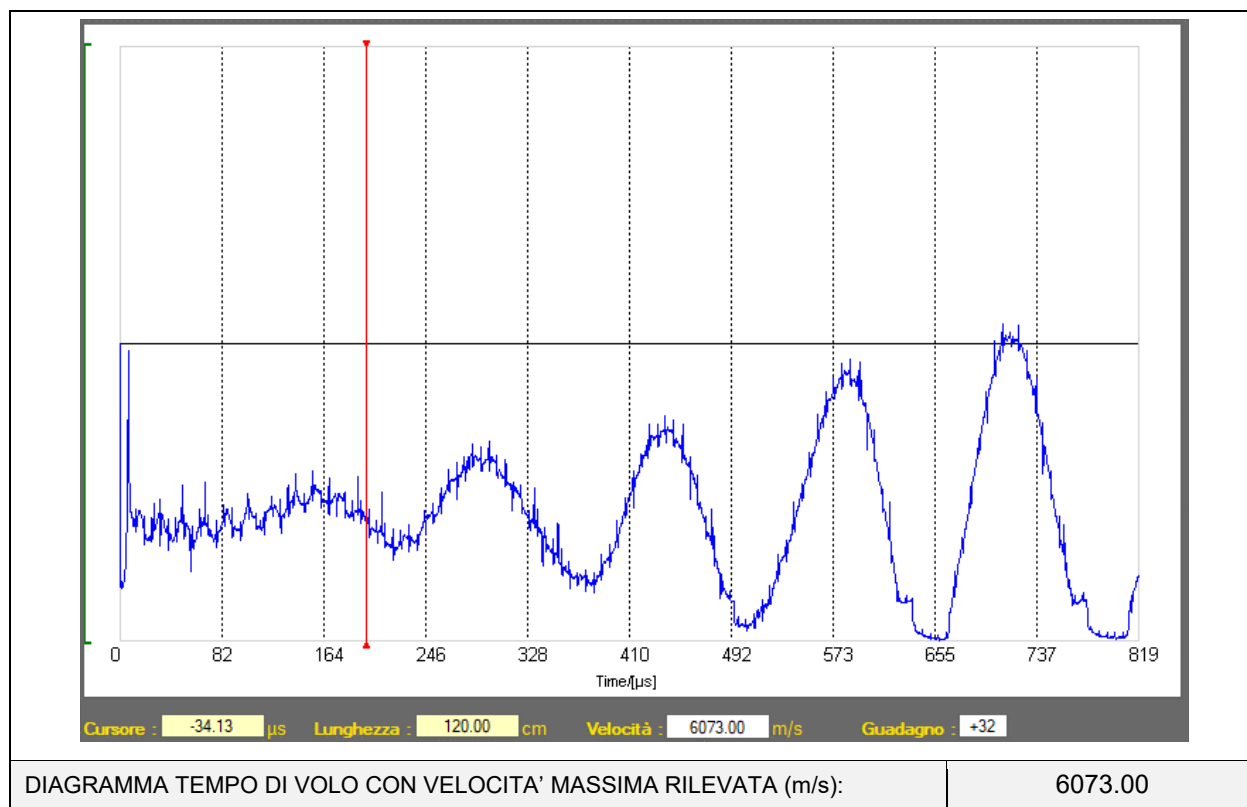
ID Indagine: **S1-A4/5**

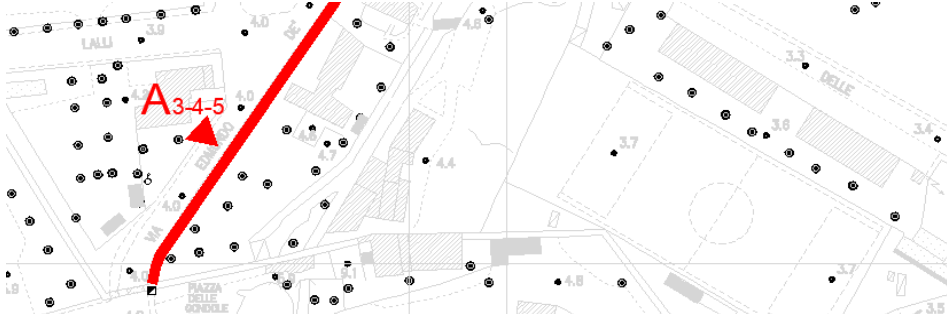



VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)

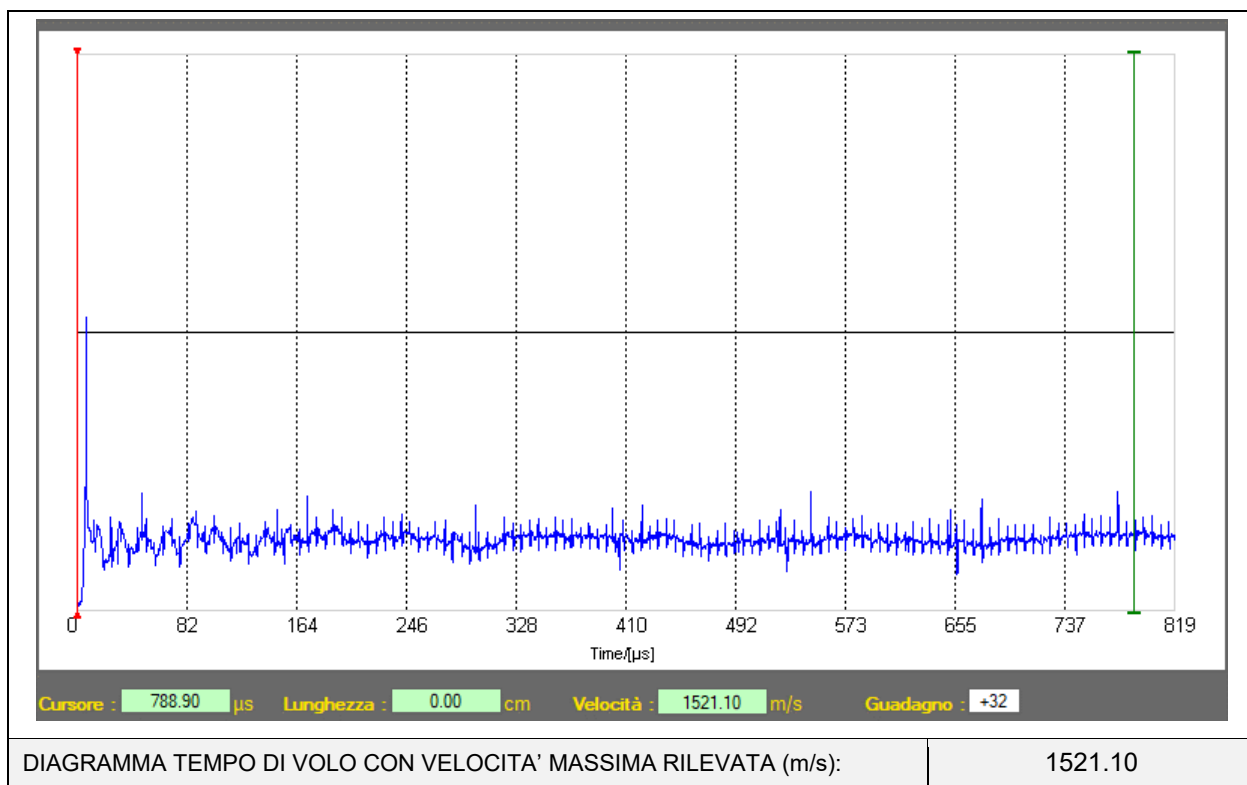
5549.67

S1 su paramento interno h da terra 190 cm





ID Indagine: S1BIS-A3/4 (su lesione)	
VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)	1340.00
S1 bis su paramento interno h da terra circa 60-80-100 cm su lesione	
	
	
	

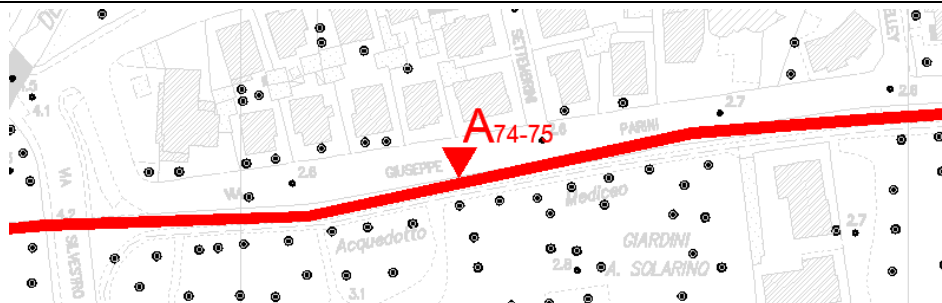


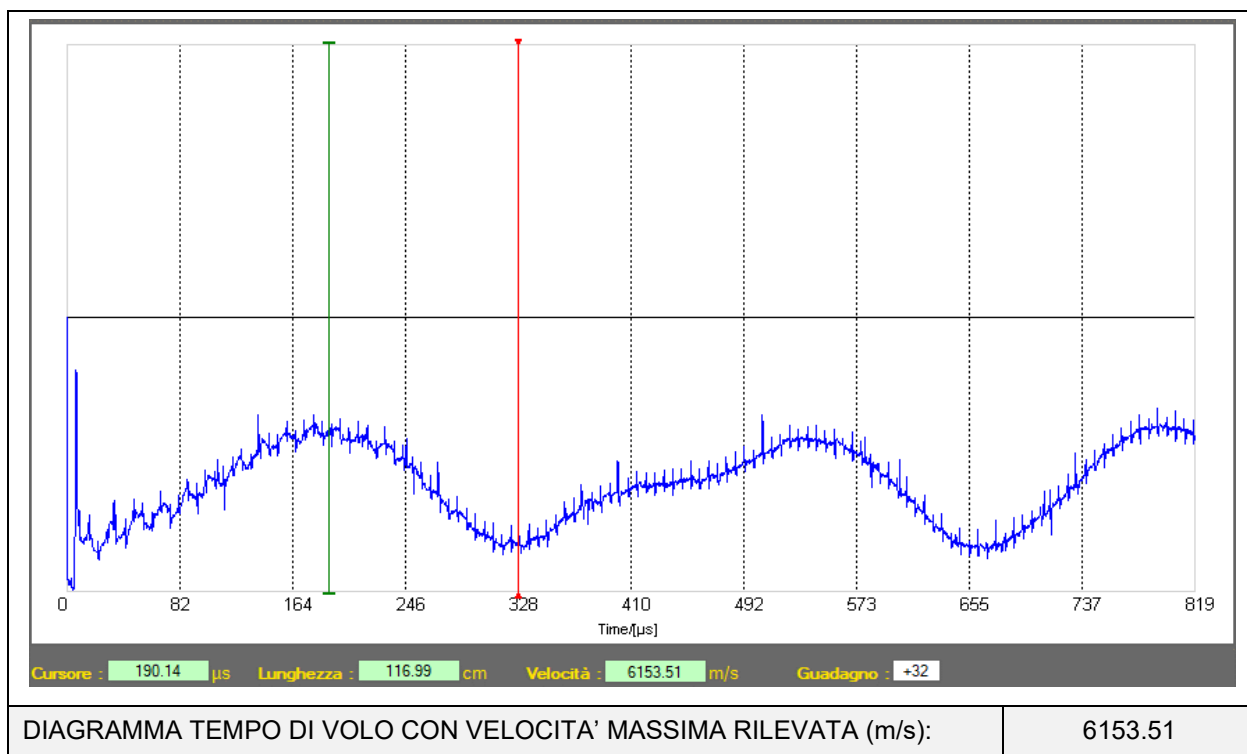
ID Indagine: **SN2-A74/75**





VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)

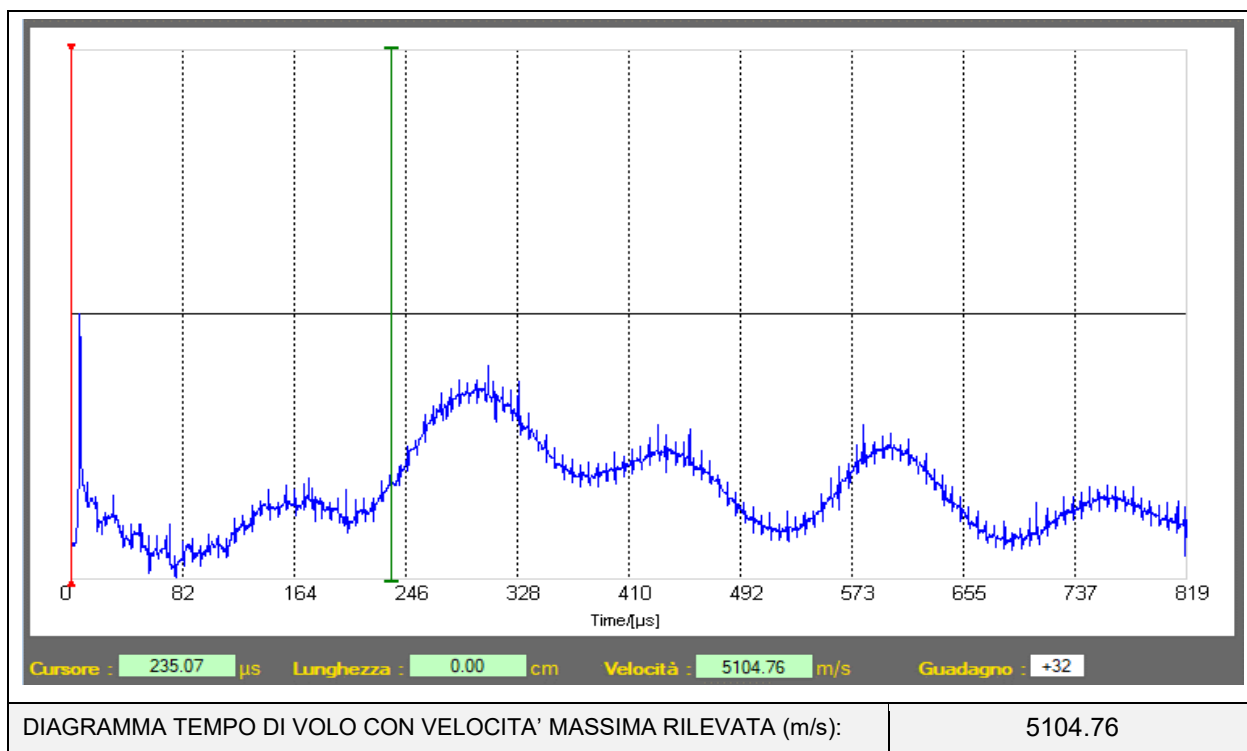
4934,67


SN2 su paramento esterno h da terra 180 cm





ID Indagine: S143/144	
VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)	4823,33
S143/144 su paramento esterno h da terra 150 cm circa	
	
	
	



ID Indagine: S143/144BIS (su lesione)	
VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)	1267,50
S143/144 bis su paramento esterno h da terra 100-120 cm su lesione	
	
	
 <p>FOTO FRONTALE</p>	 <p>VISTA LATERALE</p>

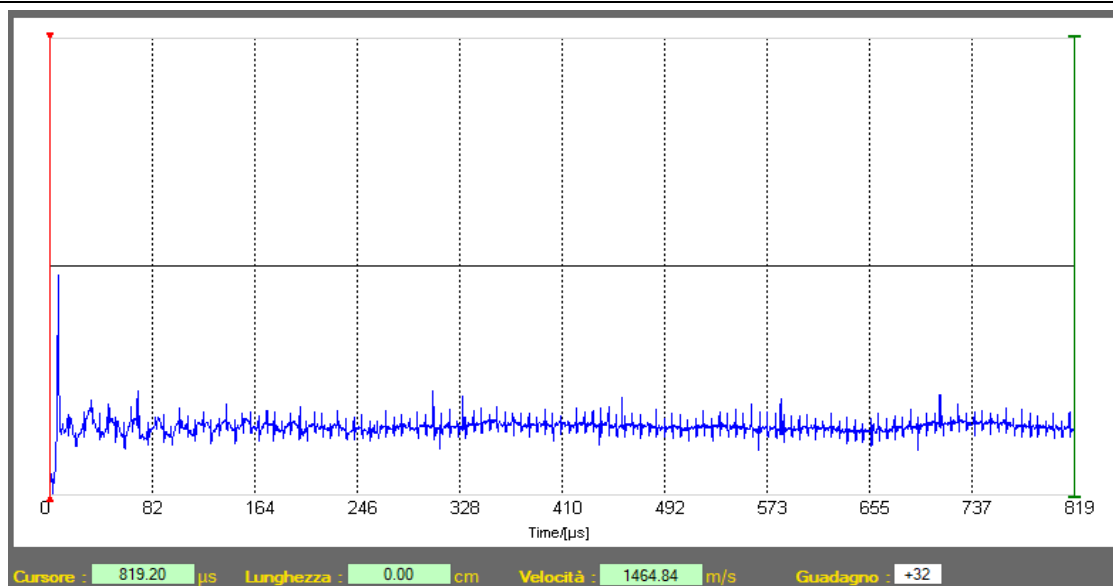
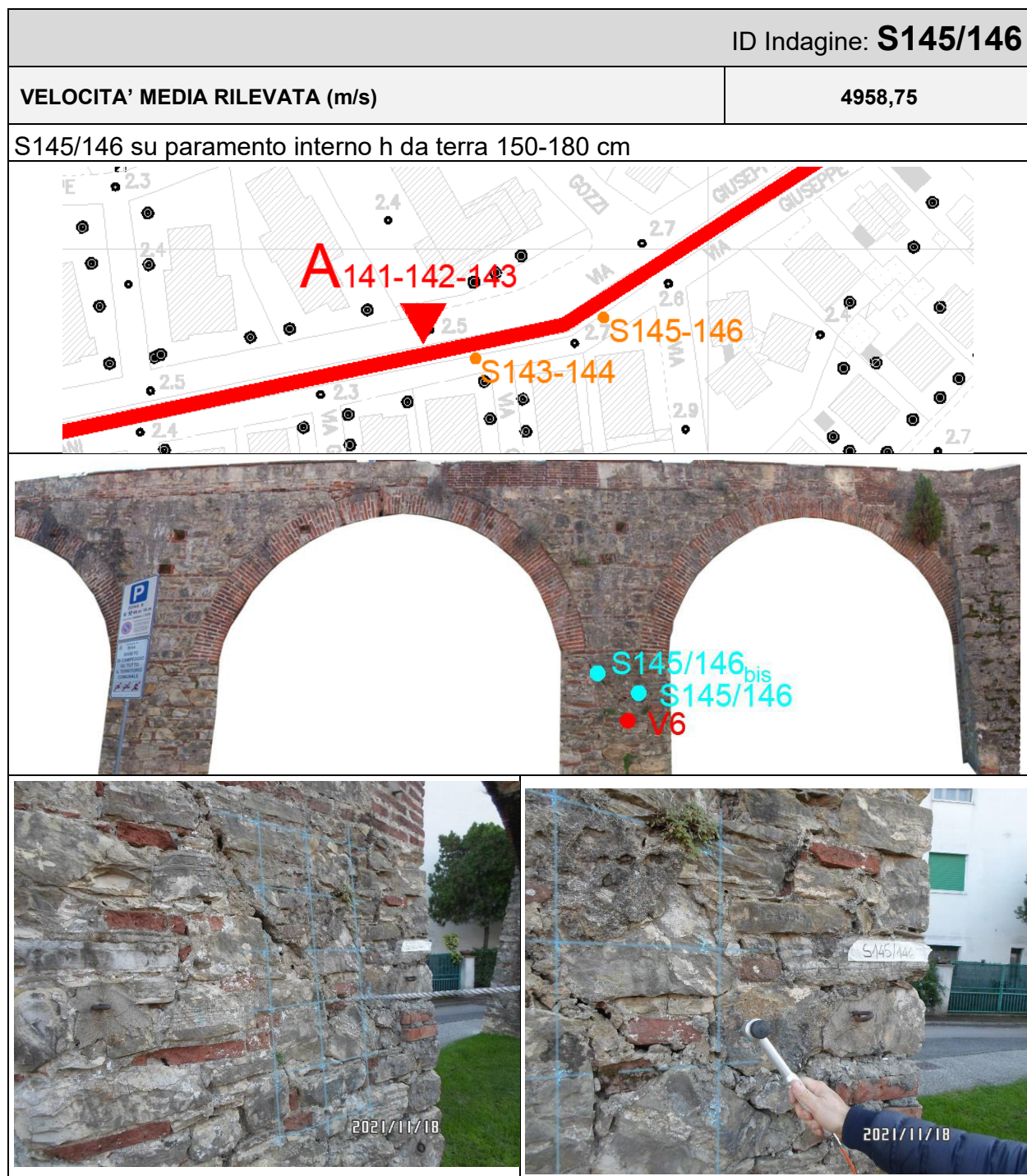
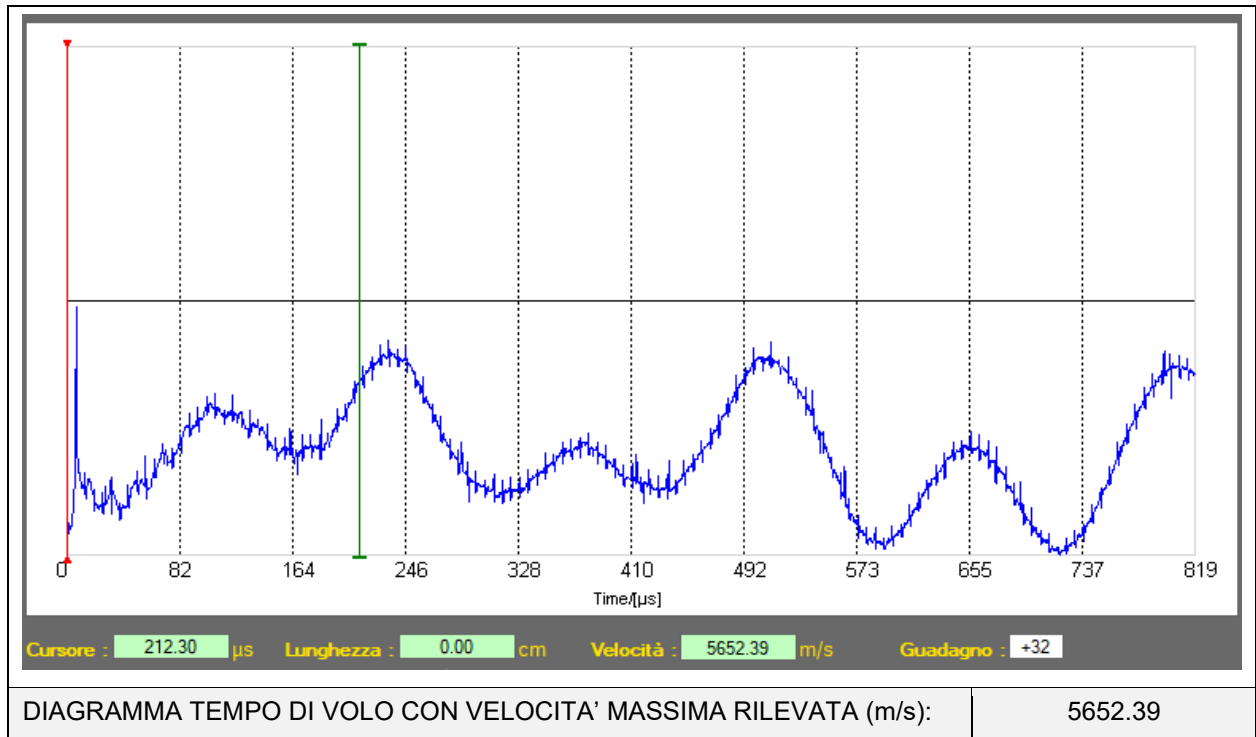


DIAGRAMMA TEMPO DI VOLO CON VELOCITA' MASSIMA RILEVATA (m/s):	1464.84
Nota: perdita o dispersione del segnale sonico a cavallo della frattura. Lesione passante e disconnessione tra la parte inferiore e superiore del blocco lapideo	





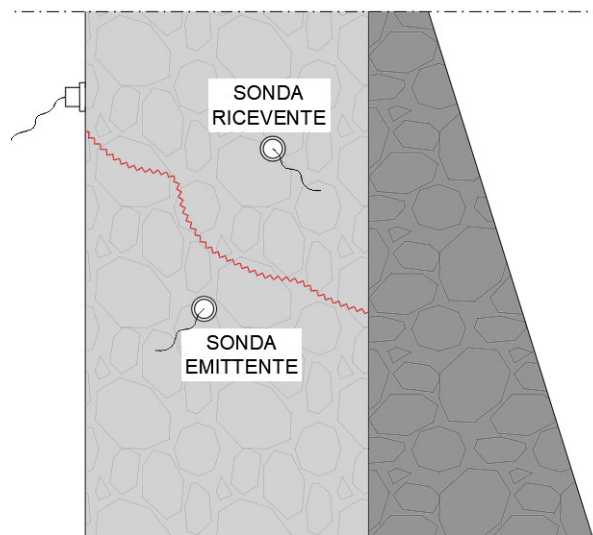
ID Indagine: **S145/146BIS (su lesione)**

VELOCITA' MEDIA RILEVATA (m/s)	1256,67
---------------------------------------	----------------

S145/146 bis su paramento interno h da terra 180-200 cm su lesione



FOTO LATERALE SOTTO ARCO



VISTA SOTTO ARCO



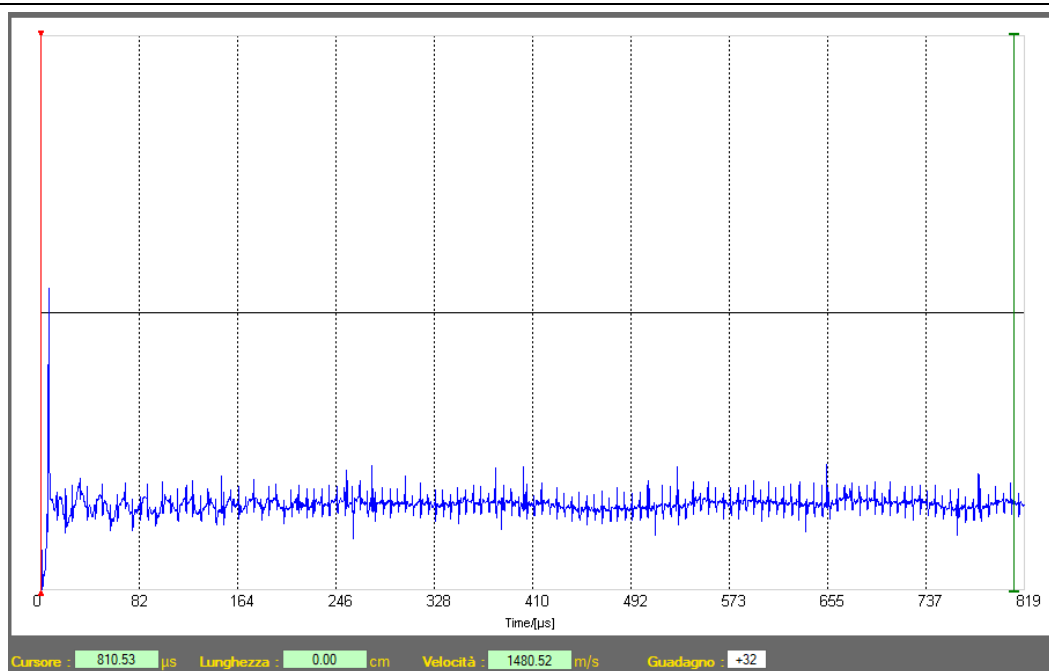


DIAGRAMMA TEMPO DI VOLO CON VELOCITA' MASSIMA RILEVATA (m/s):

1480.52

Nota: perdita o dispersione del segnale sonico a cavallo della frattura. Lesione passante e disconnessione tra la parte inferiore e superiore del blocco lapideo

ENDOSCOPIE

L'indagine endoscopica consente l'ispezione visiva diretta di cavità, o parti altrimenti inaccessibili della muratura, all'interno dello spessore murario. Mediante l'inserimento di una piccola sonda endoscopica si studia la superficie del foro per acquisire dati fondamentali sulla effettiva geometria e sullo stato di conservazione dell'elemento indagato.

Lo scopo dell'indagine è:

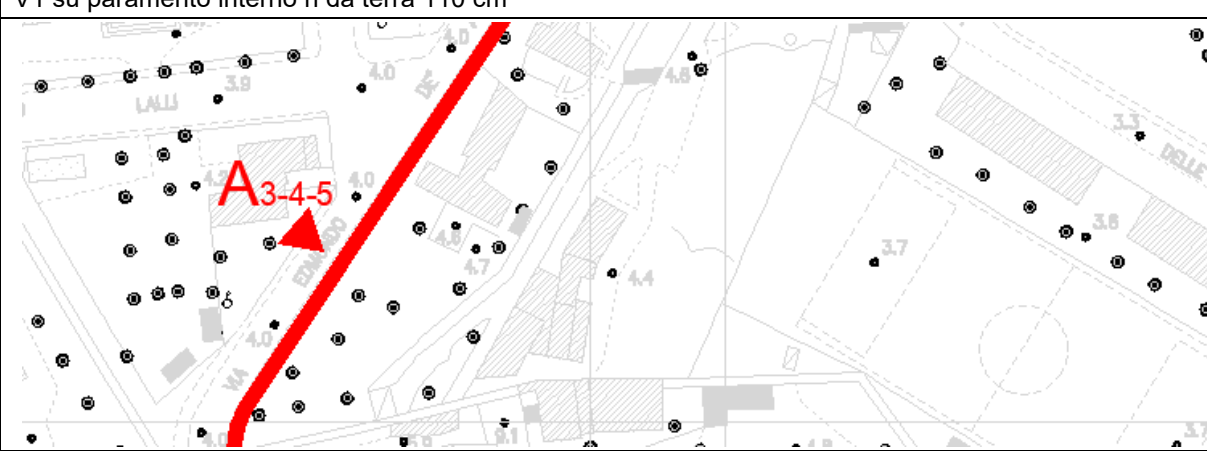

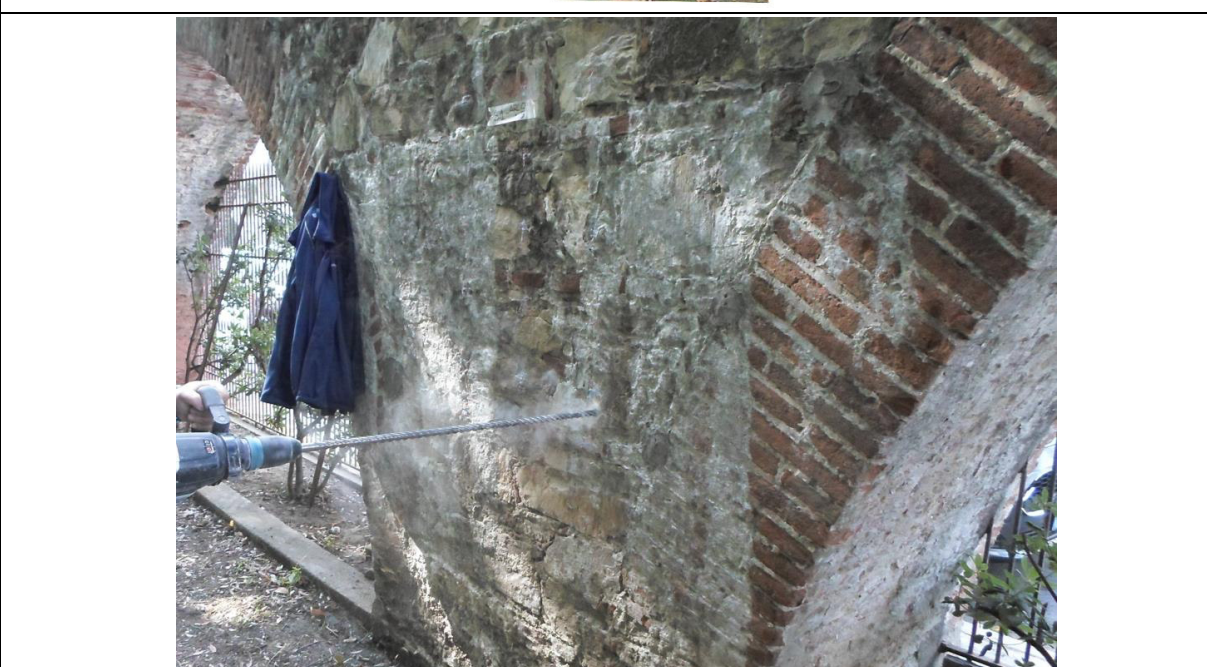
- definire tipologia e stratigrafia della muratura (continua o a nucleo interno);
- individuare ed osservare eventuali cavità interne;
- osservare se l'elemento murario indagato è un tamponamento o se si tratta di elemento strutturale;
- individuare ed osservare l'eventuale adiacenza di blocchi murari;

I dati ottenuti sono registrati come immagini sullo strumento e permettono di tracciare un profilo dettagliato della sezione analizzata. Per l'analisi è stato utilizzato un endoscopio con telecamera e sonda flessibile diametro 8 mm ed illuminazione a led sulla telecamera. Per ciascuna indagine si riporta la scheda di endoscopia.

La classificazione della tipologia muraria è stata eseguita secondo la tabella parametrica C8.5.I delle NTC 2018.

Tabella C8.5.I - Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

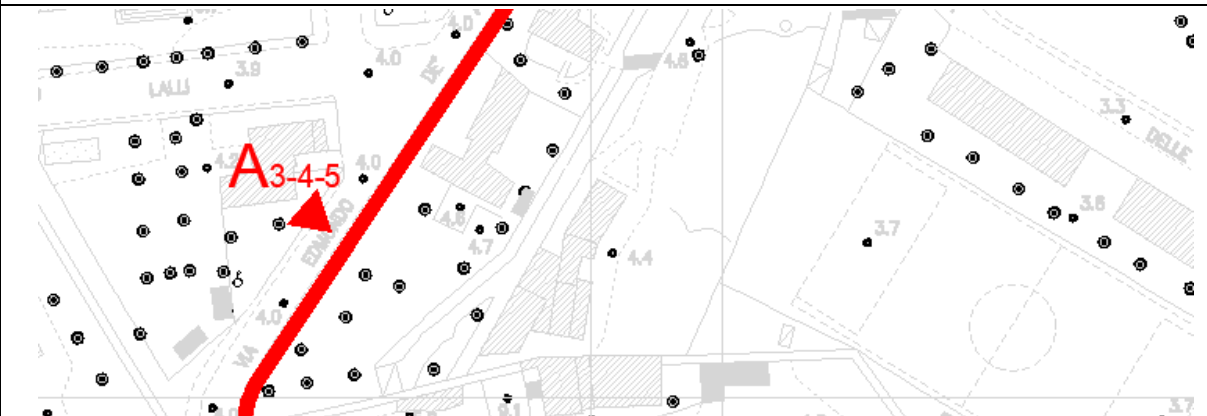


Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es., doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

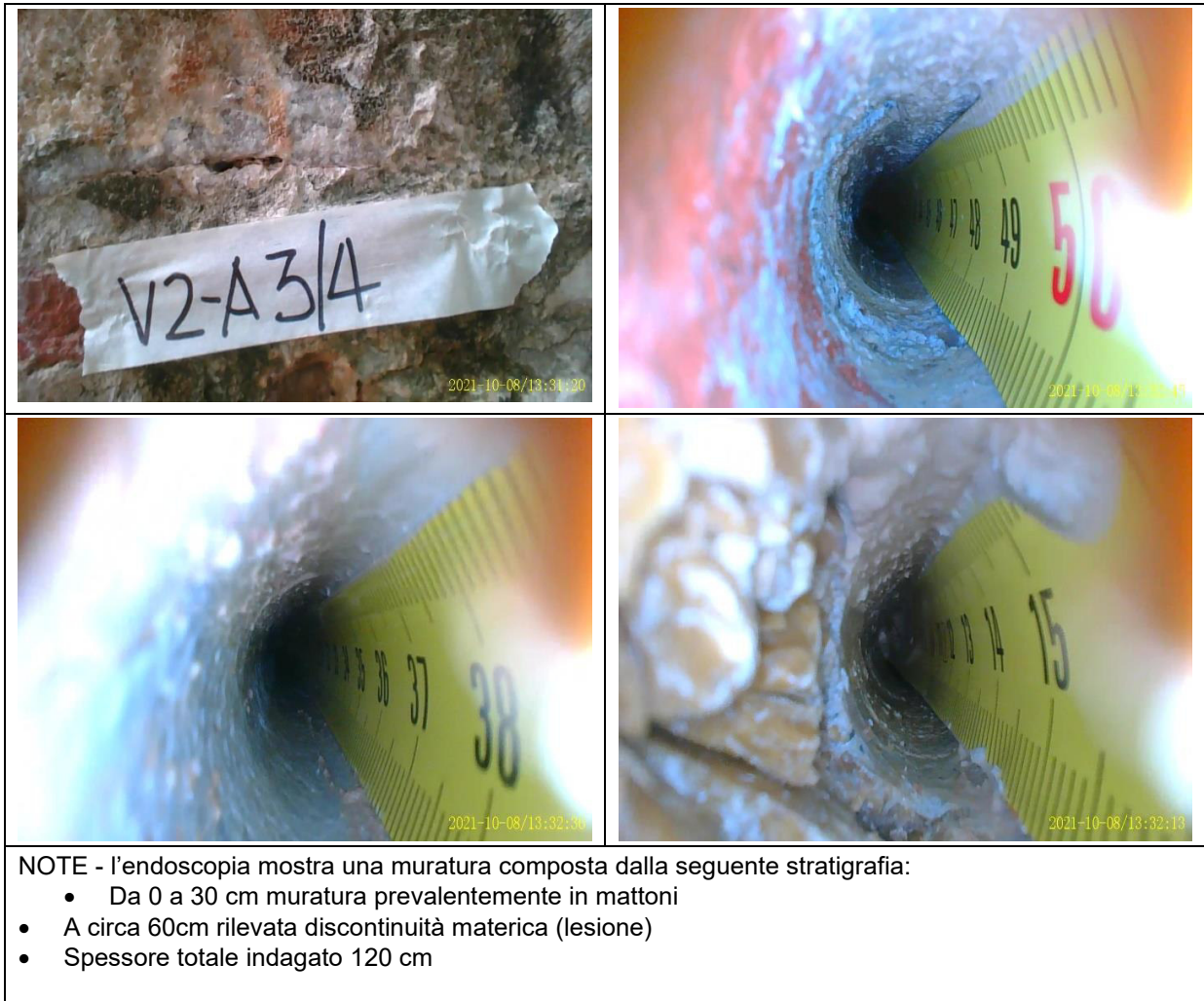
ENDOSCOPIA V1-A4/5		ARCO 4/5	tipologia: muratura
Profondità del foro: non passante		Spessore indagato: 80 cm	
V1 su paramento interno h da terra 110 cm			
			
			
			

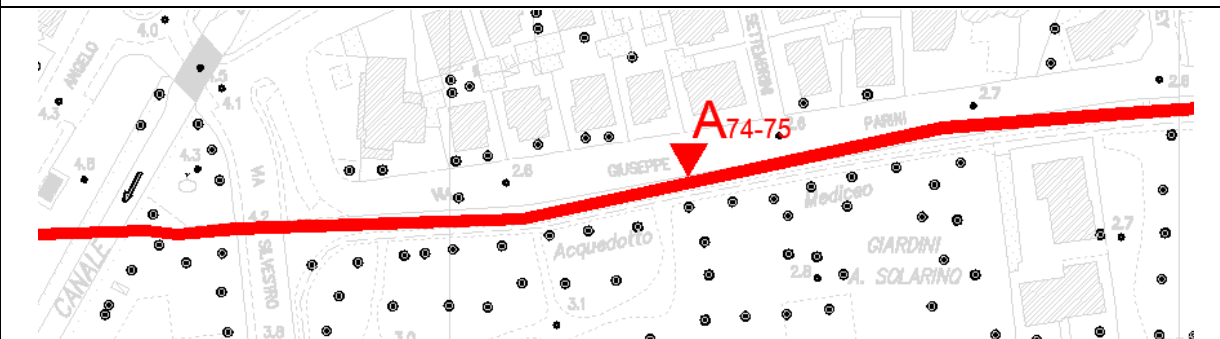







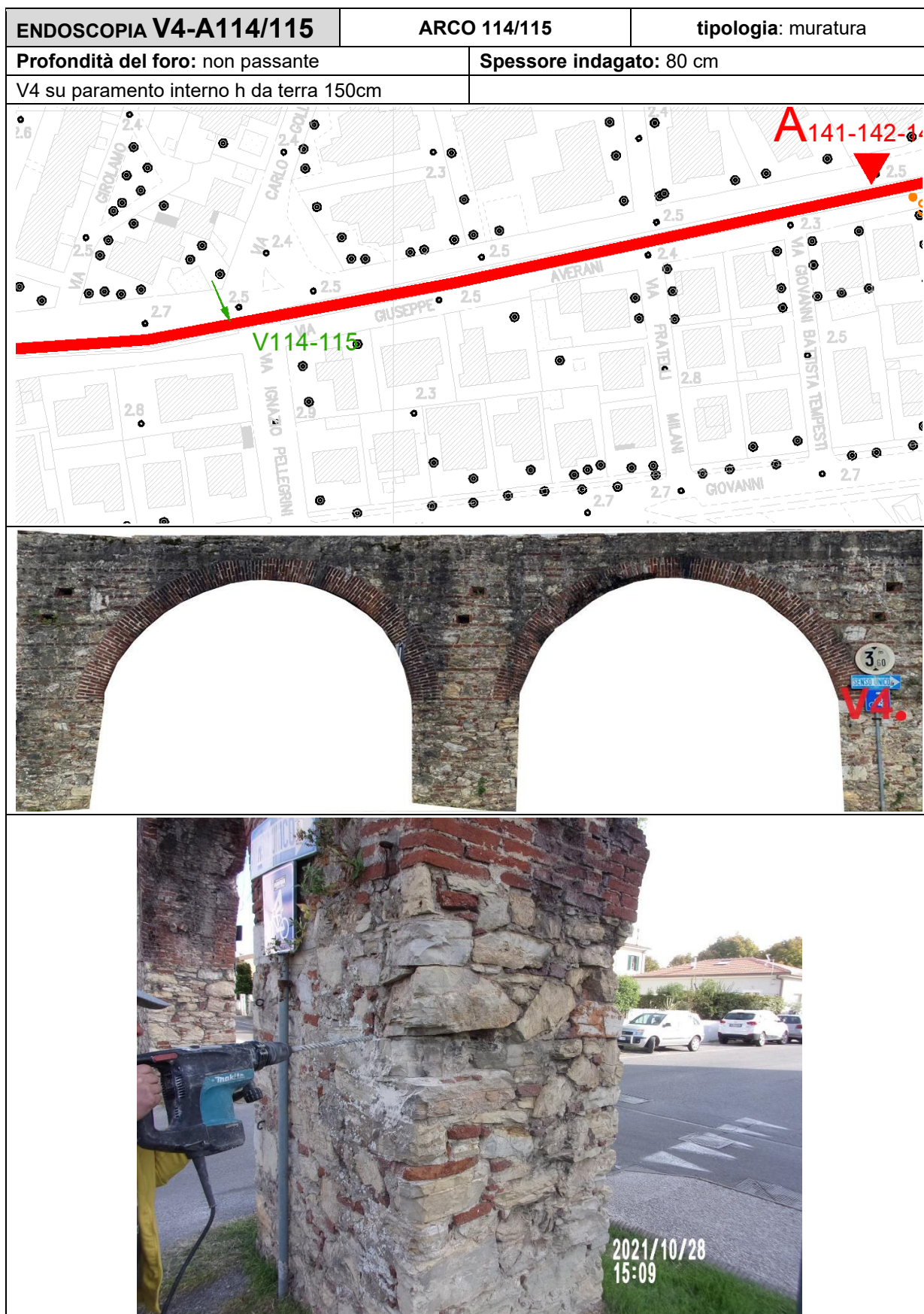
NOTE - l'endoscopia mostra una muratura composta dalla seguente stratigrafia:

- Da 0 a circa 56 cm nucleo compatto
- Da 56 a 70 cm discontinuità
- Da 70 in poi pietra compatta
- Spessore totale indagato 120 cm

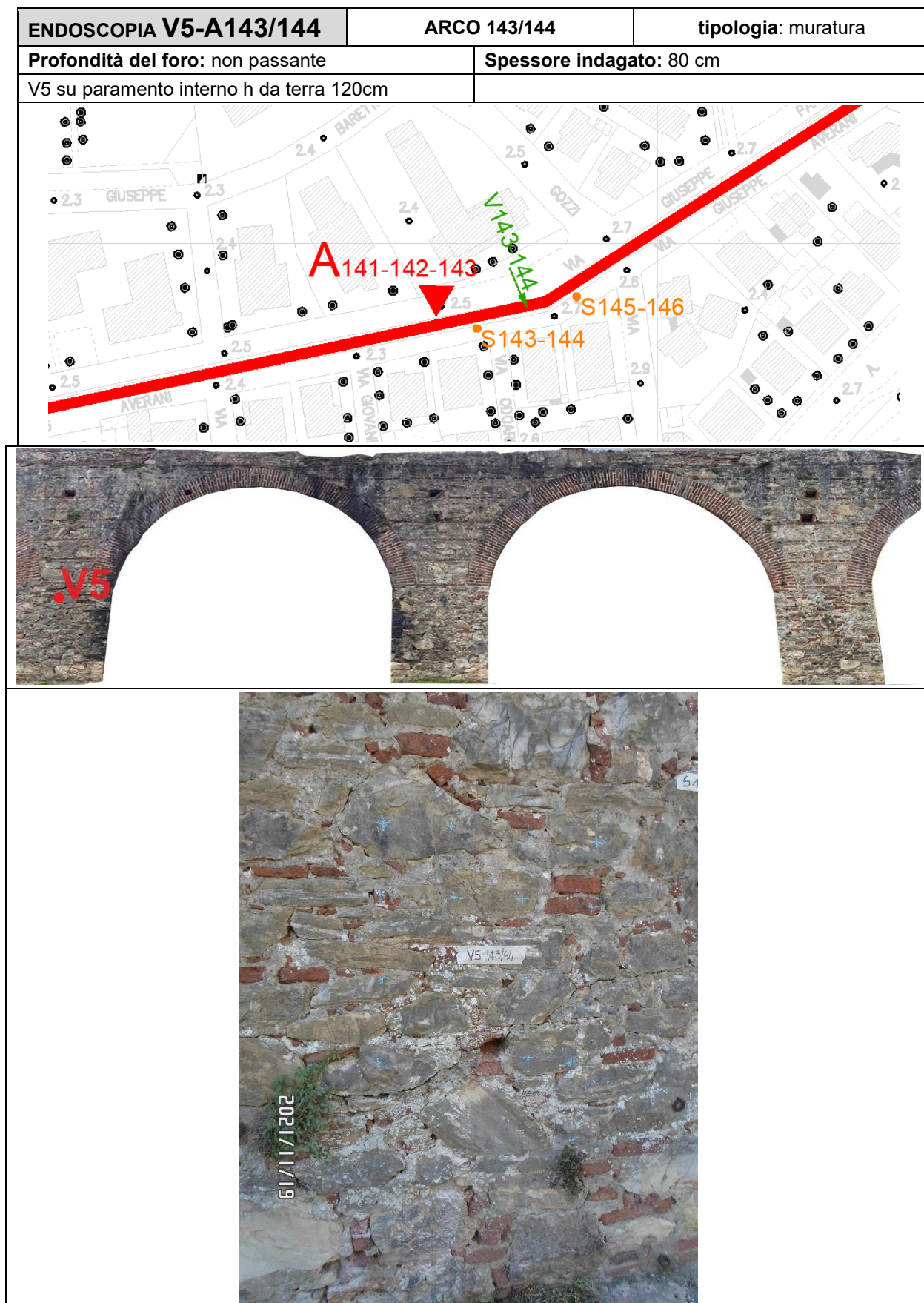
ENDOSCOPIA V2-A3/4		ARCO 3/4	tipologia: muratura
Profondità del foro: non passante		Spessore indagato: 80 cm	
V2 su paramento interno h da terra 100cm in corrispondenza della frattura della ghiera			
			
			
			

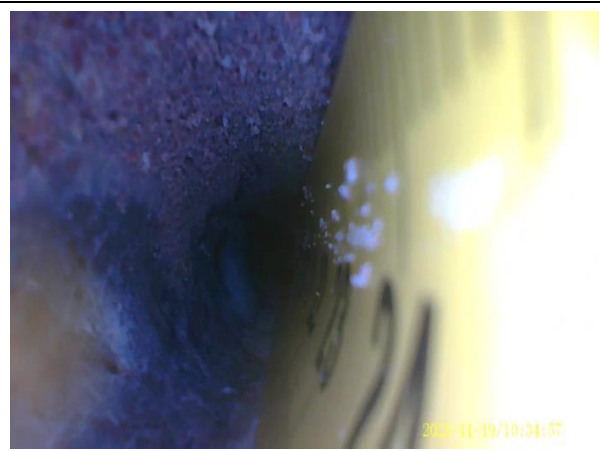


ENDOSCOPIA V3-A74/75		ARCO 74/75	tipologia: muratura
Profondità del foro: non passante		Spessore indagato: 80 cm	
V3 su paramento interno h da terra 100 cm			
			
			
			
			
<p>NOTE - l'endoscopia mostra una muratura composta dalla seguente stratigrafia:</p> <ul style="list-style-type: none">• Muratura in pietra compatta a tutto spessore totale indagato 120 cm con elementi lapidei ben accostati			



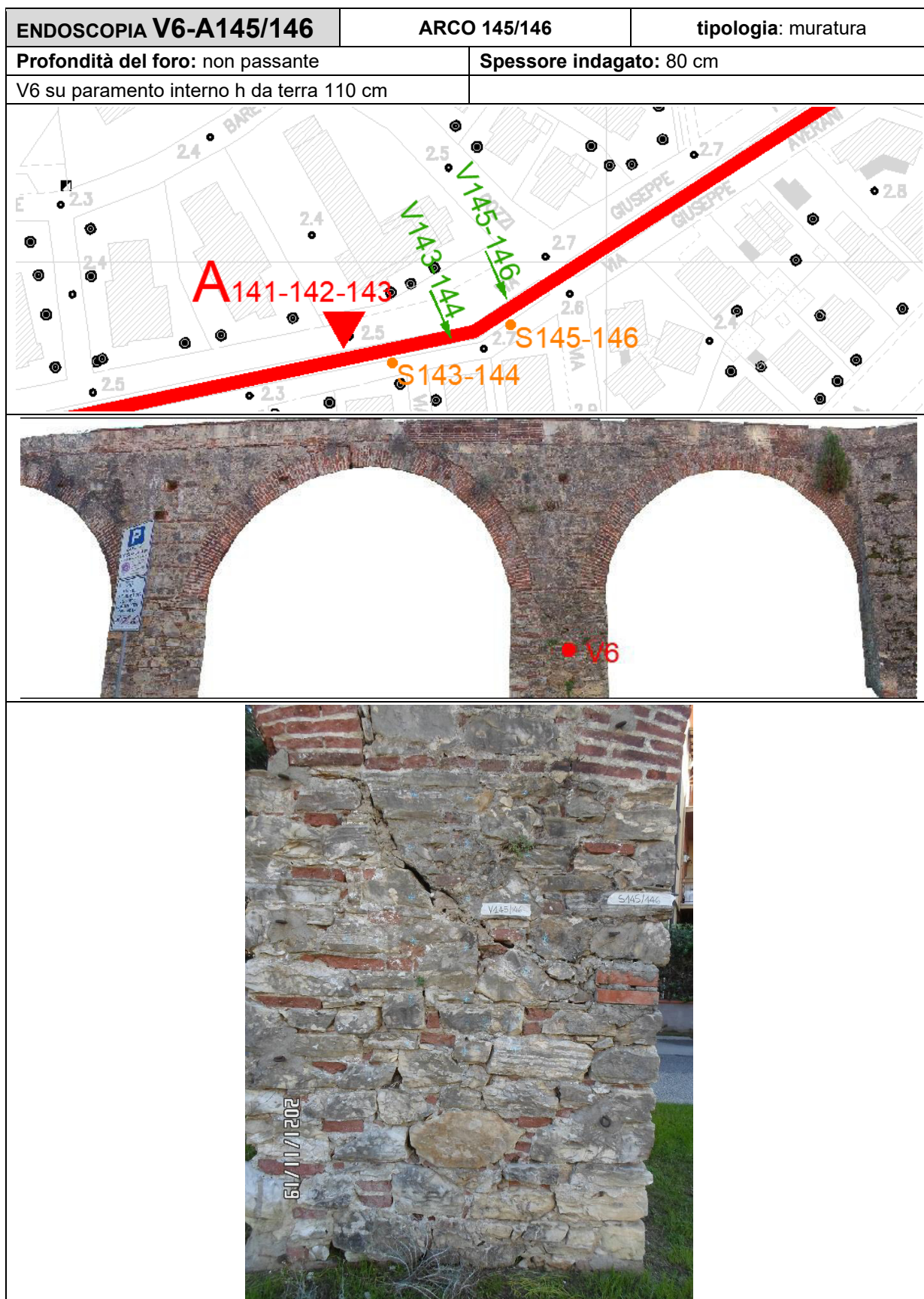






NOTE - l'endoscopia mostra una muratura composta dalla seguente stratigrafia:

- Frattura profonda insinuata almeno fino a metà spessore della spalla (circa 60 cm)
- Materiale incoerente nei primi 30-40 cm, formato da muratura in mattoni mista pietra
- Spessore indagato totale 120 cm





NOTE - l'endoscopia mostra una muratura composta dalla seguente stratigrafia:

- Frattura profonda diagonale da 40- 60 cm
- Materiale incoerente su tutto lo spessore indagato

MECCANICA DELLE MURATURE - MARTINETTI PIATTI

Sono stati eseguiti n.3 martinetti piatti in configurazione singola e doppia al fine di determinare lo stato tensionale, i moduli elastici e la forza massima o stato limite di fessurazione dell'elemento murario. I risultati elaborati, sono da riportare ai parametri della tabella C8.5.I della circolare n.7/2019. La tipologia muraria rilevata ai soli fini della esecuzione del martinetto piatto nella zona di struttura indagata è stata di due tipi:

- ARCO 4 - su ghiera (MPT1): **muratura in mattoni pieni e malta di calce** (si veda tabella C8.5.I **riga 7**);
- ARCO 74/75 E ARCO 141/142 (MPT2 E MPT3): **muratura a blocchi lapidei squadriati calce** (si veda tabella C8.5.I **riga 6**);

I martinetti piatti utilizzati hanno le seguenti caratteristiche:

- dimensioni 320x125 mm con coefficiente Km medio pari a 0,74

La prova è stata effettuata per brevi step incrementali di carico e scarico. La curva di pressione è stata ricavata attraverso step incrementali di carico e scarico sino a raggiungere ove è stato possibile, lo stato di prima fessurazione o comunque quello definibile come stato limite, nel momento in cui non si sono percepiti spostamenti in campo elastico ma deformazioni via via crescenti sino alla deformazione permanente o fase plastica. I valori medi di E e G sono stati ricavati in corrispondenza del cambio di direzione dell'involuppo della curva, ricavata dai valori medi dei 3 sensori verticali utilizzati come base di misura. Per la tipologia muraria si fa riferimento alla tabella C8.5.I della Circolare n.7/2019 attuativa delle NTC2018. Di seguito l'espressione dei risultati ed ubicazione delle prove.

Estratto Tabella C8.5.I

Tabella C8.5.I - Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

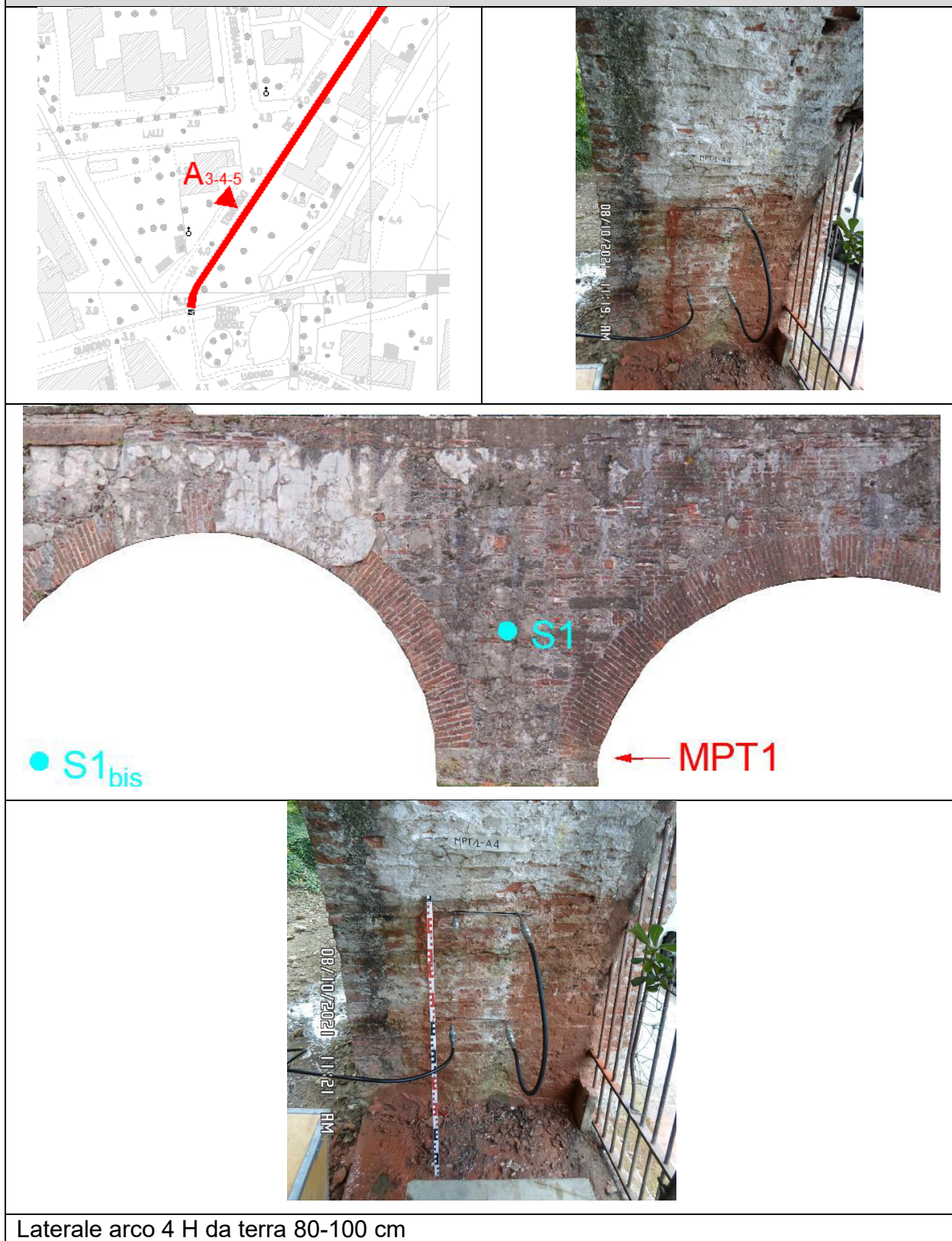
Tipologia di muratura	f (N/mm ²)	τ_0 (N/mm ²)	f_{v0} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	-	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	-	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	-	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	-	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
MPT2-3 Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
MPT1 Muratura in mattoni pieni e malta di calce (**)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

SINTESI DEI RISULTATI MECCANICA DELLE MURATURE

MECCANICA MURATURE ACQUEDOTTO MEDICEO TRATTO PISANO															
PROVA				RISULTATI PROVA SPERIMENTALE [N/mm ²]			Tensione Esercizio [Kg/cm ²]	RIF. TABELLA C.8.5.I valori medi [N/mm ²]				Tipologia Muratura NTC2018 C.8.5.I	Resistenza malta sperimentale	Malte Classificazione (UNI 998-2/04)	Resistenza a taglio (τ ₀)
N	Arco	Malte	MPT/SHT	E	G	f		E	G	f	τ ₀	Riga Tab.	[MPa]	ASTM C 803	[N/mm ²]
1	4-5	CM1	MPT1	1207	444	2,17	5,06	1500	500	3,45		7	3,5	M2,5	
2	74-75	CM4	MPT2	3310	1541	2,98	7,08	2850	950	7,00		6	2,3	M1	
3	141-142	CM142/143	MPT3	4357	1426	3,98	13,92	2850	950	7,00		6	2,8	M2,5	
4	3-4	CM2										6	2,8	M2,5	
5	70-71	CM3										6	3,2	M2,5	
6	142/141	CM142/141										6	3,2	M2,5	
**n.c = non classificabile															
	valore medio inferiore														
	valore medio superiore														

MPT1-arco A4-5

COLLOCAZIONE MPT1



Laterale arco 4 H da terra 80-100 cm

MP1-A4-5 SINGOLO

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

foglio dati prova

Comittente S.E.A.A.S - PISA
Luogo Acquedotto Mediceo - Pisa
Ubicazione Arco 4-5
Sigla Prova MP1-A4-5
Operatore SO
Data prova 08/10/2021

MARTINETTI PIATTI: SEMICIRCOLARI 320 x 125 mm

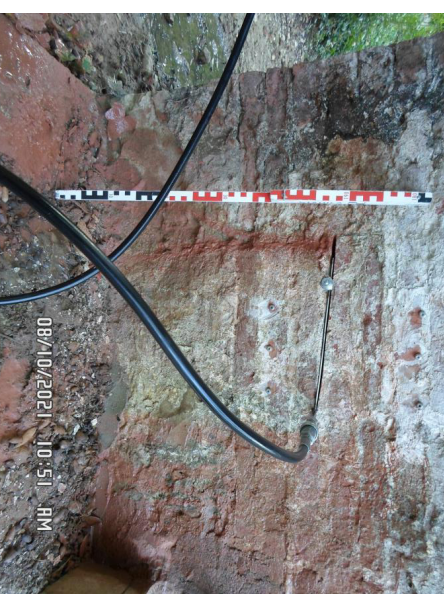
Serial Number		area martinetto area taglio coef. in funzione area di taglio coef. taratura martinetto (da certif. di prova) Pressione corretta
Am (cmq)	286,52	
At (cmq)	316,82	
Ka	0,90	
Km	0,74	
Pc (bar)	P x Km x Ka	

Lung 3	250,586 mm	Lungh. Media 249,129 Lettura alla barra di taratura 5,722
Lung 2	247,084 mm	
Lung 1	249,717 mm	

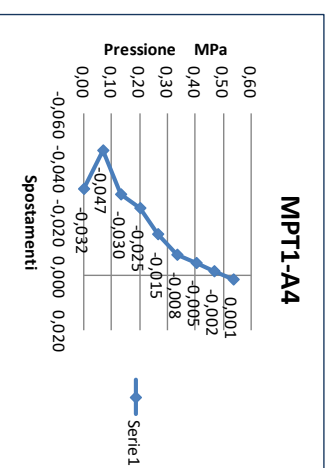
Dati comparatore MARTINETTO PIATTO SINGOLO : MP1-A4-5

Pressione al manometro	Pressione corretta	Pressione corretta	LETTURE				Spostamenti medio su 3 sensori
			Sens.1	Sens.2	Sens.3	media R1- R2-R3	
P	Pc	Pc	mm	mm	mm	mm	mm
bar	bar	MPa					
0,00	0,00	0,00	248,8460	246,2130	249,7150	248,2560	prima del taglio
0,00	0,00	0,00	248,8210	246,1890	249,6680	248,2260	-0,032
1,00	0,7	0,07	248,8240	246,1630	249,6470	248,2113	-0,047
2,00	1,3	0,13	248,8300	246,1810	249,6720	248,2277	-0,030
3,00	2,0	0,20	248,8380	246,1870	249,6730	248,2327	-0,025
4,00	2,7	0,27	248,8390	246,1920	249,6970	248,2427	-0,015
5,00	3,3	0,33	248,8430	246,2070	249,7000	248,2500	-0,008
6,00	4,0	0,40	248,8470	246,2090	249,7030	248,2530	-0,005
7,00	4,7	0,47	248,8500	246,2130	249,7060	248,2563	-0,002
8,00	5,4	0,54	248,8500	246,2200	249,7080	248,2583	0,001
7,56	5,056	0,506					9

* valore di interpolazione lineare tra gli ultimi due step



RISULTATI	
Tensione Esercizio Q (KaxKmxP)	
N/cm ²	Kg/cm ²
50,56	5,056

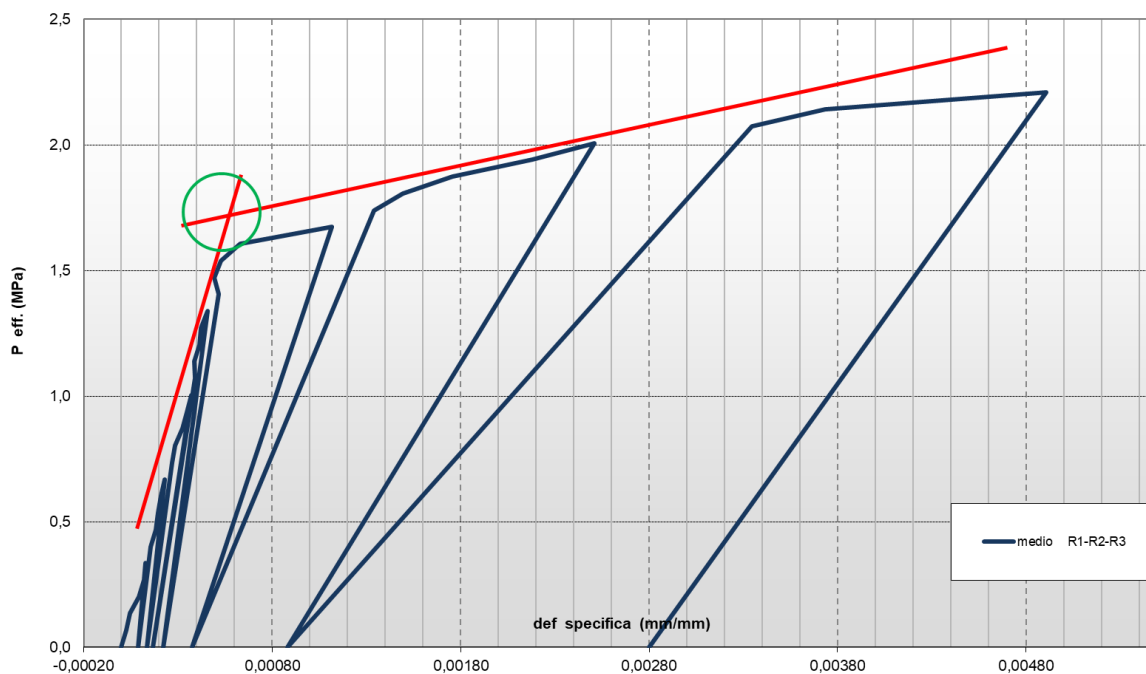


foglio dati prova

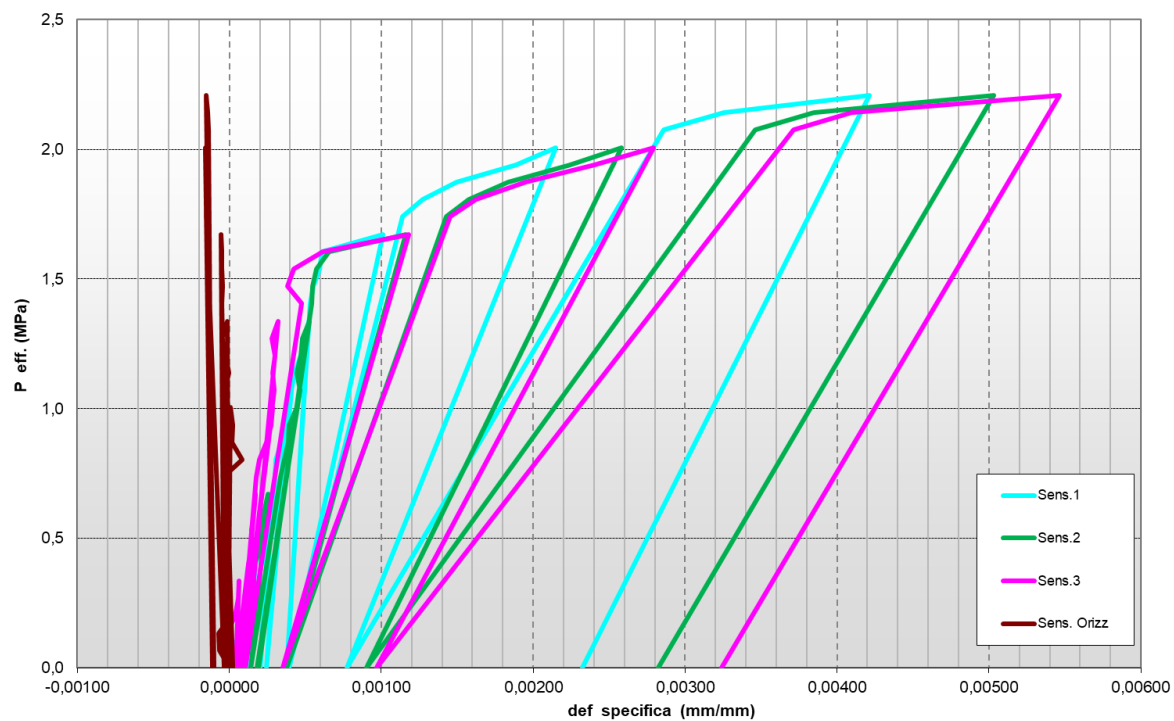
Lung 4	250,974	mm	Lunghezza comparatore millimetrico
Lung 3	251,354	mm	
Lung 2	253,254	mm	
Lung 1	250,209	mm	

lunght. Modia
251.448
Lettura alla barra di lettura
5.7722

**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - VALORI MEDI
MPT1-A4**

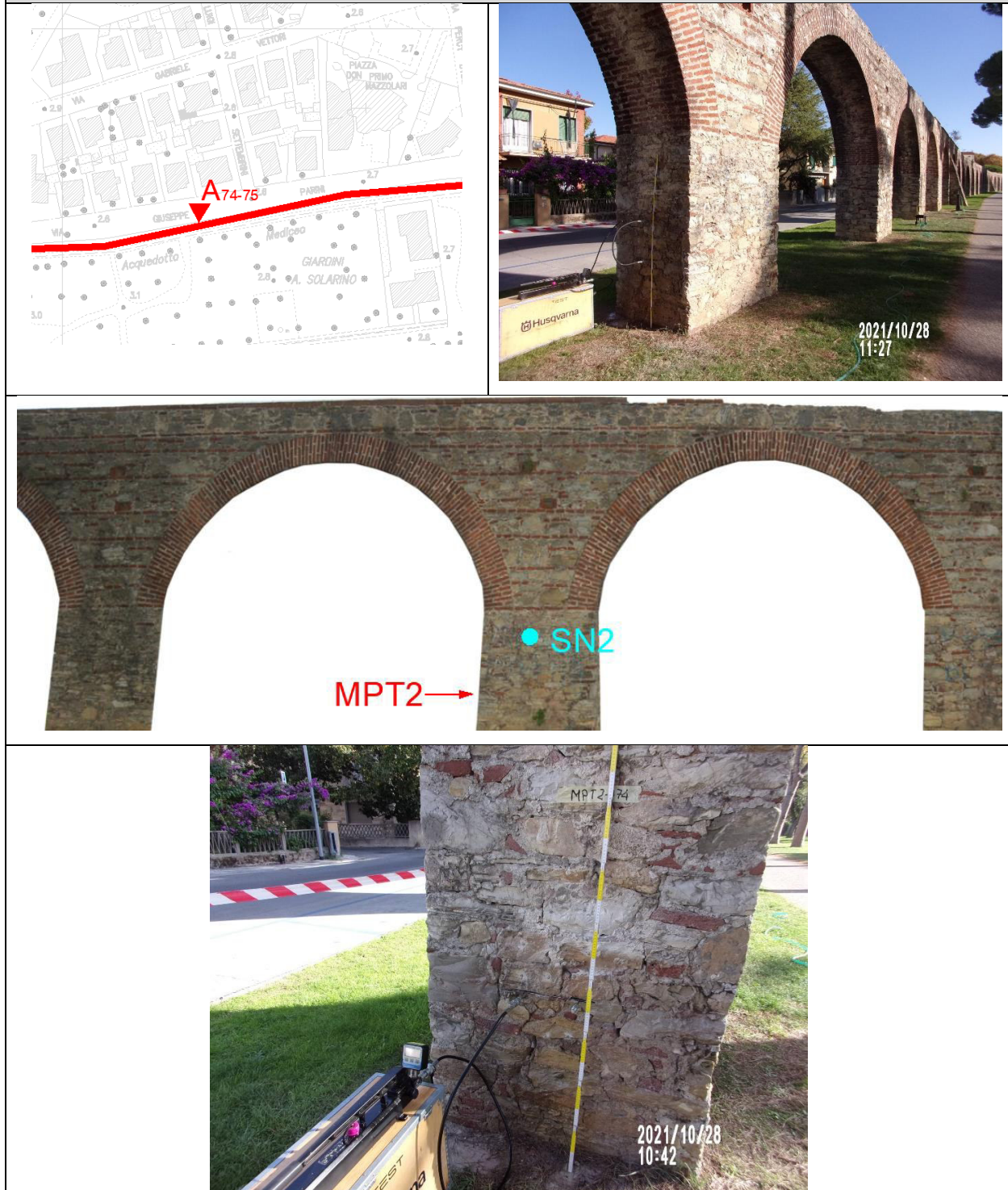


MARTINETTO PIATTO DOPPIO: MPT1-A4



MPT2-arco A74-75

COLLOCAZIONE MPT2



Laterale arco 74 H da terra 150 cm

MP72-A74-75 SINGOLO

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

foglio dati prova

Contenente S.B.AAAS - PISA
Luogo Acquedotto Mediceo -Pisa
Ubicazione Arco 74-75
Sigla Prova MP72-A74-75
Operatore SO
Data prova 28/10/2021

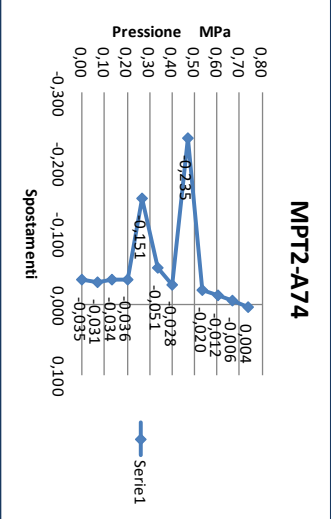
MARTINETTI PIATTI: SEMICIRCOLARI 320 x 125 mm	
Serial Number	
Am (cmq)	286.52
At (cmq)	316.82
Ka	0.90
Km	0.74
Pc (bar)	P x Km x Ka
area martinetto area taglio coeff. In funzione area di taglio coeff. Taratura martinetto (da certif. di prova) Pressione corretta	

Lung 3	250.003 mm	Lunghzza comparatore millimetrica	Lungh. Media 250,718 Lettura alla barra di taratura 5,740
Lung 2	252.029 mm		
Lung 1	250.121 mm		



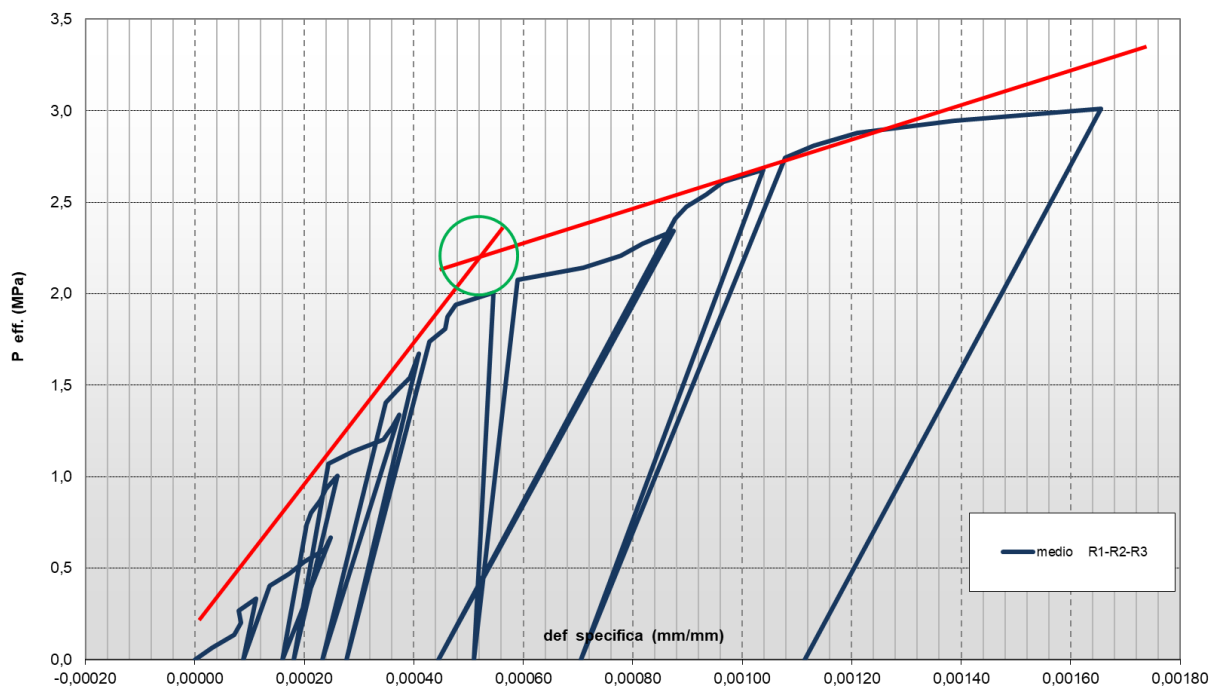
Dati comparatore MARTINETTO PIATTO SINGOLO : IPT2-A74-7						
Pressione al manometro	Pressione corretta	Pressione corretta	LETTURE			Spostamenti medio su 3 sensori
P	Pc	Pc	Sens.1	Sens.2	Sens.3	media R1-R2-R3
bar	bar	MPa	mm	mm	mm	mm
0.00	0.00	0.00	250.8387	252.7467	250.7207	251.4353
0.00	0.00	0.00	250.8167	252.7117	250.6737	251.4007
1.00	0.7	0.07	250.8137	252.7147	250.6857	251.4047
2.00	1.3	0.13	250.8167	252.7117	250.6747	251.4010
3.00	2.0	0.20	250.8107	252.7147	250.6737	251.3997
4.00	2.7	0.27	250.7927	252.4277	250.6327	251.2843
5.00	3.3	0.33	250.8047	252.7197	250.6277	251.3840
6.00	4.0	0.40	250.8057	252.7267	250.6867	251.4070
7.00	4.7	0.47	250.8087	252.0777	250.7137	251.2000
8.00	5.4	0.54	250.8127	252.7327	250.7007	251.4153
9.00	6.0	0.60	250.8197	252.7327	250.7177	251.4233
10.00	6.7	0.67	250.8337	252.7377	250.7177	251.4297
11.00	7.4	0.74	250.8357	252.7497	250.7327	251.4393
10.59	7.085	0.708				

RISULTATI	
Tensione Esercizio Q (KxKmxP)	
N/cm²	Kg/cm²
70.85	7.085

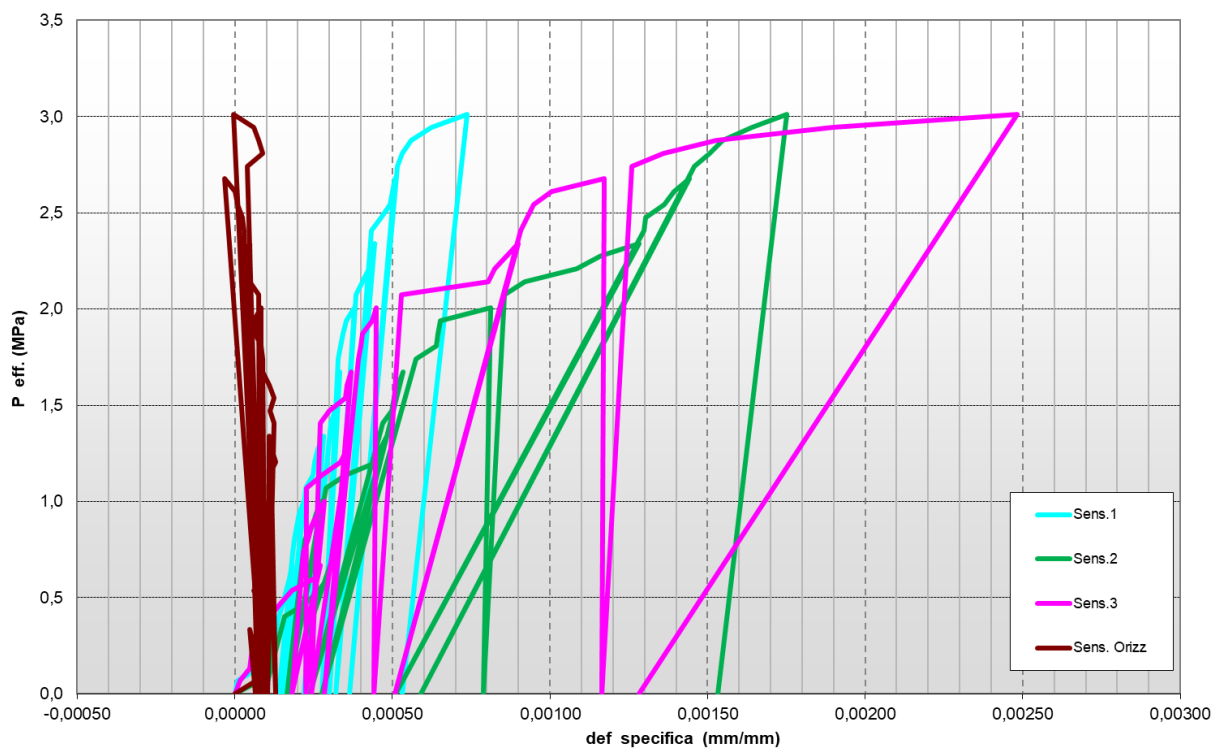


* valore di interpolazione lineare tra gli ultimi due step

**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - VALORI MEDI
MPT2-A74**

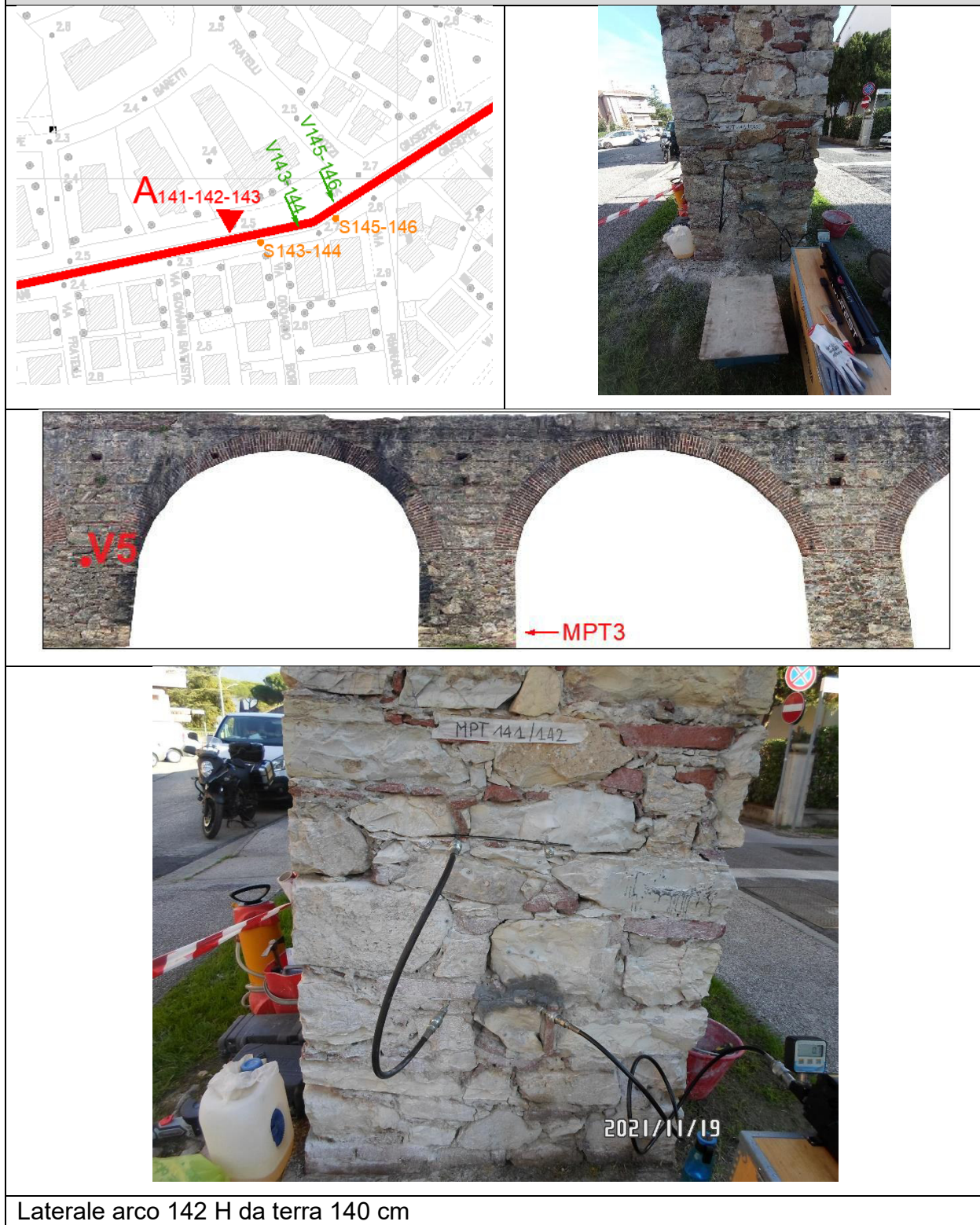


MARTINETTO PIATTO DOPPIO: MPT2-A74



MPT3-arco A141-142

COLLOCAZIONE MPT3



Laterale arco 142 H da terra 140 cm

MPT3-A141/142 SINGOLO

PROVA CON MARTINETTO PIATTO SINGOLO

foglio dati prova

Comitente S.B.A.A.S. - PISA
Luogo Acquedotto Mediceo - P'isa
Ubicazione Arco 141-142
Sigla Prova MPT3-A141/142
Operatore SO
Data prova 19/11/2021

MARTINETTI PIATTI: SEMICIRCOLARI 320 x 125 mm	
Serial Number	
Am (cmg)	286.52
Al (cmg)	316.82
Ka	0.90
Km	0.74
Pc (bar)	P x Km x Ka
area martinetto area taglio coeff. in funzione area di taglio coeff. Taratura martinetto (da certif. di prova) Pressione corretta	

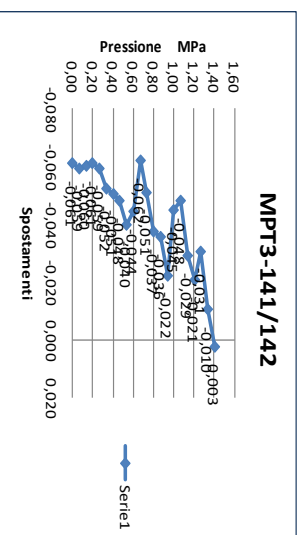
Lung 3	252,095 mm	Lunghezza comparatore millesimale	Lung'h. Media 251,380 Lettura alla barra di taratura 5,745
Lung 2	250,961 mm		
Lung 1	251,085 mm		

Dati comparatore MARTINETTO PIATTO SINGOLO : MPT3-A141/142							
Pressione al manometro	Pressione corretta	Pressione corretta	LETTURE			media R1-R2-R3	Spostamenti medio su 3 sensori
P	Pc	Pc	Sens.1	Sens.2	Sens.3		mm
bar	bar	MPa	mm	mm	mm	mm	
0,00	0,00	0,00	252,4653	252,3413	253,4753	252,7607	prima del taglio
0,00	0,00	0,00	252,4273	252,2893	253,3823	252,6997	-0,061
1,00	0,7	0,07	252,4203	252,2983	253,3853	252,7013	-0,059
2,00	1,3	0,13	252,4183	252,3103	253,3733	252,7007	-0,060
3,00	2,0	0,20	252,4093	252,3093	253,3803	252,6997	-0,061
4,00	2,7	0,27	252,4193	252,3073	253,3773	252,7013	-0,059
5,00	3,3	0,33	252,4233	252,3173	253,3843	252,7083	-0,052
6,00	4,0	0,40	252,4253	252,3193	253,3853	252,7100	-0,051
7,00	4,7	0,47	252,4313	252,3203	253,3863	252,7127	-0,048
8,00	5,4	0,54	252,4373	252,3273	253,3973	252,7207	-0,040
9,00	6,0	0,60	252,4383	252,3253	253,3853	252,7163	-0,044
10,00	6,7	0,67	252,4213	252,3043	253,3703	252,6987	-0,062
11,00	7,4	0,74	252,4153	252,3203	253,3833	252,7097	-0,051
12,00	8,0	0,80	252,4363	252,3303	253,4033	252,7233	-0,037
13,00	8,7	0,87	252,4403	252,3313	253,4033	252,7250	-0,036
14,00	9,4	0,94	252,4423	252,3323	253,4403	252,7383	-0,022
15,00	10,0	1,00	252,4453	252,3433	253,3583	252,7157	-0,045
16,00	10,7	1,07	252,4423	252,3283	253,3673	252,7127	-0,048
17,00	11,4	1,14	252,4453	252,3393	253,4103	252,7317	-0,029
18,00	12,0	1,20	252,4533	252,3393	253,4273	252,7400	-0,021
19,00	12,7	1,27	252,4473	252,3333	253,4093	252,7300	-0,031
20,00	13,4	1,34	252,4573	252,3453	253,4483	252,7503	-0,010
21,00	14,1	1,41	252,4683	252,3463	253,4753	252,7633	0,003
20,79	13,917	1,392					0

* valore di interpolazione lineare tra gli ultimi due step



RISULTATI		
Tensione Esercizio Q (KxKm ²)		
N/cm ²	Kg/cm ²	
139,17	13,917	



MP73-A141/142 DOPPIO

PROVA CON MARTINETTO PIATTO DOPPIO

Bollo della prova	
Comitente	S.B.A.A.S. - PISA
Lungo	Acquedotto Mediceo - Piana
Ubicazione	Arco 141-142
Segna Prova	MP73-A141/142
Operatore	SO
Data prova	18/11/2021

MARTINETTI PIATTI	
Serial Number	SEMICIRCOLARI 320 x 125 mm
Area (cm ²)	286,52
Area (cm ²)	316,82
Ka	0,90
Kb	0,74
Pc (bar)	P x K _{br} x Kb

Lung 4	250,192 mm
Lung 3	248,830 mm
Lung 2	248,830 mm
Lung 1	246,885 mm

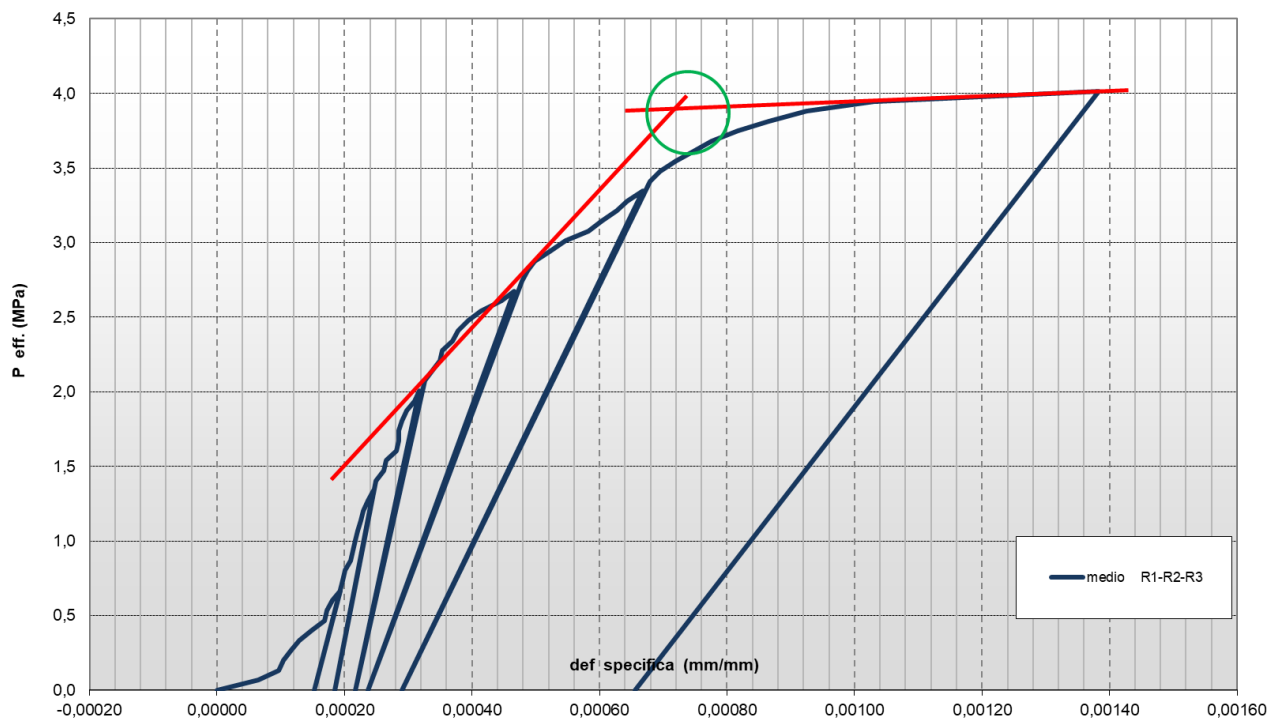
Dati committente MARTINETTO PIATTO DOPPIO

MP73-A141/142

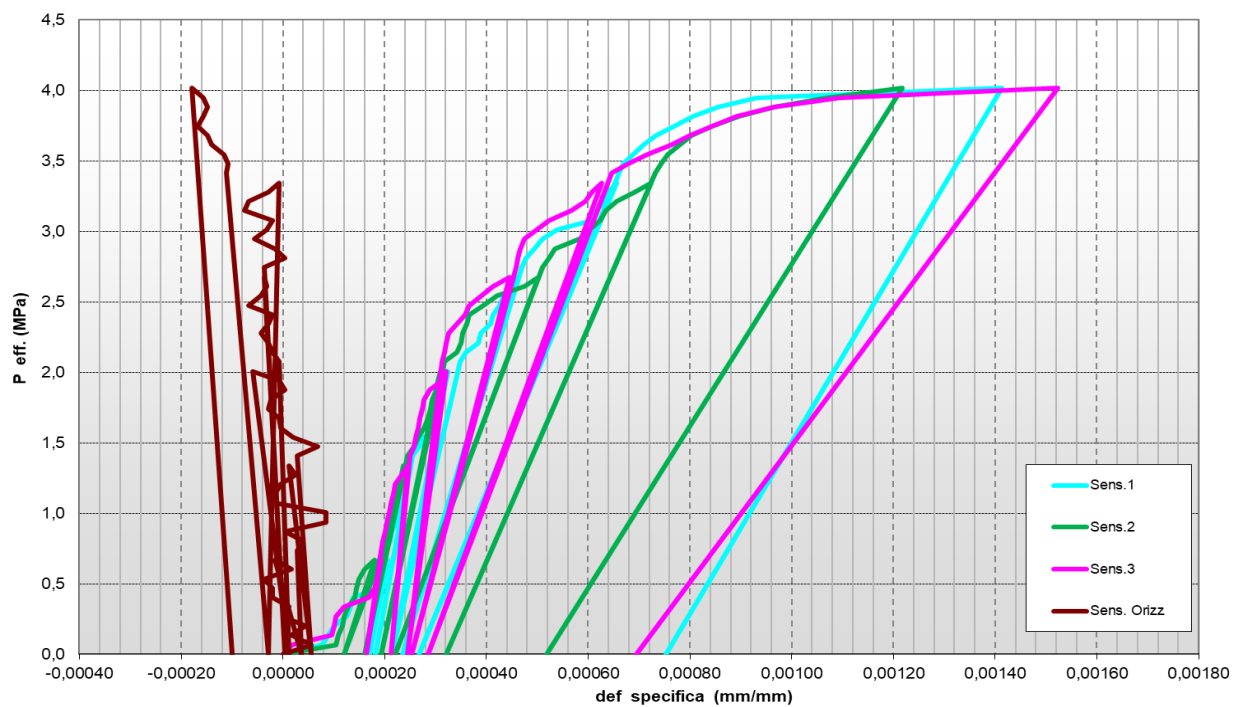
Pressione al manometro		Pressione corretta		LETTURE										MODULO ELASTICO TANGENTE (G)				MODULO ELASTICO NORMALE SECANTE (G)				DEFORMAZIONE dL/L						V	NOTE
P	Pc	Pc	Sens.1	Sens.2	Sens.3	Sens. Orizz	media R1-R2-R3	Sens.1	Sens.2	Sens.3	media R1-R2-R3	Sens.1	Sens.2	Sens.3	media R1-R2-R3	Sens.1	Sens.2	Sens.3	media R1-R2-R3	Sens.1	Sens.2	Sens.3	Sens. Orizz	media R1-R2-R3					
bar	bar	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm					
0,00	0,0	0,00	246,5735	247,4515	247,5425	246,5545	246,8550	246,8500	0	0	0	0	0	0	0	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000					
1,00	0,17	0,07	246,5545	247,4255	247,5355	246,5545	246,8400	876	640	416	1492	870	640	416	1494	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000					
2,00	0,33	0,13	246,5545	247,4245	247,5355	246,5545	246,8320	548	1664	832	7674	1502	1233	1388	1374	0,00008	0,000109	0,000086	0,000044	0,000097	0,01	0,02	0,04						
3,00	0,50	0,20	246,5525	247,4225	247,5155	246,5545	246,8270	2774	1664	1032	1664	1032	1233	1988	190	0,000178	0,000121	0,000104	0,000050	0,000117	0,17	0,22	0,36						
4,00	0,67	0,27	246,5495	247,4215	247,5155	246,5545	246,8270	2774	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
5,00	0,83	0,33	246,5495	247,4195	247,5155	246,5545	246,8270	2774	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
6,00	1,00	0,40	246,5495	247,4185	247,5155	246,5545	246,8270	2774	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
7,00	1,17	0,47	246,5495	247,4155	247,4985	246,5545	246,8190	1387	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
8,00	1,33	0,54	246,5495	247,4145	247,4985	246,5545	246,8190	1387	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
9,00	1,50	0,60	246,5495	247,4115	247,4985	246,5545	246,8190	1387	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
10,00	1,67	0,67	246,5495	247,4065	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
11,00	1,83	0,74	246,5495	247,4015	247,5015	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
12,00	2,00	0,80	246,5495	247,4015	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
13,00	2,17	0,87	246,5495	247,3985	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
14,00	2,33	0,94	246,5495	247,3985	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
15,00	2,50	1,00	246,5495	247,3975	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
16,00	2,67	1,07	246,5495	247,3965	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
17,00	2,83	1,14	246,5495	247,3965	247,4985	246,5545	246,8090	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
18,00	3,00	1,20	246,5495	247,3965	247,4985	246,5545	246,7990	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
19,00	3,17	1,27	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
20,00	3,33	1,34	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
21,00	3,50	1,41	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
22,00	3,67	1,48	246,5495	247,3975	247,4985	246,5545	246,7990	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
23,00	3,83	1,54	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
24,00	4,00	1,61	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	2774	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
25,00	4,17	1,67	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
26,00	4,33	1,74	246,5495	247,3955	247,4985	246,5545	246,7990	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
27,00	4,50	1,81	246,5495	247,3975	247,4985	246,5545	246,7990	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
28,00	4,67	1,88	246,4985	247,3975	247,4985	246,5545	246,7990	8321	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
29,00	4,83	1,94	246,4985	247,3955	247,4645	246,5545	246,7790	548	1664	832	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
30,00	5,00	2,01	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7890	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
31,00	5,17	2,07	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
32,00	5,33	2,13	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
33,00	5,50	2,21	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
34,00	5,67	2,28	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
35,00	5,83	2,34	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
36,00	6,00	2,41	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
37,00	6,17	2,48	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
38,00	6,33	2,54	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
39,00	6,50	2,61	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					
40,00	6,67	2,68	246,4985	247,4035	247,4815	246,5545	246,7790	1842	1664	1032	1664	1032	1233	2292	2292	0,000238	0,000168	0,000136	0,000044	0,000090	0,000117	0,17	0,22	0,36					

0.00	0.0	0.00	246.5155	247.3965	247.4795	248.8535	246.7970	121.04	95.10	1386.9	1182.8	0	0	0	0.000235	0.000221	0.000253	0.000004	0.000237		
41.00	27.4	2.74	246.4575	247.3245	247.4255	248.8535	246.7370	117.65	94.77	1338.0	1154.0	58.40	53.76	59.90	57.95	0.000470	0.000510	0.000458	-0.000036	0.000479	0.08
42.00	28.1	2.81	246.4555	247.3215	247.4275	248.8535	246.7350	83.21	55.48	1684.3	1017.1	58.81	53.80	60.82	57.93	0.000478	0.000522	0.000462	0.000004	0.000487	0.01
43.00	28.8	2.88	246.4515	247.3185	247.4285	248.8585	246.7320	41.61	55.48	1684.3	87.84	58.3	53.83	61.73	57.93	0.000494	0.000535	0.000466	-0.000016	0.000499	0.03
44.00	29.4	2.94	246.4475	247.3085	247.4295	248.8685	246.7260	13.87	13.87	83.21	482.3	57.70	50.3	62.10	56.77	0.000510	0.000583	0.000474	-0.000056	0.000547	0.06
45.00	30.1	3.01	246.4405	247.3015	247.4185	248.8625	246.7200	23.78	33.29	277.4	282.7	59.00	49.6	60.44	55.43	0.000539	0.000603	0.000498	-0.000032	0.000547	0.06
46.00	30.8	3.08	246.4255	247.2965	247.4125	248.8595	246.7110	9.79	33.29	277.4	236.0	50.67	49.82	58.83	55.00	0.000608	0.000623	0.000522	-0.000020	0.000583	0.13
47.00	31.5	3.15	246.4215	247.2935	247.4015	248.8735	246.7060	83.21	55.48	1613	51.27	51.09	48.5	56.51	52.94	0.000616	0.000635	0.000567	-0.000078	0.000603	0.13
48.00	32.1	3.21	246.4175	247.2885	247.3845	248.8715	246.6900	41.61	33.29	237.8	32.89	50.64	48.3	54.01	51.29	0.000632	0.000658	0.000585	-0.000068	0.000627	0.11
49.00	32.8	3.28	246.4155	247.2795	247.3815	248.8615	246.6800	83.21	184.9	55.48	52.39	51.24	47.44	54.04	50.91	0.000640	0.000691	0.000607	-0.000028	0.000643	0.04
50.00	33.5	3.35	246.4135	247.2715	247.3885	248.8565	246.6800	83.21	20.98	32.39	31.90	50.69	48.25	53.38	50.21	0.000686	0.000732	0.000626	-0.000008	0.000688	0.01
0.00	0.0	0.00	246.5075	247.3715	247.4715	248.8615	246.7840	86.88	83.21	97.90	89.28	0	0	0	0	0.000267	0.000322	0.000385	-0.000028	0.000280	
51.00	34.1	3.41	246.4105	247.2885	247.3815	248.8825	246.6870	87.90	93.32	86.31	88.34	51.70	46.6	52.76	50.37	0.000660	0.000731	0.000647	-0.000112	0.000680	0.16
52.00	34.8	3.48	246.4085	247.2885	247.3735	248.8815	246.6830	83.21	55.48	184.9	35.75	51.51	46.84	46.69	48.35	0.000688	0.000744	0.000679	-0.000108	0.000686	0.16
53.00	35.5	3.55	246.4085	247.2835	247.3645	248.8835	246.6770	33.29	55.48	184.9	35.75	51.51	46.84	46.69	48.35	0.000688	0.000756	0.000715	-0.000116	0.000720	0.16
54.00	36.1	3.61	246.3985	247.2575	247.3525	248.8895	246.6700	33.29	27.74	138.7	24.66	50.8	46.5	47.33	48.22	0.000709	0.000780	0.000763	-0.000140	0.000748	0.19
55.00	36.8	3.68	246.3925	247.2515	247.3435	248.8915	246.6630	27.74	184.9	24.66	50.21	45.79	46.03	47.34	45.94	0.000733	0.000804	0.000800	-0.000148	0.000778	0.19
56.00	37.5	3.75	246.3835	247.2415	247.3325	248.8965	246.6530	184.9	16.84	151.3	16.75	48.70	44.40	44.41	44.82	0.000770	0.000844	0.000844	-0.000168	0.000816	0.21
57.00	38.1	3.81	246.3745	247.2285	247.3205	248.8935	246.6410	13.87	12.90	138.7	15.05	47.32	42.66	42.76	41.97	0.000806	0.000886	0.000892	-0.000158	0.000865	0.18
58.00	38.8	3.88	246.3625	247.2115	247.3025	248.8915	246.6280	13.87	97.9	92.5	10.97	45.42	40.24	40.25	38.48	0.000855	0.000965	0.000984	-0.000148	0.000925	0.16
59.00	39.5	3.95	246.3435	247.1885	247.2705	248.8935	246.6000	87.6	64.0	52.0	42.38	36.12	36.12	38.48	0.000932	0.001089	0.001093	-0.000158	0.001029	0.15	
60.00	40.2	4.02	246.3245	247.1485	247.1635	248.8995	246.5120	14.0	45.0	15.6	24.8	28.40	32.97	29.25	0.001414	0.001218	0.001523	-0.000180	0.001383	0.13	
0.00	0.0	0.00	246.3875	247.3225	247.3895	248.8795	246.6930	61.26	57.39	484.7	55.71	0	0	0	0	0.000753	0.000518	0.000695	-0.000100	0.000655	

**MARTINETTO PIATTO DOPPIO - VALORI MEDI
MPT3-A141/142**



MARTINETTO PIATTO DOPPIO: MPT3-A141/142



Conclusioni sulle indagini

Proprietà meccaniche delle malte

Sono state eseguite n. 6 prove penetrometriche in situ per determinare le proprietà meccaniche della malta dalle quali sono emersi i valori riepilogati in tabella.

Detti valori risultano essere in linea con la tabella 11.10.II ed il capitolo 11.10.2 delle NTC 2018 che non ammette l'impiego di malte per strutture portanti aventi una resistenza $f_m < 2.5$ N/mm². Nel caso specifico i valori medi complessivi sono superiori al valore minimo di norma almeno per il tratto cittadino indagato.

Punto di prova	Classificazione (UNI998-2/04)	Resistenza meccanica
<ul style="list-style-type: none"> CM1 (arco 4-5) CM2 (arco 3-4) CM3 (arco 70-71) CM141-142 (arco 141-142) CM 142-143 (arco 142-143) 	classe M2,5	Da 2.8 a 3.5 MpA
<ul style="list-style-type: none"> CM4 (arco 74-75) 	classe M1	2.3 MpA

Indagine sonica

Sono state eseguite 7 prove soniche su muratura per valutare la qualità della tessitura muraria ed il suo grado di compattezza nel nucleo. Per i paramenti analizzati e sottoposti anche a test meccanico è possibile affermare che la tessitura muraria indica una struttura accuratamente costruita e conservata con elevata resistenza a compressione. Il test di propagazione delle onde soniche è stato altresì eseguito laddove vi è un quadro fessurativo severo, andando a validare il fatto che le lesioni/fratture indicano una discontinuità tra gli elementi lapidei, in particolar modo sulle pile soggette a rotazione.

In effetti i test hanno mostrato una dispersione del segnale sonico andando quindi a determinare murature danneggiate o con difetti ed irregolarità nei corsi e nelle giunzioni. Per ciascun test eseguito si rimanda alla relativa scheda di analisi.

Endoscopie murarie

Sono state eseguite 6 endoscopie murarie permettendo l'acquisizione di informazioni utili per determinare lo stato di conservazione dell'elemento indagato all'interno del suo nucleo e determinarne una tipologia muraria in base alla tabella C.8.5.I delle NTC 2018. L'endoscopia ha altresì permesso di verificare l'assenza di nuclei interni e discontinuità importanti delle pile e valutarne in maniera qualitativa i difetti laddove sono presenti invece discontinuità dovute a fratture meccaniche conseguenti alla rotazione del manufatto. Per ciascuna zona indagata si rimanda alla relativa tabella di analisi.

Meccanica delle murature

Sono stati eseguiti 3 martinetti in configurazione singola e doppia al fine di determinare gli stati tensionali (f) ed i moduli elastici (E-G) da confrontare coi parametri meccanici di riferimento della tabella C.8.5.I delle NTC 2018.

Prendendo in riferimento la tabella di sintesi dei "risultati meccanica delle murature", sopra riportata, possiamo affermare che:

- sull' arco 4-5 MPT1 i valori dei moduli E, G e sono inferiori alla tabella di riferimento C.8.5.I, così come la tensione di esercizio, che è minore al valore di resistenza del materiale, pari a 5,06 Kg/cm²
- sull' arco 74-75 hanno fornito moduli E e G superiori alla tabella di riferimento C.8.5.I e il modulo f inferiore alla suddetta tabella con tensione di esercizio pari a 7,08 Kg/cm²
- Le indagini eseguite sull' arco 141-142 hanno fornito moduli E e G superiori alla tabella di riferimento C.8.5.I e con una tensione di esercizio pari a 13,92 Kg/cm², che pur essendo inferiore al valore tabellare indica che lo stato tensionale è maggiore rispetto agli altri due punti di prova per effetto di eccentricità del carico dovuta alla rotazione delle arcate in quei punti.

Analisi petrografiche su campioni di malte prelevati dalle murature

Si riporta a seguire la sintesi dell'analisi petrografica condotta sulle malte a cura del Dott. Marcello Spampinato.

In base alle analisi le malte analizzate dovrebbero risultare, probabilmente, riferibili a un unico intervento costruttivo dal momento che, a parte alcune differenze da un prelievo all'altro, in generale presentano importanti caratteristiche comuni.

Tutti gli impasti sono caratterizzati da legante a calce idraulica il cui grado di idraulicità risulta variabile da un prelievo all'altro, ma anche nell'ambito dello stesso prelievo, per cui è

ipotizzabile che in alcuni casi, per uno stesso impasto, siano stati mescolati più tipi di calce. Inoltre, il grado di idraulicità risulta variabile anche in relazione della funzione della malta; in corrispondenza della fondazione l'idraulicità della malta è molto elevata (da propriamente a eminentemente idraulica), mentre il grado più basso è stato rilevato nell'intonaco di rivestimento. Nelle malte di allettamento si è stimato invece un grado di idraulicità intermedio.

Nella malta della fondazione, nonostante l'elevata idraulicità del legante, il colore della matrice è tendenzialmente bianca, mentre negli altri prelievi tende al giallo. Nel primo caso il colore bianco dovrebbe essere imputabile alla cottura di calcari a più elevata componente silicea (come rilevabile dagli incotti presenti nell'impasto), mentre negli altri impasti, probabilmente sono stati utilizzati calcari a più elevata componente marnosa (non si esclude una mescolanza con calcari silicei) che, essendo più ricca di ossidi di ferro, ha conferito agli impasti un colore più caldo.

Anche l'aggregato sabbioso presenta composizione analoga in tutti i prelievi, a parte alcune differenze nell'ordine di abbondanza dei singoli componenti.

Pisa, lì 30/11/2023

Il Direttore del Laboratorio

Ing. **Dott. Ing. Leonardo Landucci**






Lo sperimentatore

Geom. Silvio Oliverio



Certificazione del personale

 BUREAU VERITAS		 ACCREDIA <small>CENTRO ITALIANO DI ACCREDITAMENTO</small> PRS N° 075C <small>Member of the Board of Italian Recognition SA, SRF e SAC Signatory of EN, UNI and S.I.C. mutual Recognition Agreements</small>
PROVE NON-DISTRUTTIVE / SEMI DISTRUTTIVE: Certificato di Qualifica Operatore NON-DESTRUCTIVE TESTING / SEMI-DESTRUCTIVE: Operator Qualification Certificate		
N° CIV-22-00153-R		
Si certifica la qualifica in Prove Non Distruttive / Semi Distruttive al Livello 3 <i>It certifies the qualification Non Destructive Testing / Semi-destructive at the Level 3</i>		
Titolare del certificato / Certificate holder Oliverio Silvio (ID # 971)		
Nato a / born in: Pisa (PI)	Il / on: 28 Nov 1970	
Per il metodo / for the method: Flat Jack Tests (MP)		
Su strutture civili e su beni culturali ed architettonici On civil structures and on cultural and architectural goods		
Il presente certificato viene rilasciato in accordo alla norma UNI/PdR 56:2019 e Regolamento Bureau Veritas IT-IND-REG-02_NDT.CIV <i>This certificate is issued according to</i> standard UNI/PdR 56:2019 and Bureau Veritas Rule IT-IND-REG-02_NDT.CIV		
Data ultima revisione / Date last revision: _____		
Emesso / issued: 23 Mar 2022	Scadenza / Expiry date: 22 Mar 2027	
Autorizzazione del datore di lavoro <i>Employer authorizing</i>	Firma titolare del certificato <i>Signature of certificate holder</i>	
Responsabile Tecnico di Schema NDT Scheme Chief Luca Rossi 		
<small>© BUREAU VERITAS ITALIA S.p.A. Viale Monza, 347, 20126 Milano IND-F-044_NDT.CIV Rev 08 del 03/03/2020</small>		



CERTIFICATO



Reg. Numero PnD-CIV -0732 Revisione 00
Data di rilascio 04/12/2018 Data di ultima modifica 04/12/2018
Data di prossimo rinnovo 20/06/2023

Sistema di Gestione della Certificazione del Personale sviluppato da
Kiwa Cermet Italia in conformità alla norma ISO/IEC 17024

Si dichiara che il tecnico:

SILVIO OLIVERIO

Data e luogo di nascita:
28/11/1970 / Pisa (PI)

ha superato positivamente il processo di valutazione in accordo ai requisiti dello
schema PG_PRS_PND CIV Schema di qualificazione e certificazione del personale
tecnico addetto alle prove non distruttive (PND) nel campo dell'ingegneria civile e sui
beni culturali ed architettonici

e pertanto è certificato quale

**PERSONALE TECNICO ADDETTO ALLE PROVE NON DISTRUTTIVE
(PND) NEL CAMPO
DELL'INGEGNERIA CIVILE E SUI BENI CULTURALI E
ARCHITETTONICI**

alle condizioni sotto riportate:

Livello: **2**

Per il metodo PND: **SCLEROMETRICA (SC)**

Per il settore: **INGEGNERIA CIVILE, BENI CULTURALI E ARCHITETTONICI**

¹ Redatto facendo riferimento ai livelli di qualificazione elencati al paragrafo 6 della UNI EN ISO 9712.

Il mantenimento della certificazione è soggetto a sorveglianza e subordinato al rispetto dei requisiti
contrattuali Kiwa Cermet Italia.

Il presente certificato è costituito da 1 pagina.

Autorizzazione ad operare dal datore di lavoro

Chief Operating Officer
Giampiero Belcredi

Kiwa Cermet Italia S.p.A.
Società con socio unico, soggetta
all'attività di direzione e coordinamento
di Kiwa Italia Holding Srl
Via Cadriano, 23
40057 Granarolo dell'Emilia (BO)
Tel +39.051.459.3.111
Fax +39.051.763.382
E-mail: info@kiwacermet.it
www.kiwacermet.it

CERMET



SGQ N° 007A
SGA N° 010D
PRD N° 069B
FSM N° 004I
PRS N° 089C

CERTIFICATO DI LIVELLO 3 DI OPERATORE CND
LEVEL 3 CERTIFICATE OF NDT OPERATOR



No. 20VE00369PN4

Operatore Operator	OLIVERIO SILVIO		
Nato a Born in	PISA (PI)	il on	28/11/1970
Impiegato presso Employed by	SURVEY ITALIA CONTROLLI NON DISTRUTTIVI MONITORAGGI RILIEVI		
Con Sede in Located in	VIA DI CAMPOLUNGO, 10, 56017, San Giuliano Terme, PI		

Si certifica che il suddetto operatore è qualificato al LIVELLO 3 in accordo ai documenti UNI/PdR 56:2019 e RINA RC/C18, relativi alla certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile

This is to certify that the above mentioned operator is qualified LEVEL 3 according to the documents UNI/PdR 56:2019 and RINA RC/C18, relevant to the non destructive testing technical personnel certification in the civil sector

nel metodo:
in the method:

SONORO
SONIC

Il presente certificato è valido dal <i>This certificate is valid until</i>	4 June 2020	fino al <i>to</i>	3 June 2025
Rilasciato a <i>Issued at</i>	GENOVA	il <i>on</i>	4 June 2020

Filippo Lago
(Italy Welding & Pressure
Equipment Certification
Head)



This certificate consist of 1 page



PRS N° 066 C

Membro degli Accordi di Mutuo
Riconoscimento EA, IAF e ILAC
Signatory of EA, IAF and ILAC
Mutual Recognition Agreements

RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova

CERTIFICATO DI LIVELLO 3 DI OPERATORE CND
LEVEL 3 CERTIFICATE OF NDT OPERATOR

No. 20VE00369PN6

Operatore Operator	OLIVERIO SILVIO		
Nato a Born in	PISA (PI)	il on	28/11/1970
Impiegato presso Employed by	SURVEY ITALIA CONTROLLI NON DISTRUTTIVI MONITORAGGI RILIEVI		
Con Sede in Located in	VIA DI CAMPOLUNGO, 10, 56017, San Giuliano Terme, PI		

Si certifica che il suddetto operatore è qualificato al LIVELLO 3 in accordo ai documenti UNI/PdR 56:2019 e RINA RC/C18, relativi alla certificazione del personale tecnico addetto alle prove non distruttive nel campo dell'ingegneria civile

This is to certify that the above mentioned operator is qualified LEVEL 3 according to the documents UNI/PdR 56:2019 and RINA RC/C18, relevant to the non destructive testing technical personnel certification in the civil sector

nel metodo:
in the method:

INDAGINE ENDOSCOPICA
ENDOSCOPIC TEST

Il presente certificato è valido dal <i>This certificate is valid until</i> Rilasciato a <i>Issued at</i>	4 June 2020	fino al <i>to</i>	3 June 2025
	GENOVA	il <i>on</i>	4 June 2020

Filippo Lago
(Italy Welding & Pressure
Equipment Certification
Head)



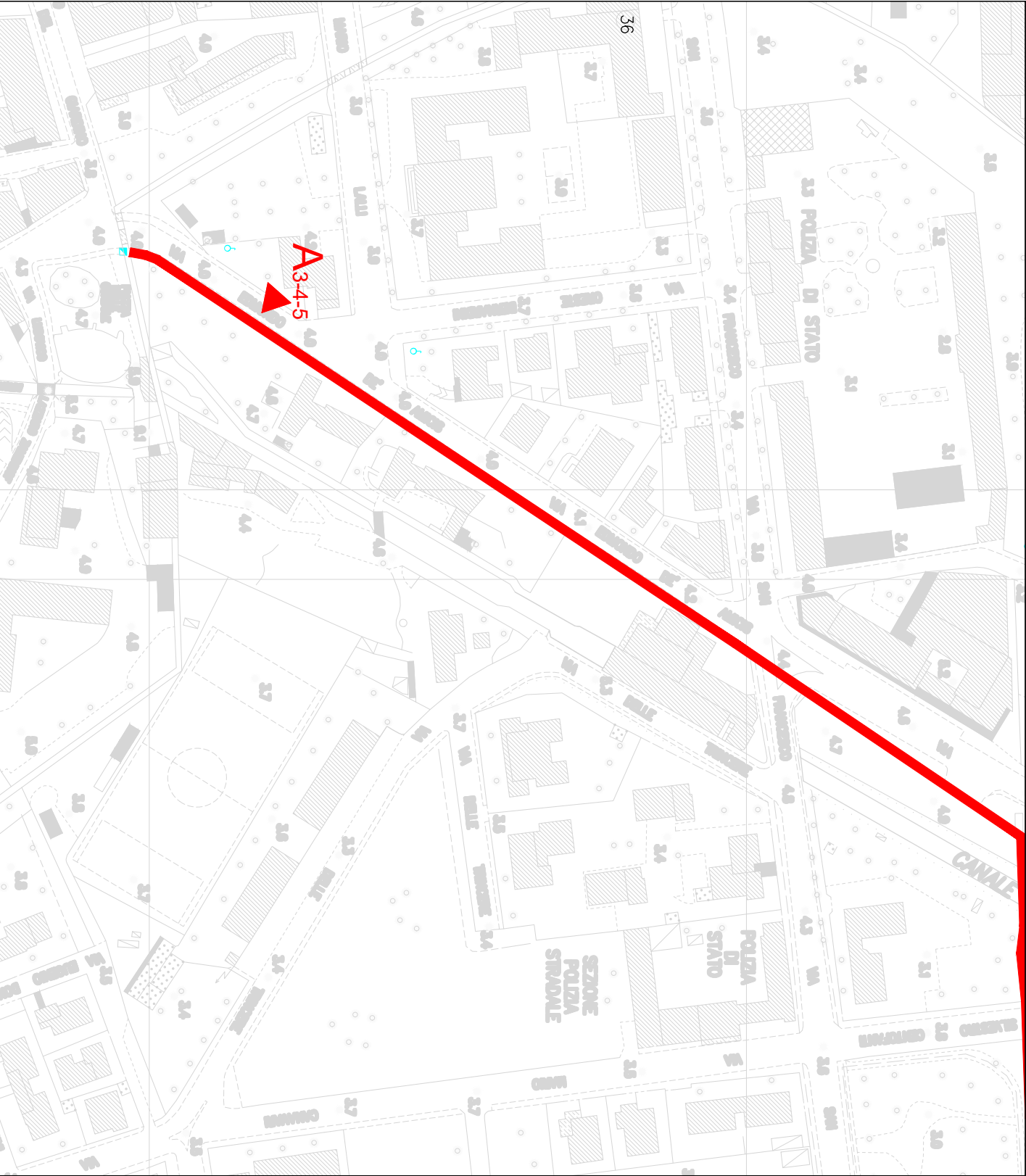
This certificate consist of 1 page



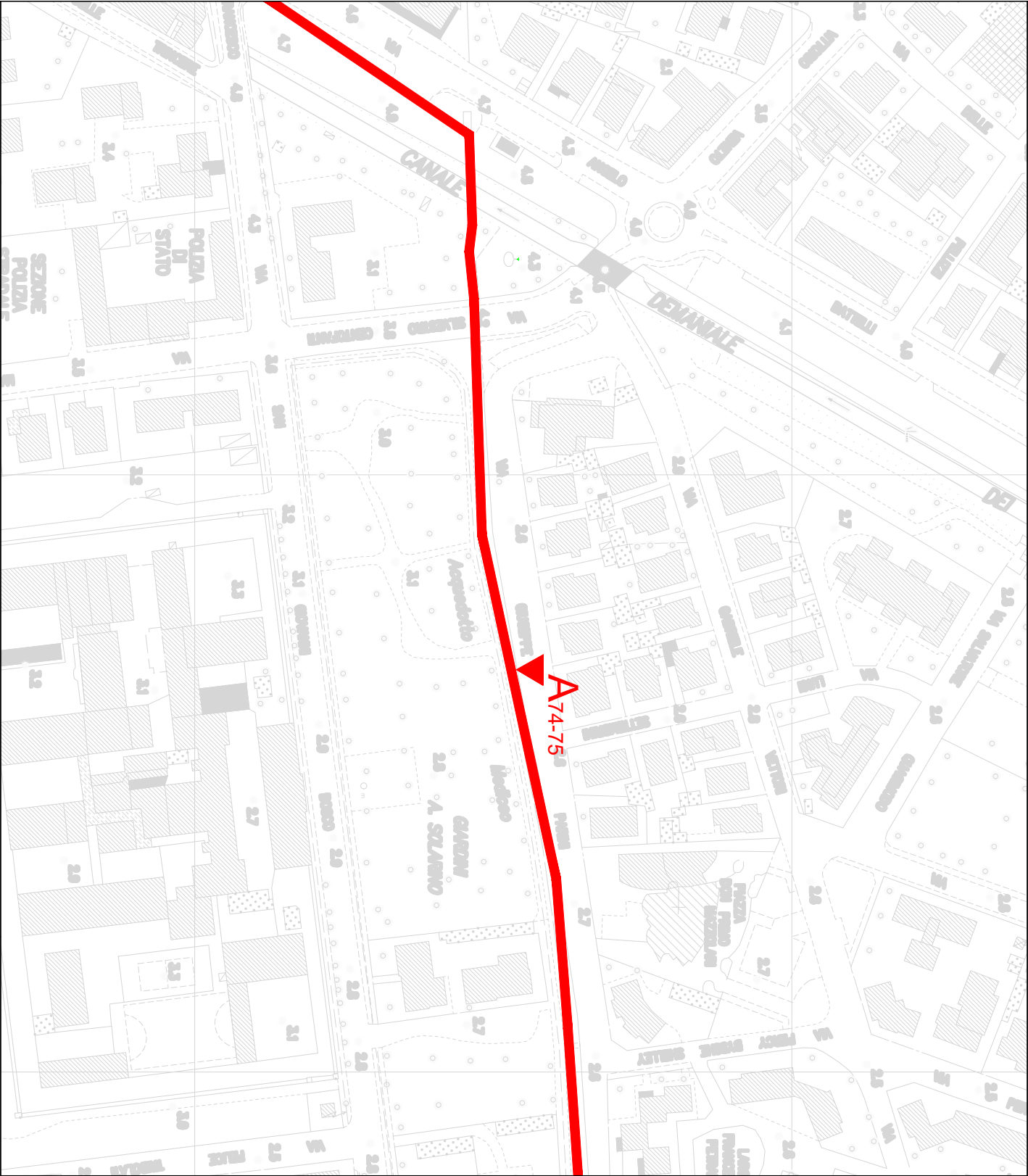
PRS N° 066 C

Membro degli Accordi di Mutuo
Riconoscimento EA, IAF e ILAC
*Signatory of EA, IAF and ILAC
Mutual Recognition Agreements*

RINA Services S.p.A.
Via Corsica 12 - 16128 Genova








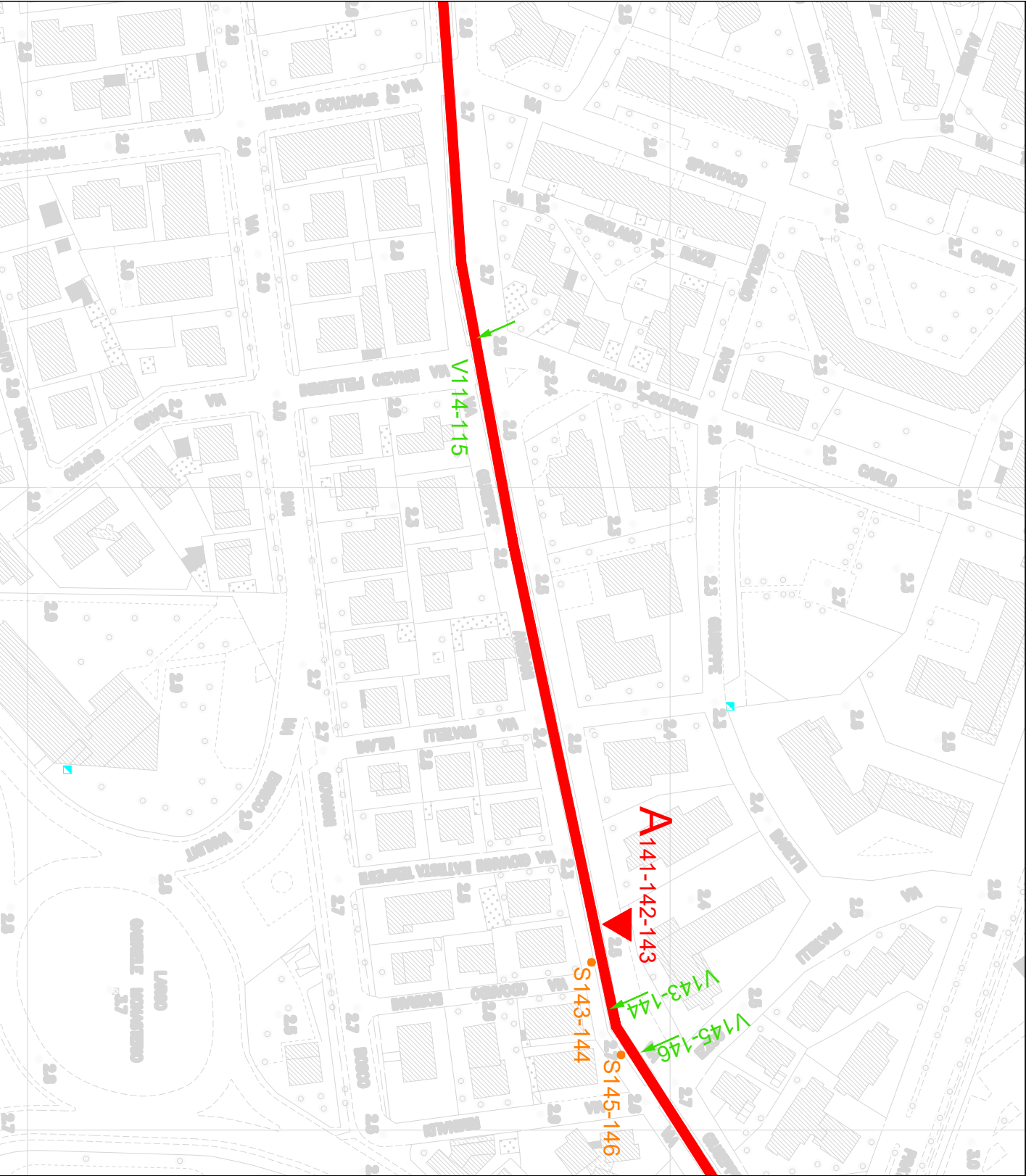
LEGENDA	
	Punto che comprende tutte le tipologie di indagine
	Martinetto piatto
	Caratterizzazione meccanica e clinico fisica della malta
	Indagine Endoscopica
	Indagine sonica su murature








LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA E RESTAURO TRATTO URBANO ED EXTRAURBANO
DELL'ACQUEDOTTO MEDICEO-S.A.B.A.P. PISA E LIVORNO - Lung.no Pacinotti 46 - Pisa

LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI

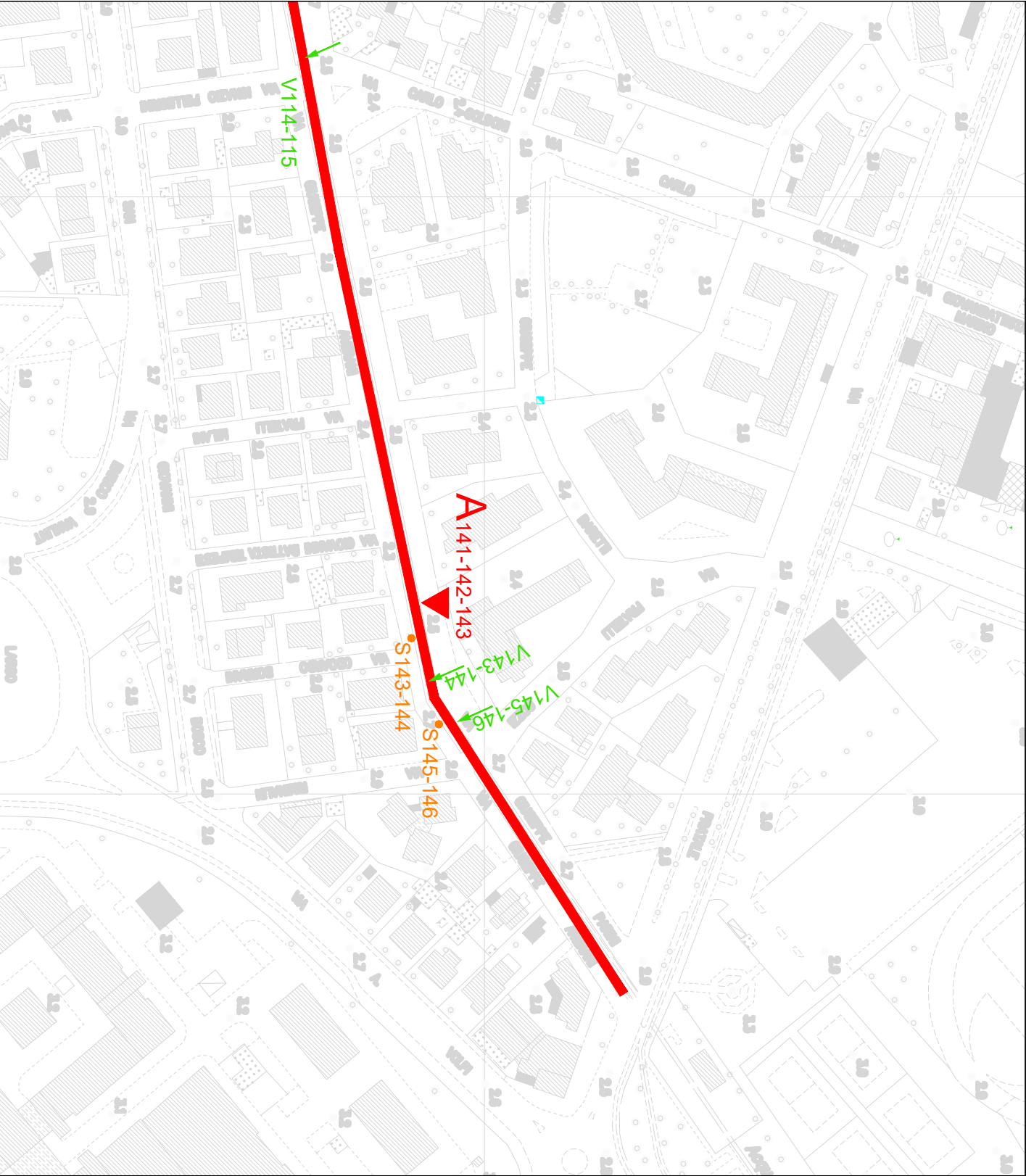
LEGENDA	
	Punto che comprende tutte le tipologie di indagine
	Martinetto piatto
	Caratterizzazione meccanica e clinico fisica della malta
	Indagine Endoscopica
	Indagine sonica su murature



LEGENDA	
	Punto che comprende tutte le tipologie di indagine
	Martinetto piatto
	Caratterizzazione meccanica e clinico fisica della malta
	Indagine Endoscopica
	Indagine sonica su murature






LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA E RESTAURO TRATTO URBANO ED EXTRAURBANO
DELL'ACQUEDOTTO MEDICEO-S.A.B.A.P. PISA E LIVORNO - Lung.no Pacinotti 46 - Pisa

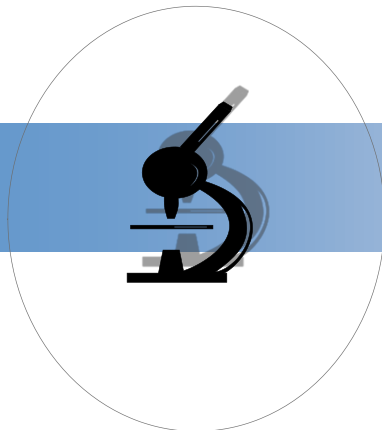
LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI



LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA E RESTAURO TRATTO URBANO ED EXTRAURBANO
DELL'ACQUEDOTTO MEDICEO-S.A.B.A.P. PISA E LIVORNO - Lungno Pacinotti 46 - Pisa

LOCALIZZAZIONE DELLE INDAGINI

LEGENDA	
	Punto che comprende tutte le tipologie di indagine
	Martinetto piatto
	Caratterizzazione meccanica e clinico fisica della malta
	Indagine Endoscopica
	Indagine sonica su murature



**ANALISI DI LABORATORIO
MATERIALI LAPIDEI E PITTORICI
DR. MARCELLO SPAMPINATO**

**Analisi petrografiche su campioni di malte prelevati dalle murature dell'acquedotto
mediceo a Pisa**

Dr. Marcello Spampinato

Traversa III° 15/A
Via di S. Maria del Giudice
55100 Lucca

Tel: 0583-1807654
e-mail:
marcellospampinato1@virgilio.it

Lucca 18/11/21

Premessa

Sui prelievi sono state effettuate analisi petrografiche al microscopio ottico polarizzatore, sulle sezioni sottili e opache, per determinare la composizione mineralogica degli impasti e le granulometrie.

RISULTATI ANALISI

Prelievo n°1

Malta sotto la zattera di fondazione. Fondazione pila interna

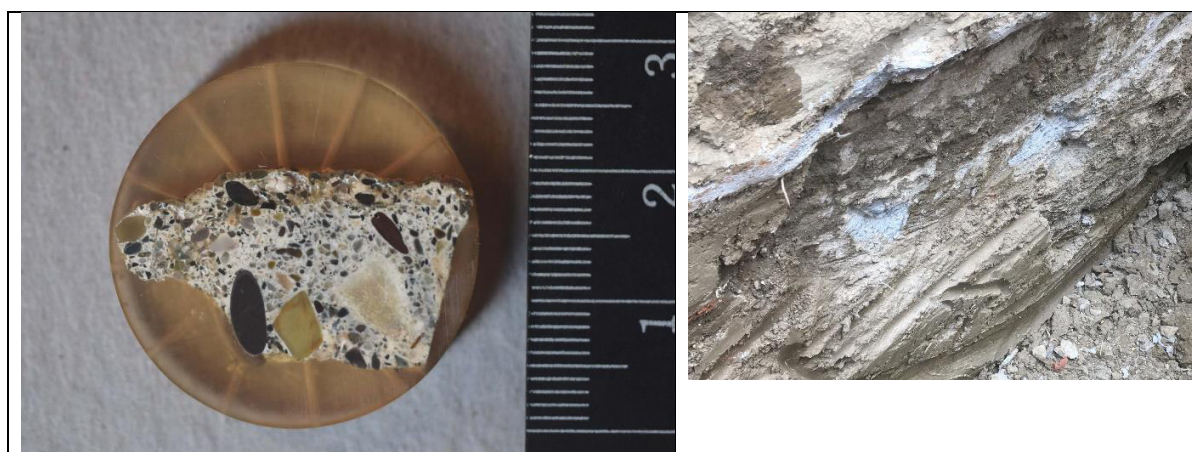
La foto a sinistra mostra una macro di un frammento di malta, consolidato e inglobato in pasticca di resina. Sullo stesso frammento è stata effettuata la sezione sottile analizzata petrograficamente. Dalla foto si osserva un impasto in cui l'aggregato presenta granulometria variabile da grossolana a molto fine. La foto a destra mostra la zona del prelievo (fornita dalla committenza).

All'analisi il legante dell'impasto risulta costituito da calce idraulica naturale (stimabile da propriamente idraulica a eminentemente idraulica). La matrice del legante è in prevalenza costituita dai prodotti di idratazione della frazione idraulica del legante. La presenza di incotti e la loro composizione con elevato residuo di silicati, lascia supporre la produzione di questo legante dalla cottura di calcari silicei.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da calcari sedimentari (micriti, biomicriti, calcareniti), arenarie, siltiti, quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), feldspati, argilliti, selci/radiolariti, vulcaniti.

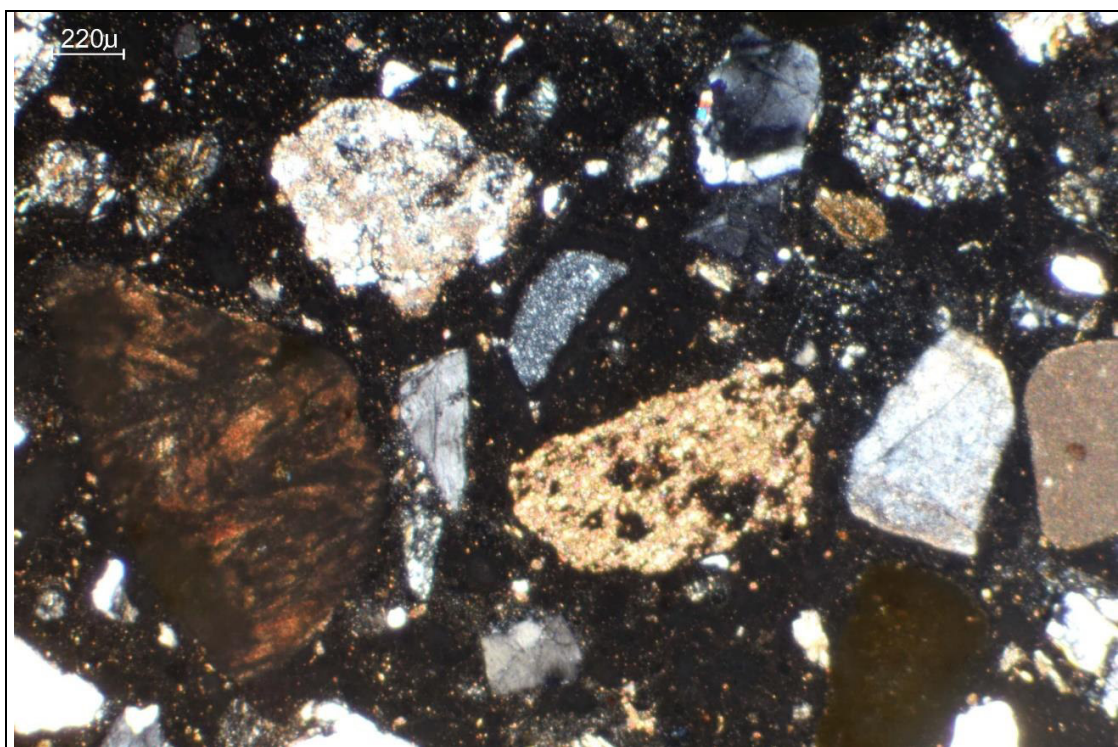
La granulometria dell'aggregato è variabile in continuità da poche centinaia di micron (sabbia fine) a massimi di circa 5 mm di diametro (ghiaia fine).

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

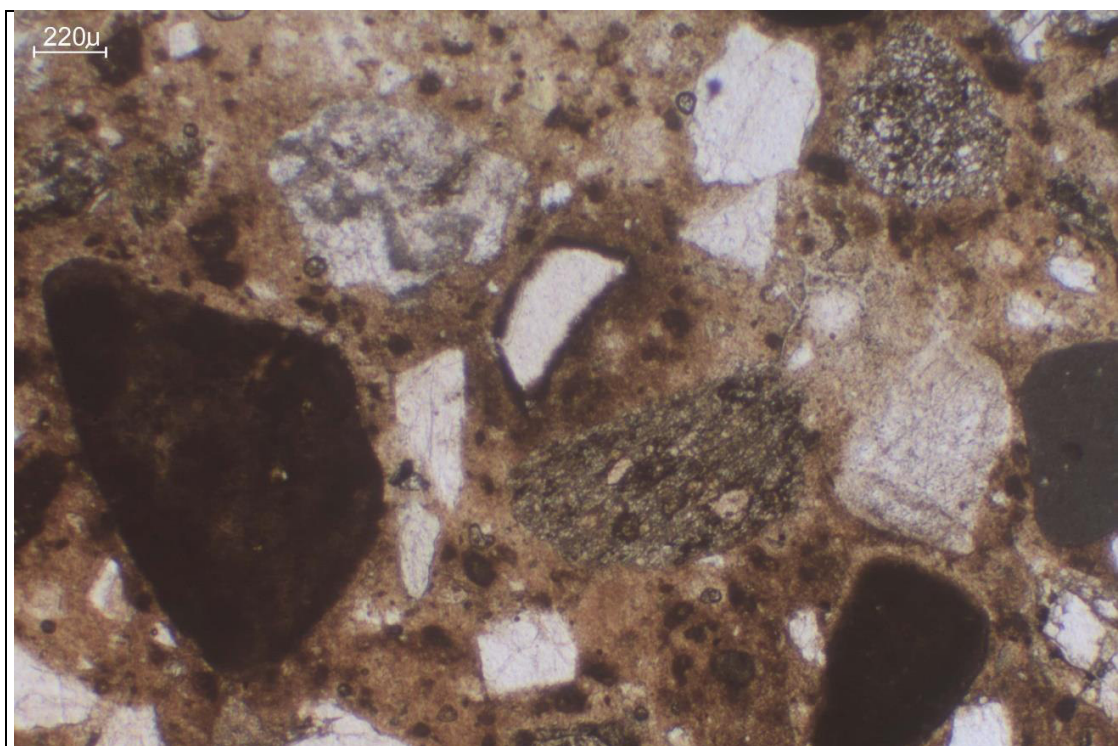


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

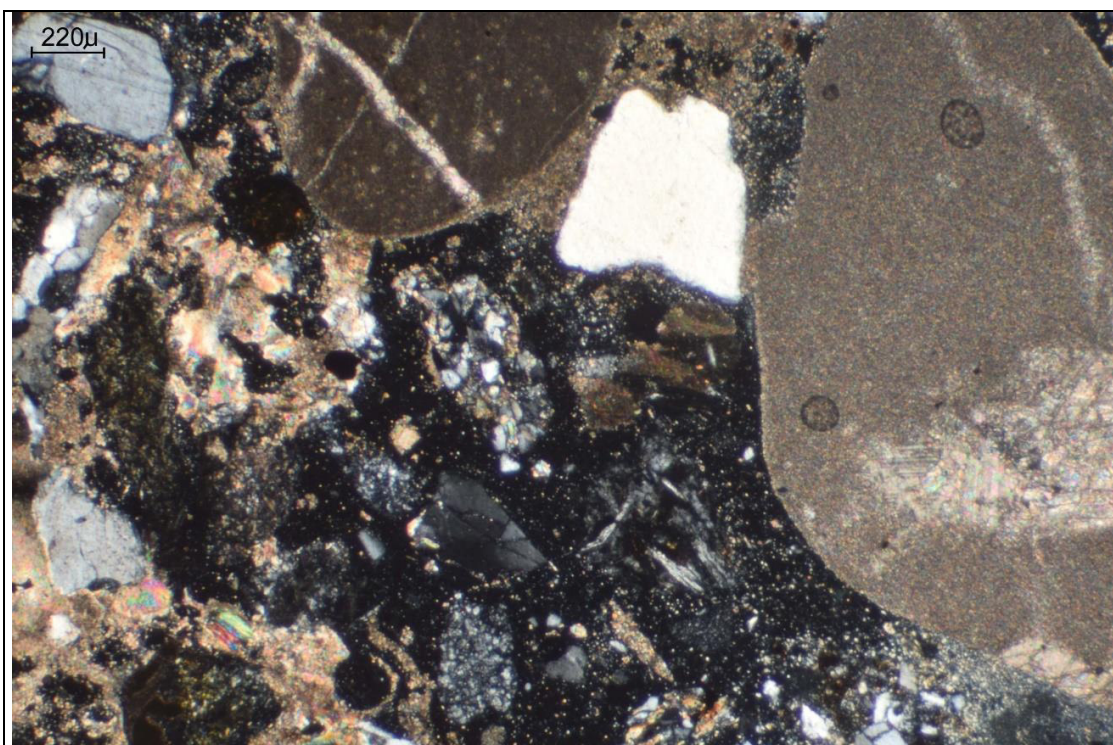
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento; si osservano i granuli di aggregato sabbioso in una matrice del legante otticamente isotropa, poiché costituita quasi esclusivamente dai prodotti di idratazione della frazione idraulica (silicati e silicoalluminati di calcio idrati) che essendo amorfi (non cristallini) appaiono neri (isotropi) alla luce polarizzata
- 2) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente; la matrice del legante presenta aspetto disomogeneo e grumoso, tipico dei leganti idraulici
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento; in questo caso la matrice del legante è parzialmente amorfa (zona centrale) e parzialmente cristallina per la presenza di calce carbonatata (aggregato microcristallino birifrangente)
- 4) nicol paralleli della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento; in basso a destra è osservabile una porzione di un grosso frammento di incotto in origine costituito da un calcare siliceo, dove attualmente la matrice scura è costituita prevalentemente da silicati di calcio anidri (reazione della calce con la silice), mentre i minuti inclusi chiari sono i residui di silicati (in parte quarzo) non trasformati dalla cottura



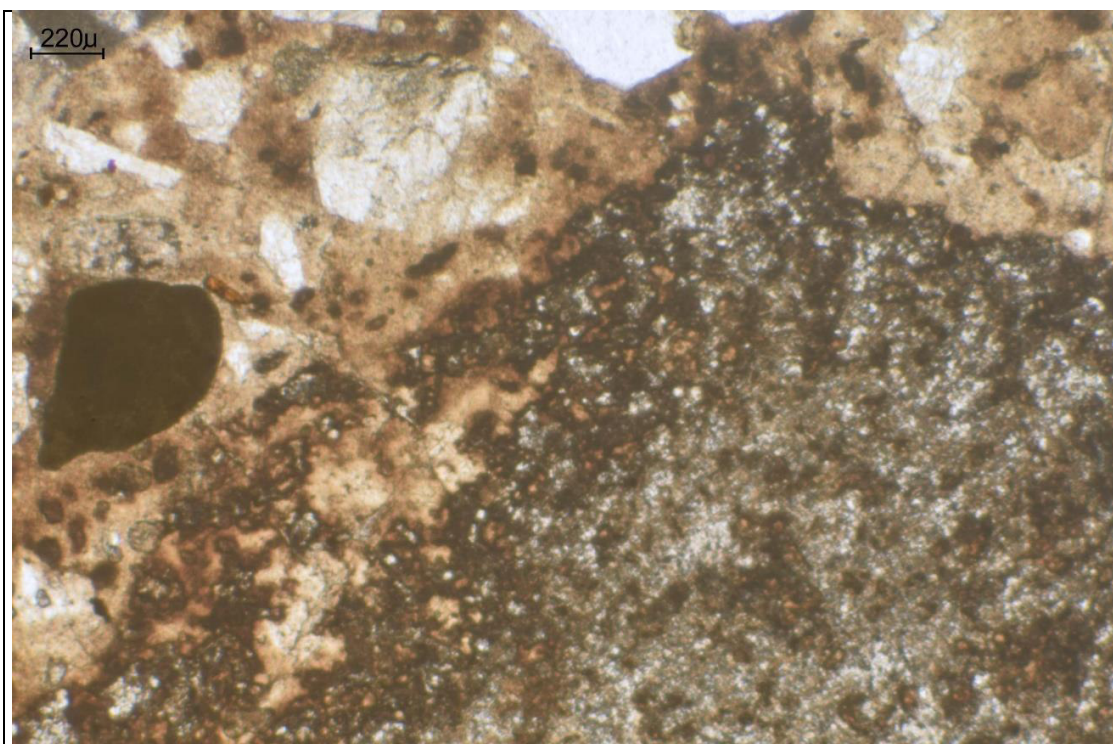
microfoto 1 – prelievo n°1



microfoto 2 – prelievo n°1



microfoto 3 – prelievo n°1



microfoto 4 – prelievo n°1

Prelievo n°2*Intonaco. Rinfianco esterno lato Via de Amicis*

Dalla macrofoto si osserva un intonaco composto da due strati (arriccio e intonaco). Nell'arriccio la granulometria dell'aggregato e il suo addensamento appaiono leggermente superiori rispetto all'intonaco.

All'analisi petrografica della sezione sottile, entrambi gli strati risultano costituiti da legante a calce stimabile tra debolmente idraulica e mediamente idraulica (di tipo naturale). La matrice del legante risulta costituita da aggregato di calce carbonatata e solo ad alti ingrandimenti si rilevano plaghe riferibili alla frazione idraulica (silicati e silicoalluminati di calcio idrati).

L'aggregato, di composizione identica in entrambi gli strati, è composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), feldspati, arenarie, siltiti, argilliti, calcite, carbonati sedimentari (calcareniti, micriti).

Nell'arriccio la granulometria è relativamente fine e omogenea con netta prevalenza della frazione granulometrica compresa tra 0,2 e 0,3 mm di diametro, con pochi granuli di dimensioni intorno al mm. Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2,5-3.

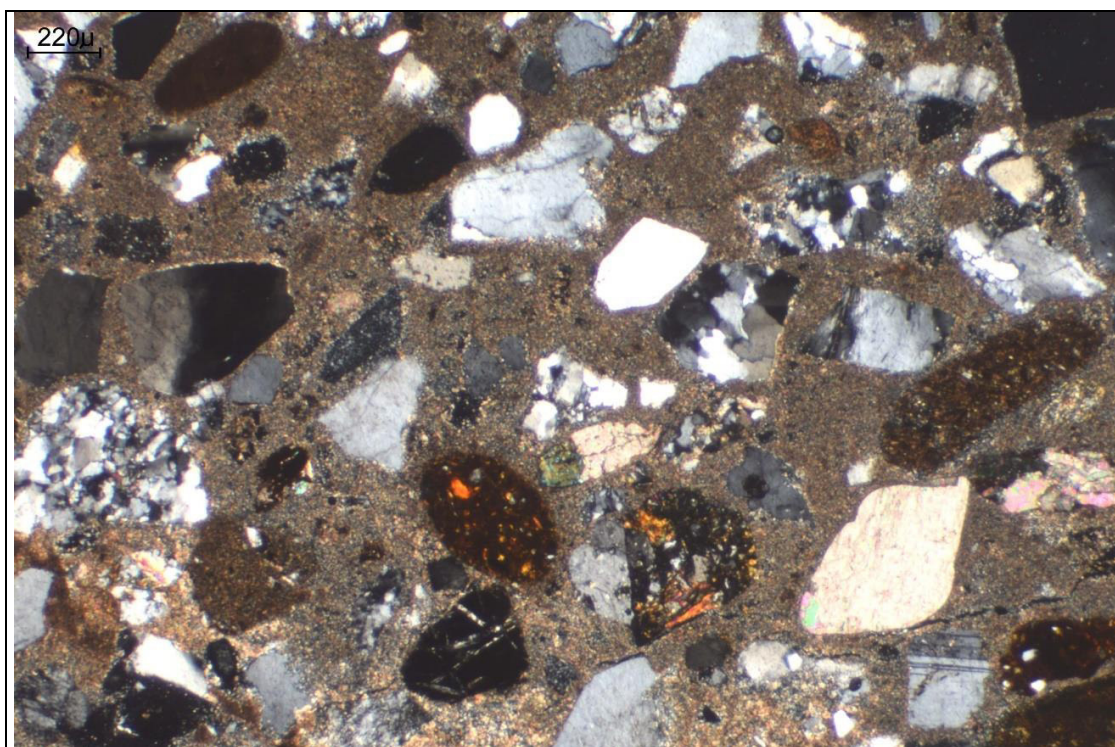
Nell'intonaco la granulometria è relativamente fine e omogenea con dimensioni massime nettamente inferiori al mm. Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2,5.

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

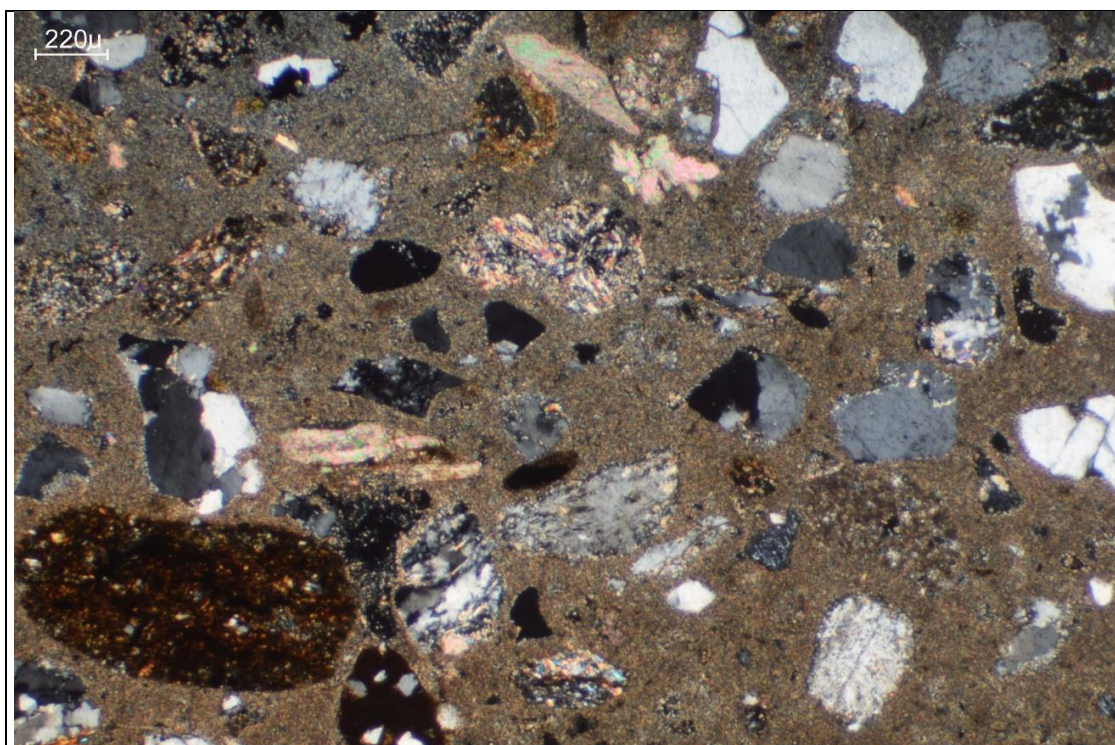


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

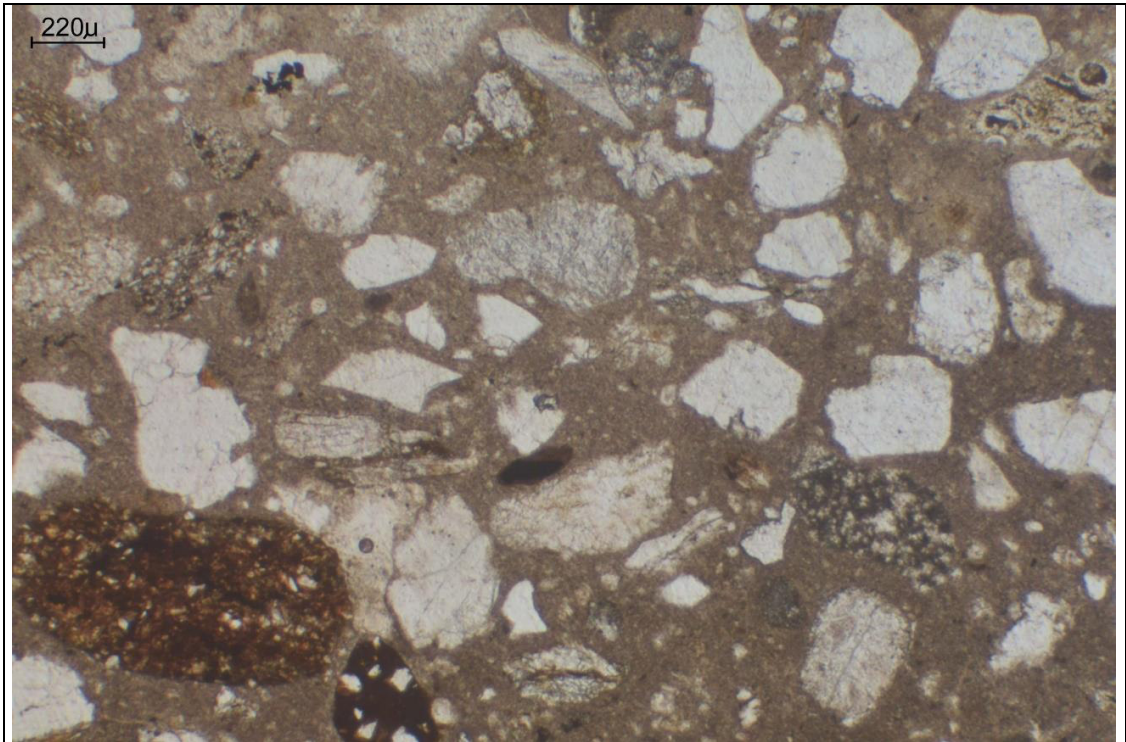
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento dell'arriccio; la matrice del legante è costituita prevalentemente da calce carbonatata (aggregato criptocristallino birifrangente). Si osserva inoltre la granulometria relativamente omogenea dell'aggregato sabbioso
- 2) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura dell'intonaco dove la matrice del legante presenta lo stesso aspetto dell'arriccio. La granulometria dell'aggregato è mediamente più fine
- 3) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente dove si osserva l'aspetto più omogeneo della matrice del legante rispetto a quella del prelievo precedente
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare del legante; le minute plaghe scure disperse nella matrice carbonatica, sono riferibili alla frazione idraulica (silicati e silicoalluminati di calcio idrati)



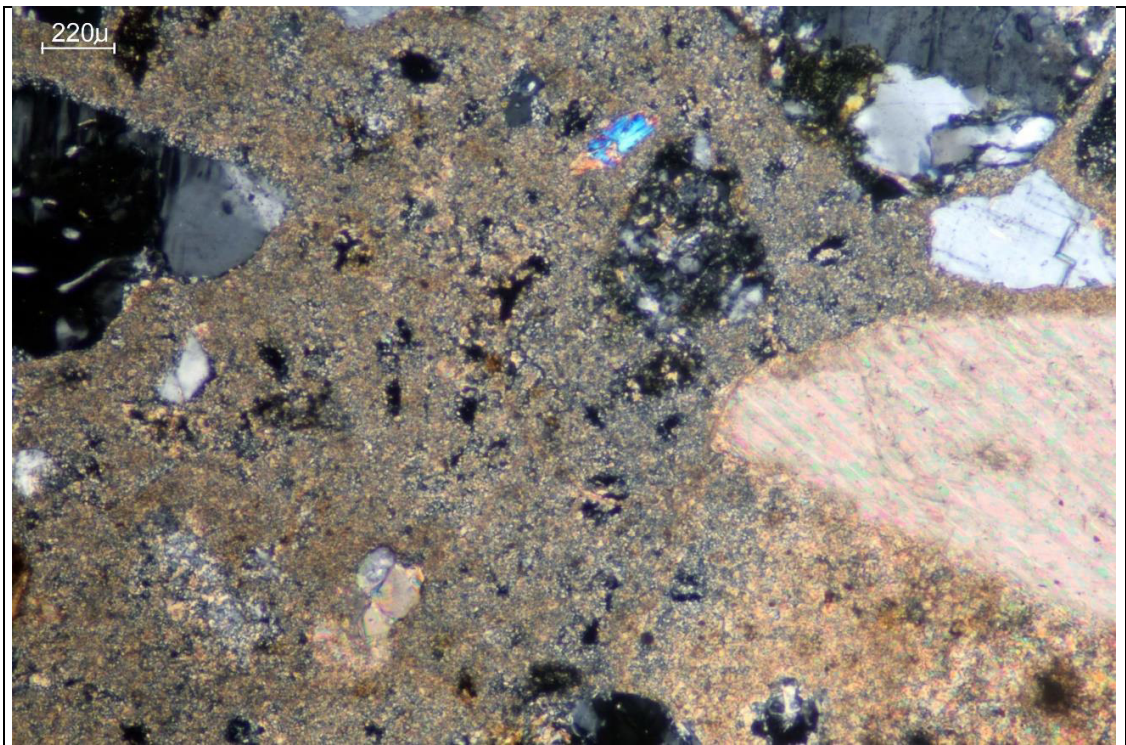
microfoto 1 – prelievo n°2



microfoto 2 – prelievo n°2



microfoto 3 – prelievo n°2



microfoto 4 – prelievo n°2

Prelievo n°3 *Malta di allettamento. Pila interna*

Nella macrofoto si osserva un impasto a granulometria fine con radi granuli più grossolani.

All'analisi petrografica il legante risulta di calce idraulica naturale, stimabile in mediamente idraulica. La matrice del legante è costituita prevalentemente da calce carbonatata a tessitura microspartita (tipica delle calce idrauliche), ma in alcune zone si osservano plaghe dove la frazione idraulica (silicati e silicoalluminati di calcio idrati) è relativamente elevata.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), arenarie, calcari sedimentari (micriti, biomicriti), siltiti, feldspati, argilliti, argilloscisti, selci/radiolariti.

La granulometria, a parte radi granuli grossolani, è fine e omogenea con netta prevalenza della frazione granulometrica compresa tra 0,2 e 0,3 mm di diametro.

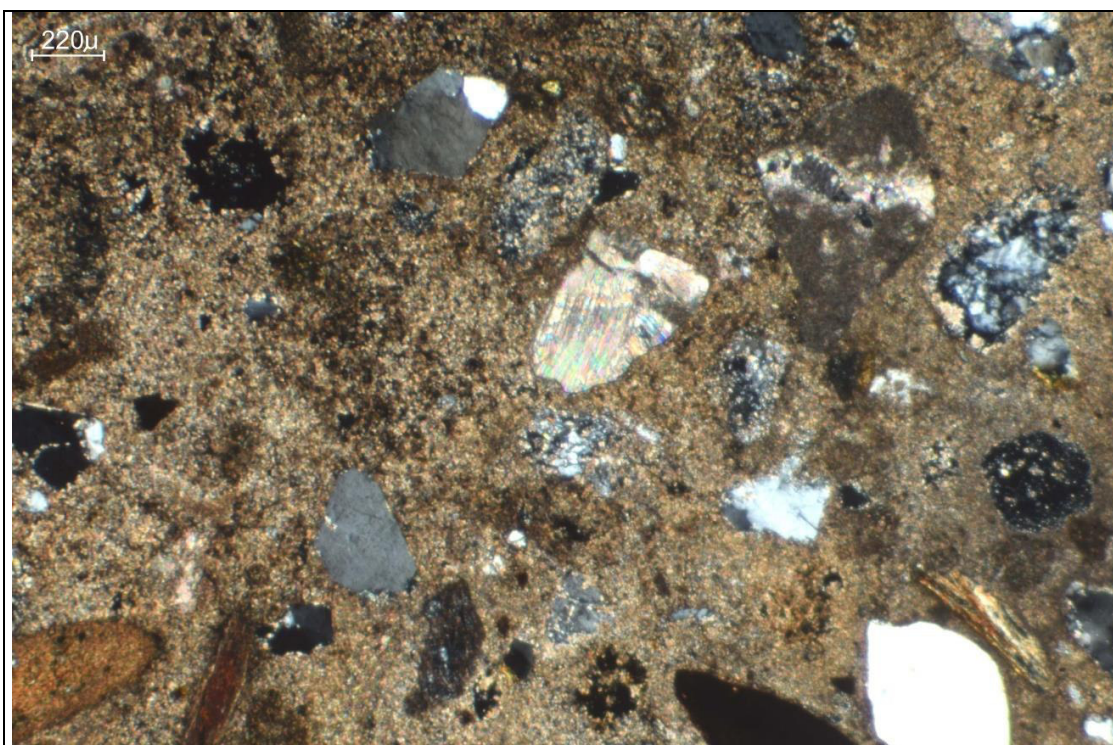
Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2.

Vedi documentazione microfotografica a allegata alle pagine seguenti.

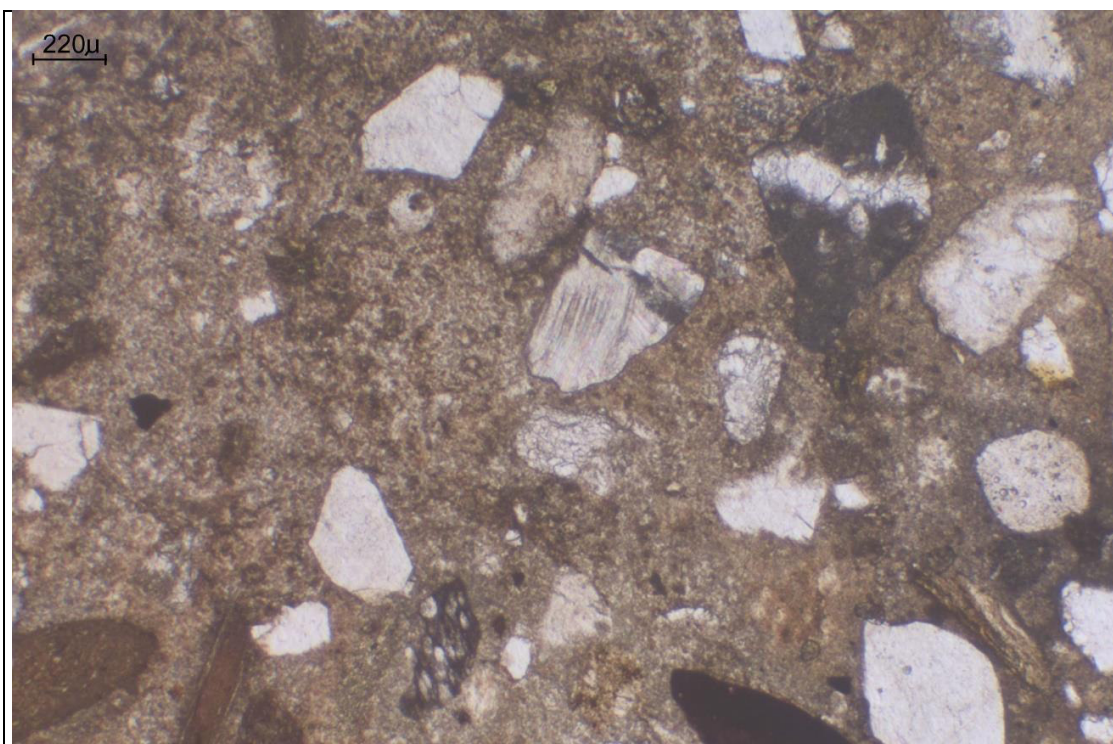


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

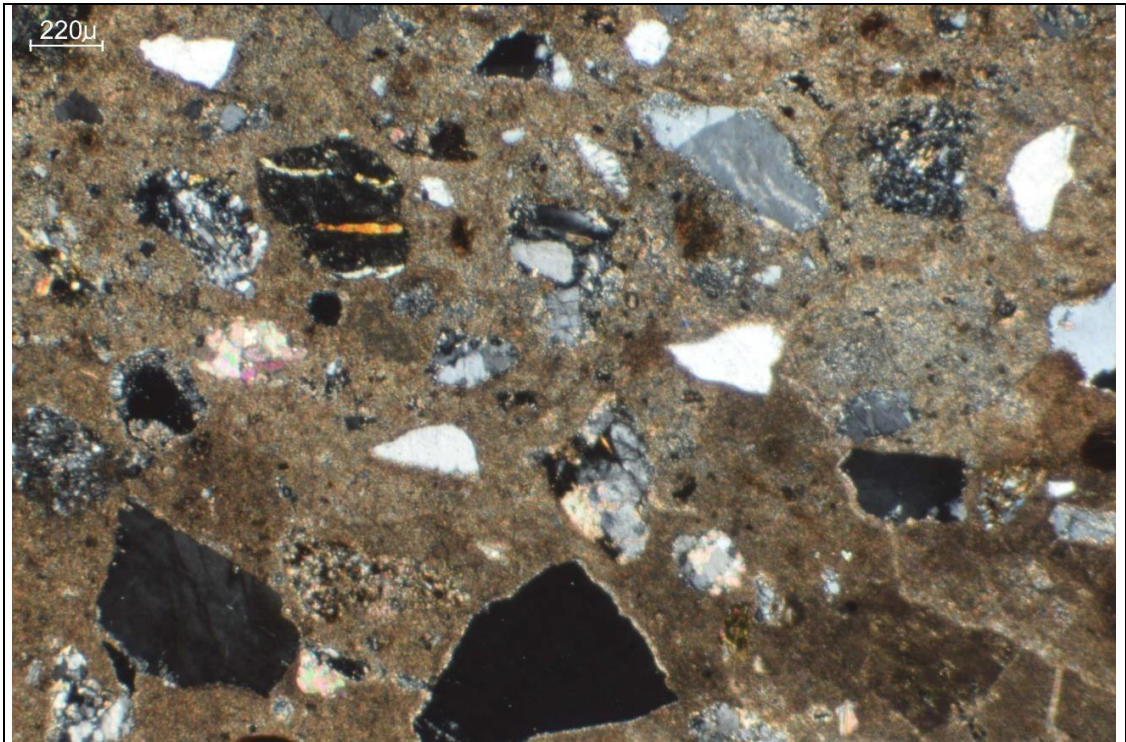
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento dove nel legante si osserva l'aggregato birifrangente di calce carbonatata che ingloba plaghe più scure riferibili alla frazione idraulica
- 2) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente dove l'aspetto disomogeneo del legante è tipico delle calce idrauliche
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento dove il legante presenta meno plaghe riferibili alla frazione idraulica
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare del legante; le minute plaghe scure (isotrope) disperse nella matrice carbonatica microspartita, sono riferibili alla frazione idraulica (silicati e silicoalluminati di calcio idrati)



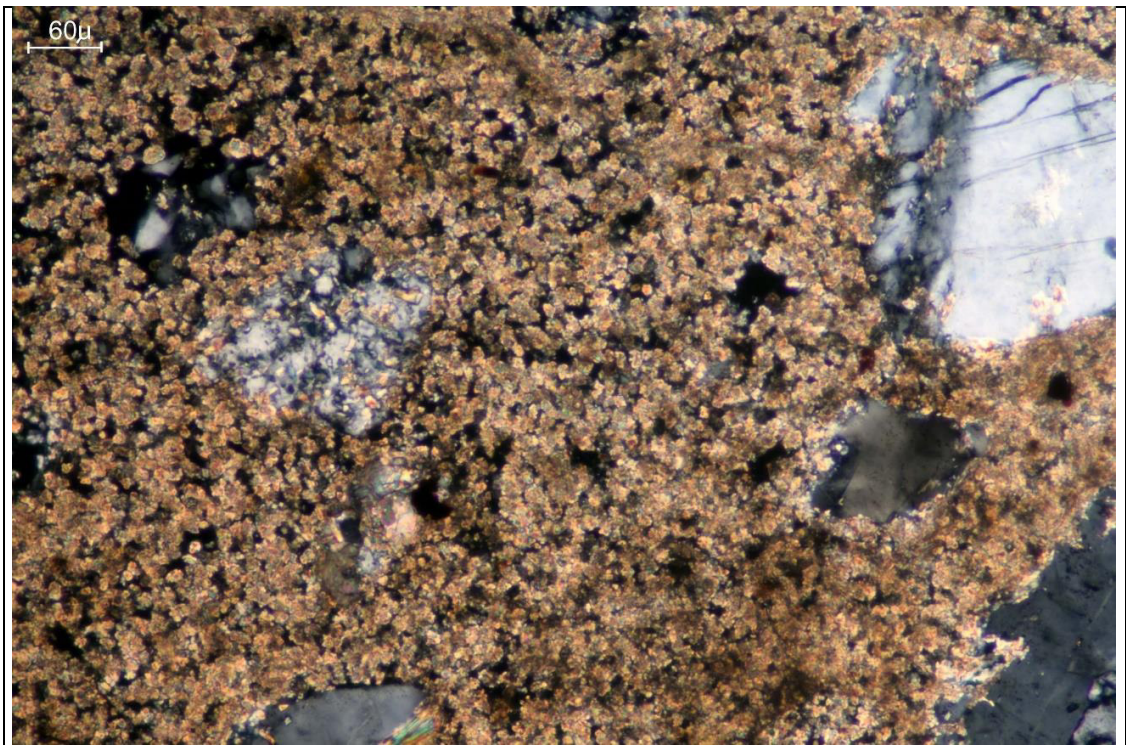
microfoto 1 – prelievo n°3



microfoto 2 – prelievo n°3



microfoto 3 – prelievo n°3



microfoto 4 – prelievo n°3

Prelievo n°4*Malta di allettamento. Pila esterna lato Via Parini*

Nella macrofoto si osserva un impasto con presenza di grumi grossolani (plaghe ovaleggianti prive di aggregato e a volte con microfratture da ritiro) riferibili sia a disomogeneità dell'impasto e probabilmente anche a incotti.

Nella stessa sezione si osserva come nella porzione inferiore l'impasto presenta matrice di colore bianco rispetto al giallo-nocciola della parte superiore (colore tipico delle calce idrauliche e dovute alla presenza di ossidi e idrossidi di ferro finemente dispersi nel legante). All'analisi petrografica risulta una calce idraulica naturale stimabile in mediamente idraulica, mentre in corrispondenza della porzione bianca la calce risulta invece più di tipo aereo o lievemente idraulica e con minore concentrazione di ossidi di ferro. Tra le due porzioni non si osserva soluzioni di continuità e la composizione dell'aggregato e la granulometria sono le stesse; si ritiene quindi più probabile una mescolanza di tipi di calce differenti. Si ritiene invece meno probabile attribuire la porzione bianca a residuo di malta più antica rimasta inglobata nella malta a calce idraulica.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), arenarie, calcari sedimentari (micriti, biomicriti), siltiti, feldspati, vulcaniti, selci/radiolariti, argilliti, argilloscisti

La granulometria è relativamente fine e variabile in continuità da poche decine di micron fino a massimi di poco superiori al mm.

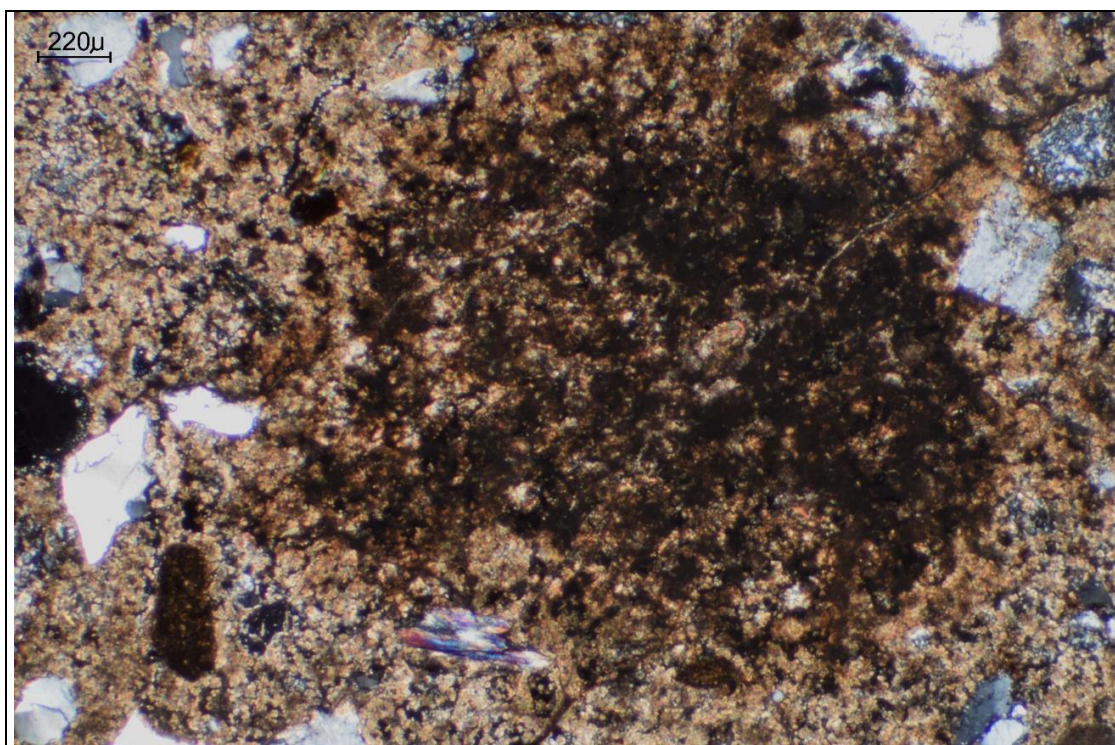
Il rapporto in volume legante/aggregato è difficilmente stimabile per l'elevata presenza di grumi.

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

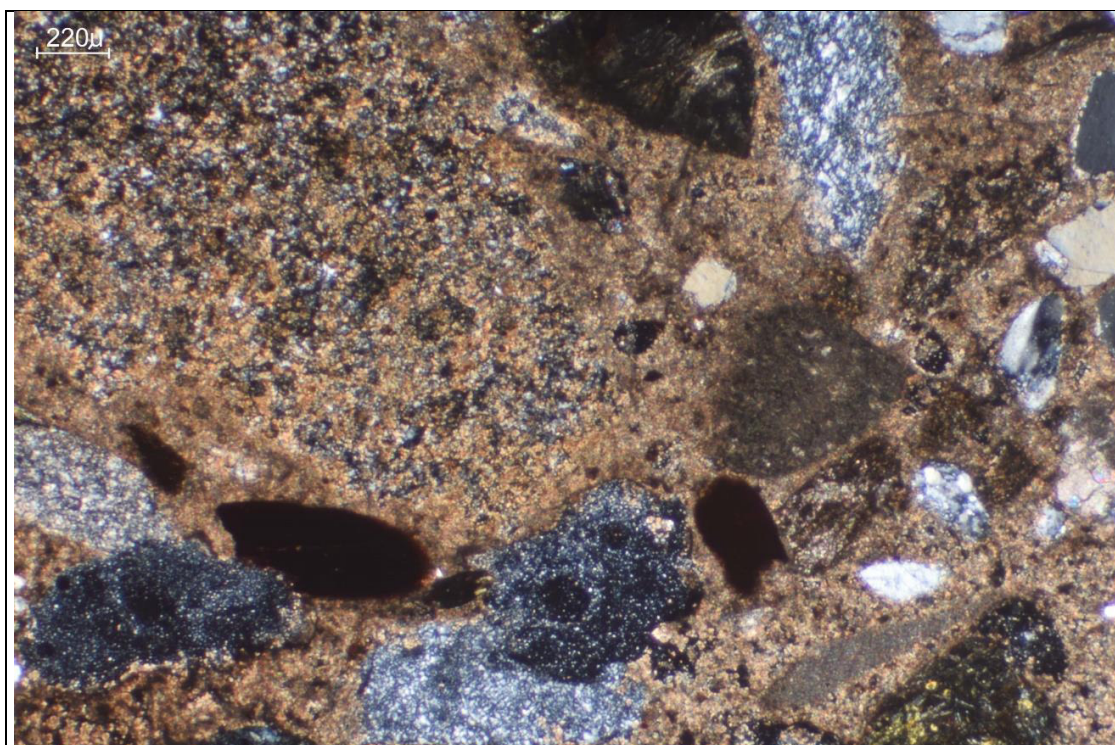


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

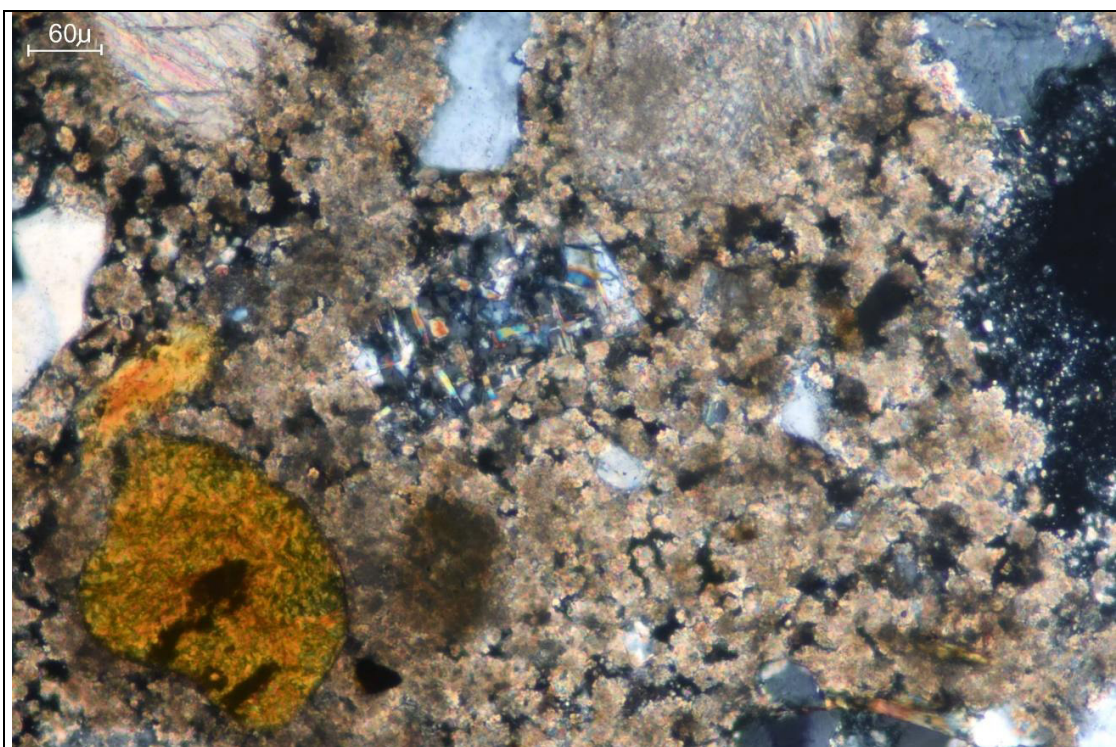
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento dove al centro si osserva un grumo grossolano costituito prevalentemente dalla frazione idraulica (silicoalluminati di calcio idrati e anidri)
- 2) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento dove in alto a sinistra è osservabile un grumo probabilmente riferibile a incotto
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare dove nel legante si osserva la matrice carbonatica microspartita che ingloba plaghe scure (isotrope) di silicoalluminati di calcio idrati della frazione idraulica
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare del legante in corrispondenza della porzione bianca dell'impasto dove la matrice carbonatica presenta tessitura micritica (dimensioni inferiori dei cristalli di calcite) e omogenea (meno inclusioni di ossidi di ferro) più tipica delle calce aeree



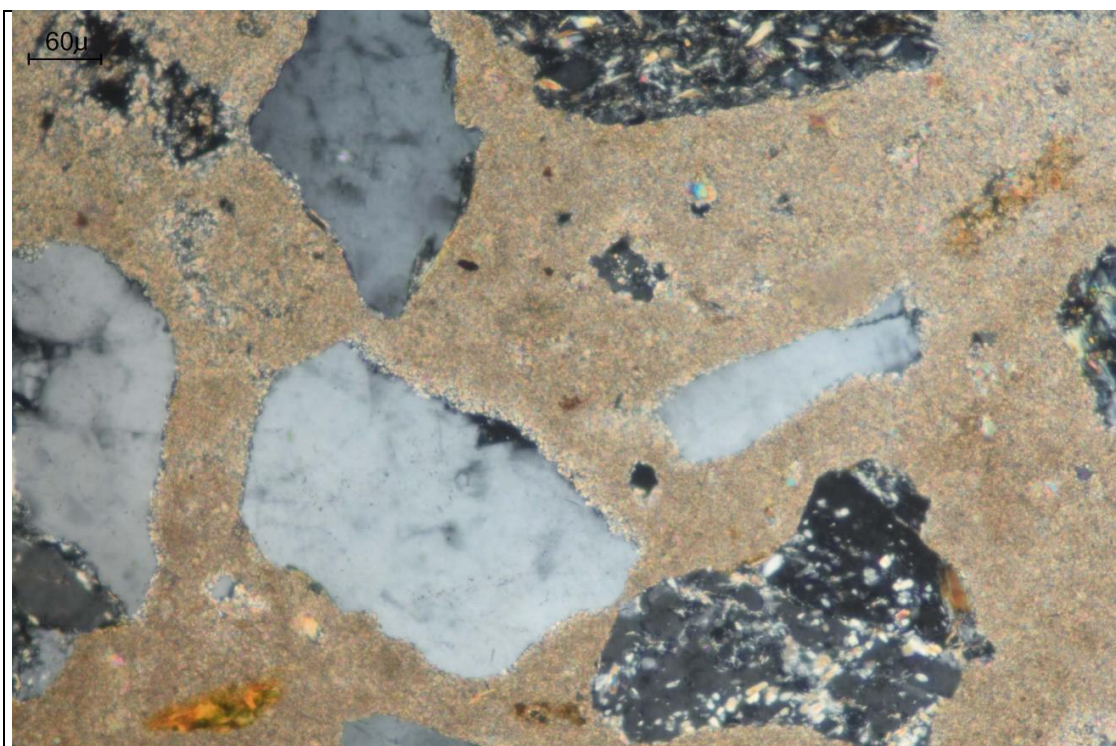
microfoto 1 – prelievo n°4



microfoto 2 – prelievo n°4



microfoto 3 – prelievo n°4



microfoto 4 – prelievo n°4

Prelievo n°5

Malta nucleo interno. Pila interna lato Via Parini in prossimità dell'attraversamento di Via Goldoni

Nella macrofoto si osserva un impasto a granulometria variabile dell'aggregato sabbioso che in questo caso mostra una distribuzione bimodale (arenaria fine e ghiaia fine).

All'analisi petrografica il legante risulta di calce idraulica naturale (stimabile da debolmente idraulica a mediamente idraulica). La matrice del legante è costituita da calce carbonatata a tessitura microspartita con presenza di grumi nei quali è chiaramente osservabile la frazione idraulica. Presenza di incotti dalla cui composizione è ipotizzabile l'origine della calce da calcari silicei.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), arenarie, siltiti, calcari sedimentari (micriti, biomicriti), feldspati, vulcaniti, calcite, argilliti, selci/radiolariti, argilloscisti, ofioliti.

La granulometria, come già accennato presenta una distribuzione bimodale; presenza di una porzione più fine a granulometria relativamente omogenea (netta prevalenza della frazione compresa tra 0,2 e 0,5 mm di diametro), e presenza di una frazione più grossolana dell'ordine di alcuni mm di diametro.

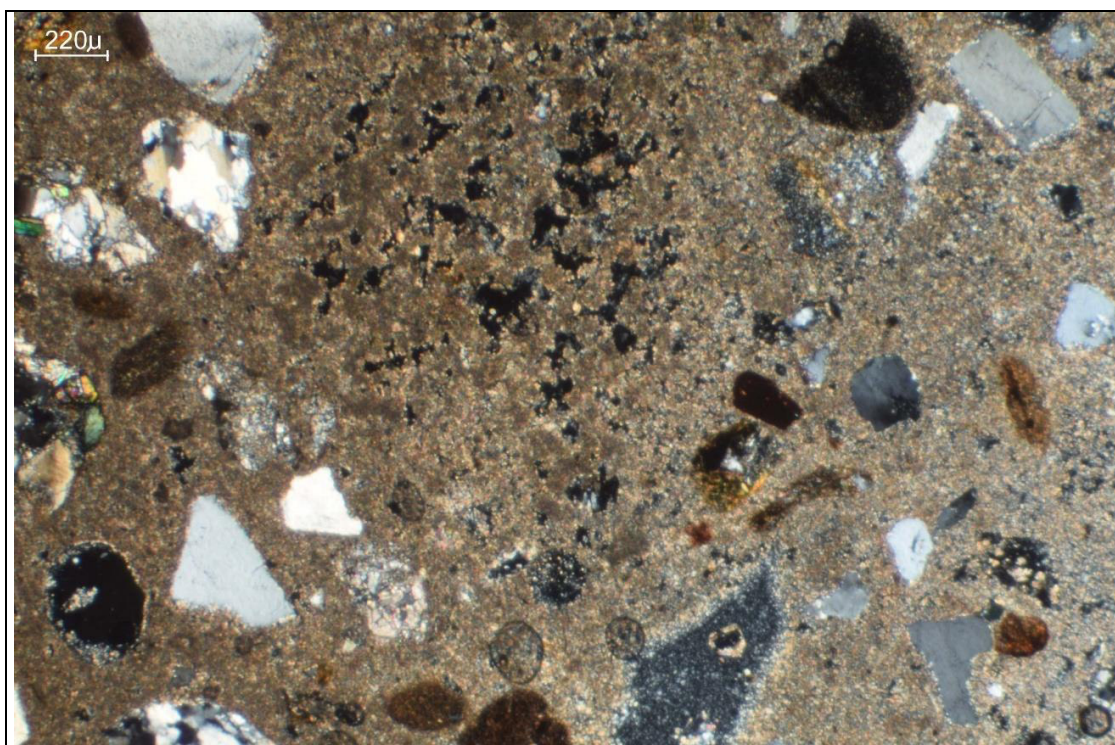
Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2-2.5.

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

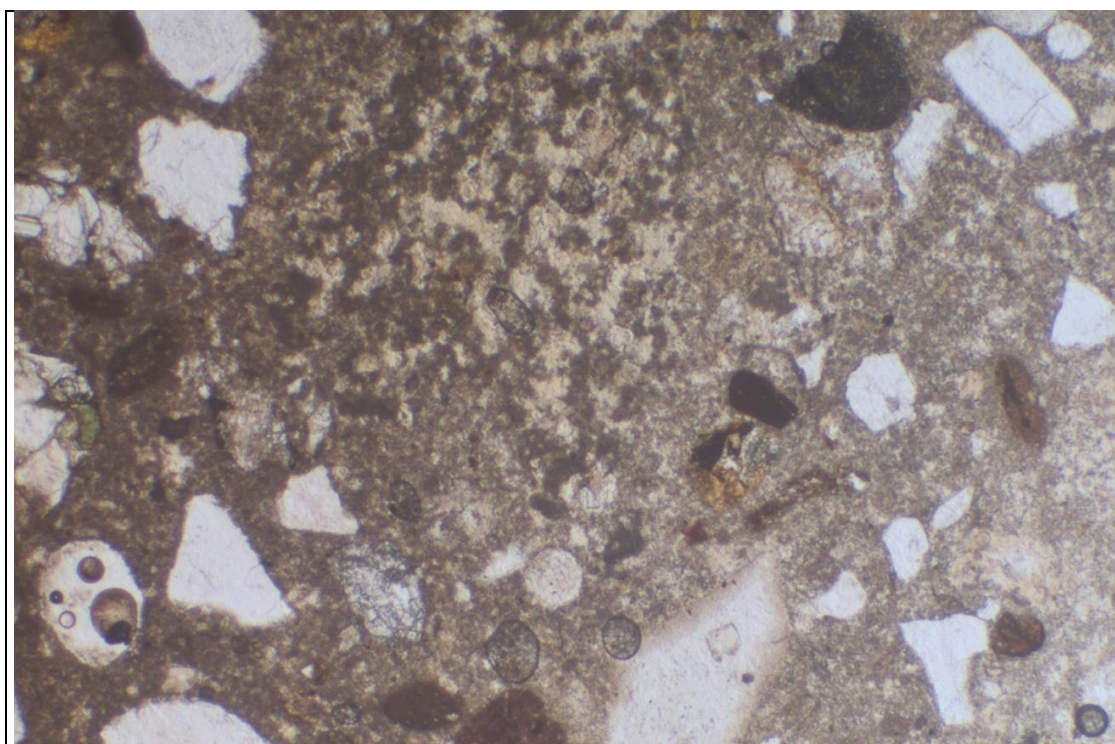


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

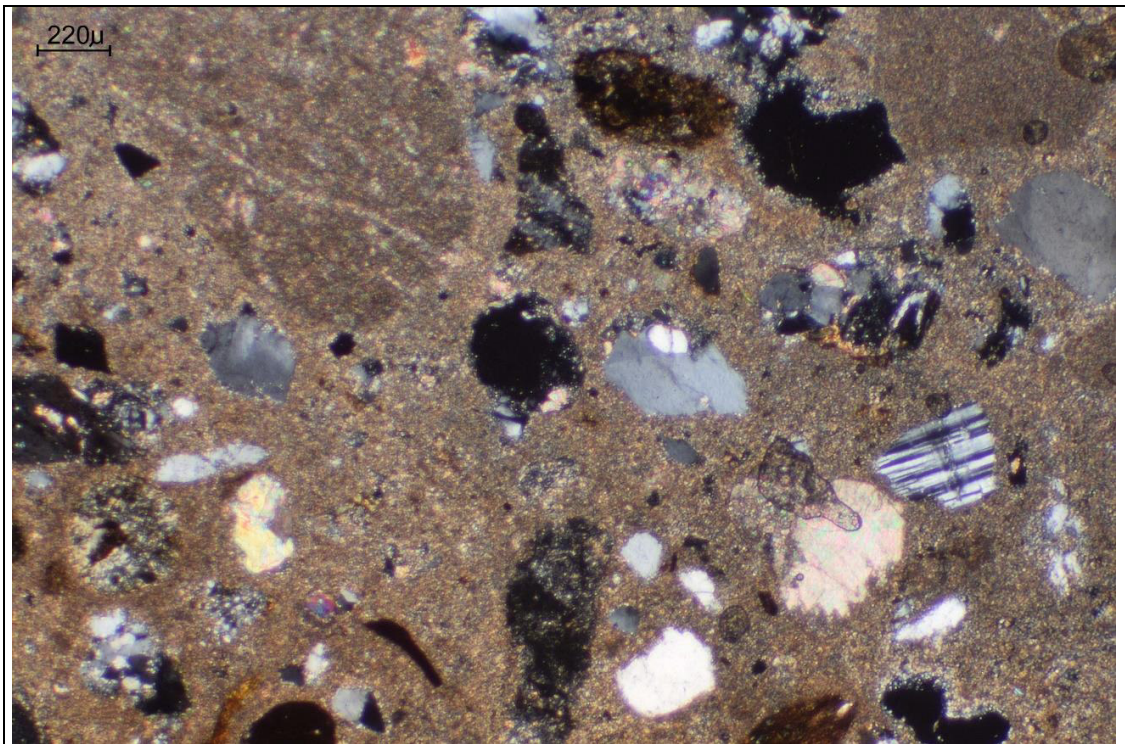
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento in alto si osserva un grumo di calce con plaghe scure (amorfe) riferibili alla frazione idraulica
- 2) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente; nel grumo le plaghe della frazione idraulica presentano colore giallo chiaro
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento dove la malta presenta aspetto più omogeneo
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare di un grumo probabilmente riferibile a un incotto in cui i minuti granuli birifrangenti sul grigio dovrebbero corrispondere a residui della porzione silicatica della pietra calcarea silicea originaria; le plaghe birifrangenti sono di calce carbonatata



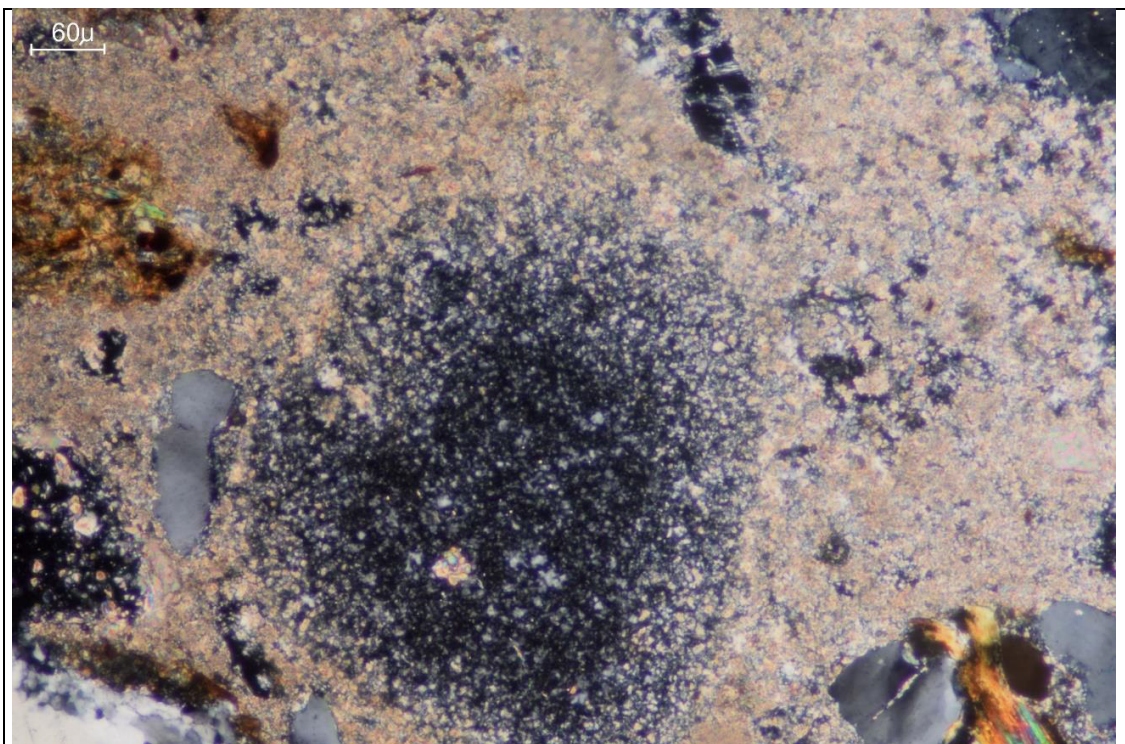
microfoto 1 – prelievo n°5



microfoto 2 – prelievo n°5



microfoto 3 – prelievo n°5



microfoto 4 – prelievo n°5

Prelievo n°6*Malta di allettamento. Pila interna attraversamento Via Carlini*

All'analisi la malta risulta di calce idraulica naturale che presenta caratteristiche disomogenee, presentando plaghe in cui la calce è stimabile in mediamente idraulica (la tessitura è di tipo microspartico), mescolate a plaghe in cui la calce sembra presentare un grado di idraulicità più basso (tessitura tendenzialmente micritica); è quindi ipotizzabile, come per il prelievo n°4, l'utilizzo di più tipi di calce nello stesso impasto.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), arenarie, siltiti, calcari sedimentari (calcareniti, micriti, biomicriti), feldspati, calcite, argilliti, selci/radiolariti, vulcaniti, argilloscisti.

La granulometria è tendenzialmente fine e omogenea a parte pochi frammenti di dimensioni millimetriche (il grosso frammento giallo in basso nella microfoto è un residuo del concio della muratura). Si rileva una netta prevalenza della frazione compresa tra 0,2 e 0,5 mm di diametro.

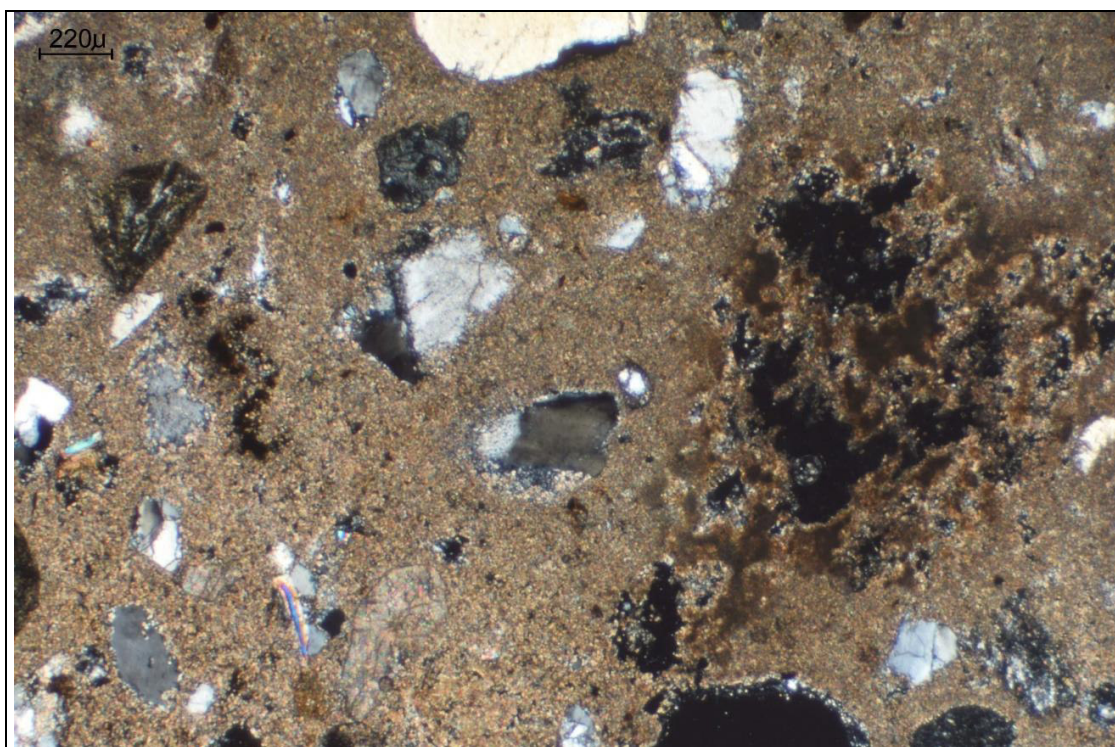
Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2-2.5.

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

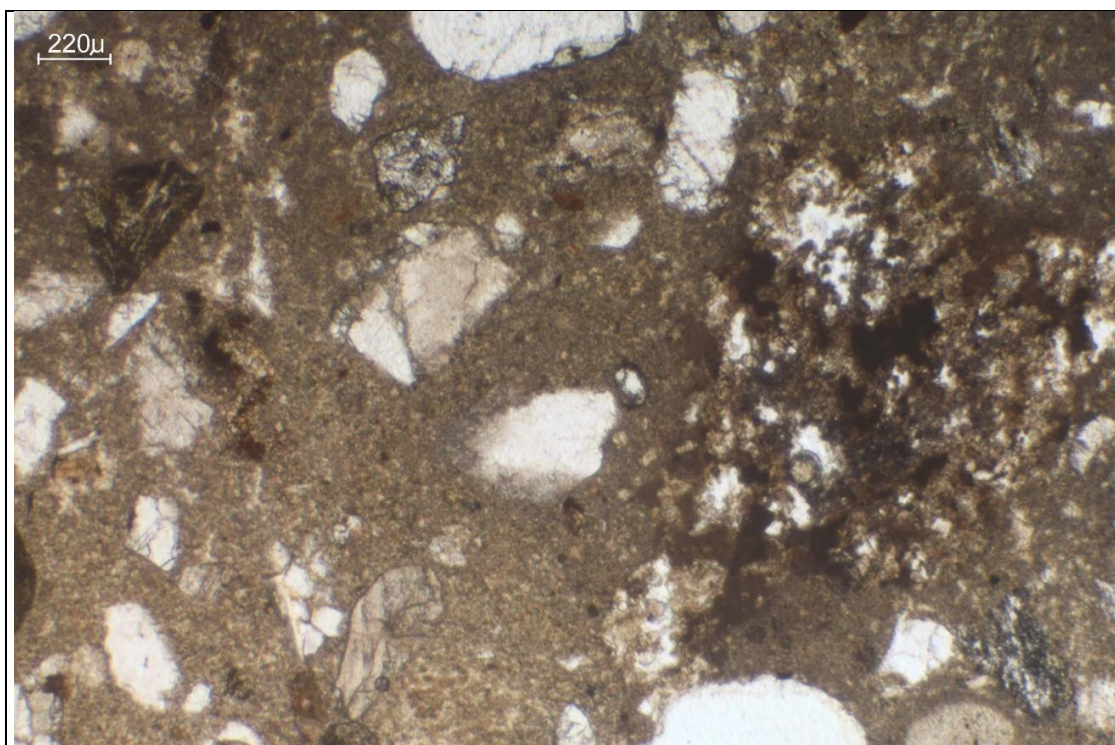


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

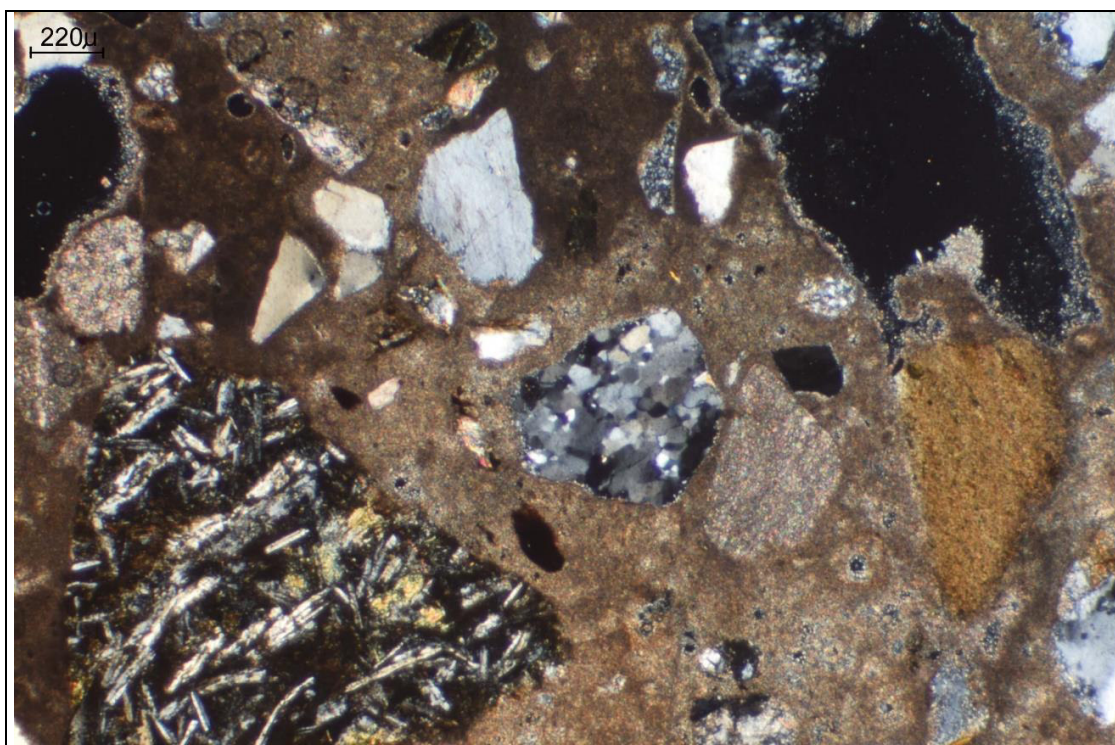
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento dove a destra si osserva un grumo costituito prevalentemente da silicoalluminati di calcio idrati (plaghe isotrope) e anidri
- 2) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente; nel grumo le plaghe della frazione idraulica con i composti idrati, presenta colore chiaro
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento dove la matrice del legante presenta aspetto disomogeneo dove le plaghe più scure presentano caratteristiche idrauliche meno spiccate
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare della matrice del legante dove si osserva la calcite microspartita con plaghe amorfe della frazione idraulica



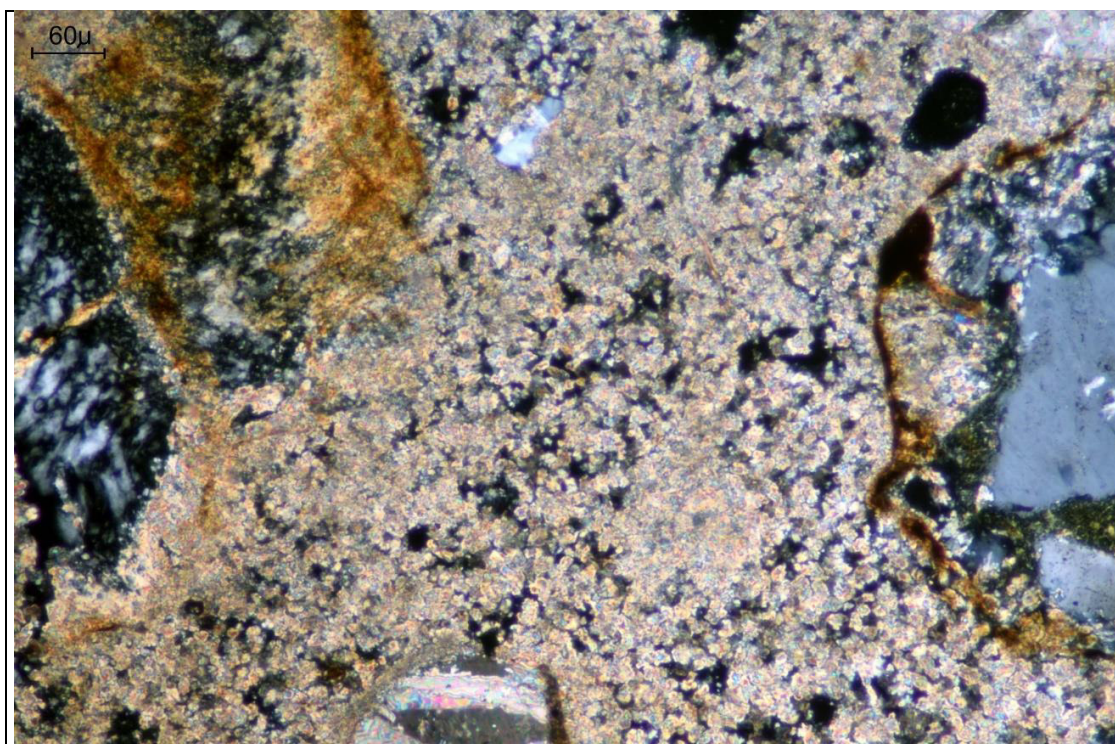
microfoto 1 – prelievo n°6



microfoto 2 – prelievo n°6



microfoto 3 – prelievo n°6



microfoto 4 – prelievo n°6

Prelievo n°7

Malta di allettamento. Pila esterna lato giardino Don Bosco

All'analisi la malta presenta composizione e aspetto molto simile a quella del prelievo precedente e quindi anche in questo caso si ipotizza l'utilizzo di due tipi di calce, una stimabile in mediamente idraulica e l'altra in debolmente idraulica.

L'aggregato è di tipo sabbioso e composto in ordine di abbondanza da quarzo in singoli granuli e in aggregati policristallini (quarziti), arenarie, selci/radiolariti, siltiti, calcari sedimentari (micriti, biomicriti), feldspati, calcite, argilliti, vulcaniti, argilloscisti, ofioliti.

La granulometria presenta una netta prevalenza della frazione compresa tra 0,2 e 0,5 mm di diametro, ma non è trascurabile una frazione più grossolana dell'ordine di alcuni mm,

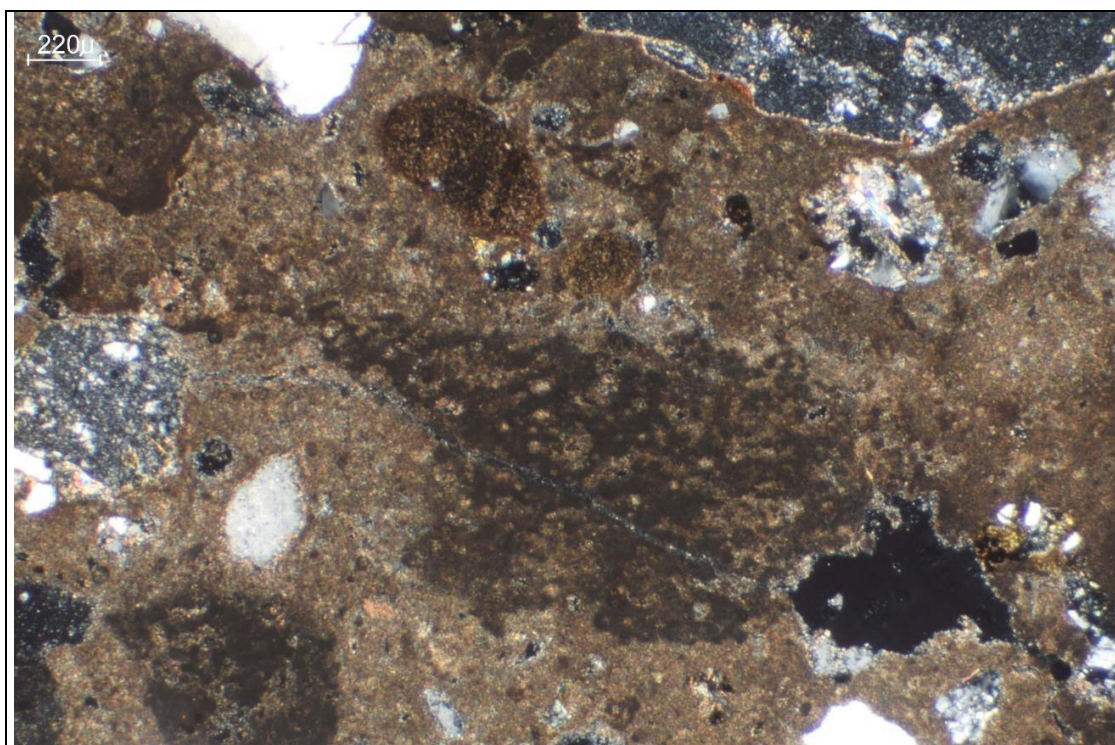
Il rapporto in volume legante/aggregato è di circa 1/2-2.5.

Vedi documentazione microfotografica allegata alle pagine seguenti.

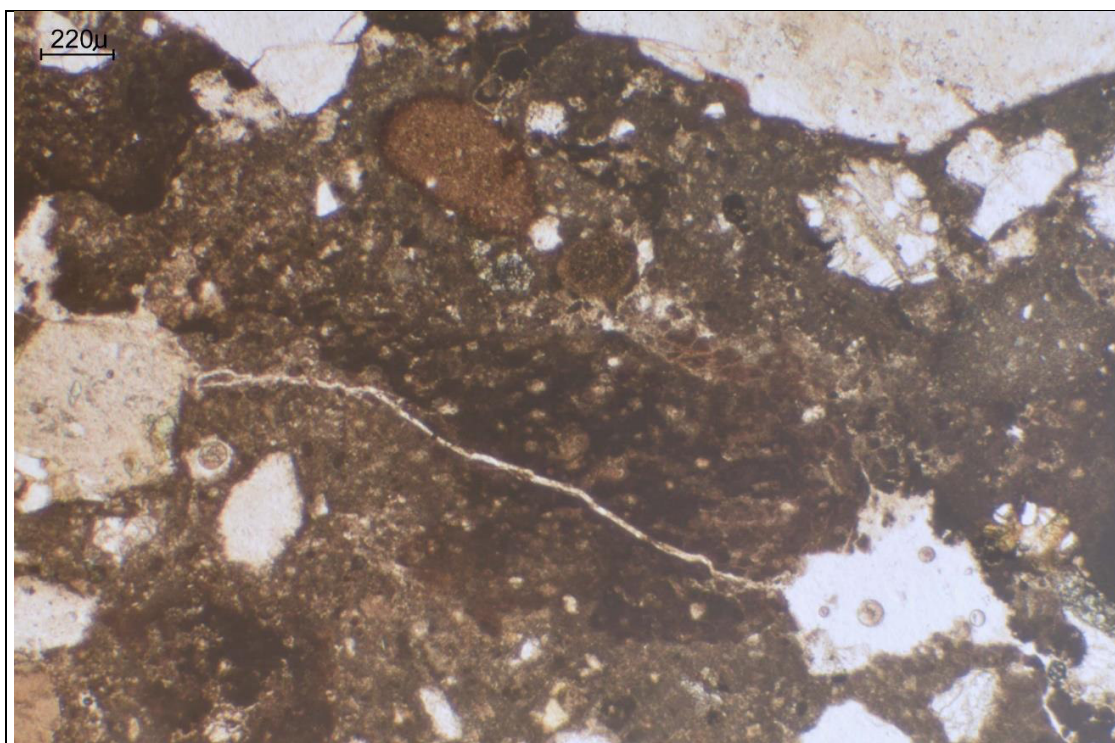


Didascalie documentazione microfotografica delle sezioni sottili (allegata di seguito):

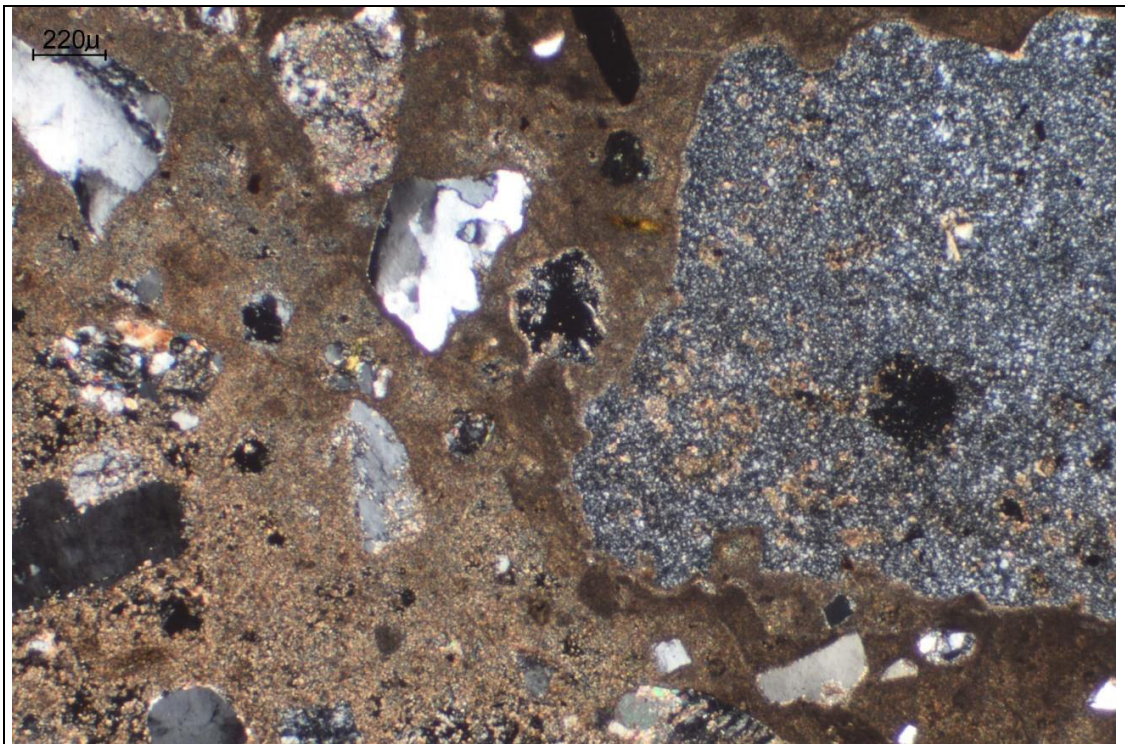
- 1) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): inquadratura a basso ingrandimento dove al centro si osserva un grumo costituito prevalentemente da silicoalluminati di calcio idrati e anidri
- 2) luce trasmessa e nicol paralleli della sezione sottile (40x): stessa inquadratura della foto precedente dove si osserva l'aspetto grumoso tipico delle calce idrauliche
- 3) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (40x): altra inquadratura a basso ingrandimento dove in alto la calce presenta aspetto differente (meno caratteristiche idrauliche) rispetto alla porzione inferiore
- 4) luce trasmessa e nicol incrociati della sezione sottile (150x): particolare della matrice del legante dove si osserva la calcite microsparitica con plaghe amorfe della frazione idraulica



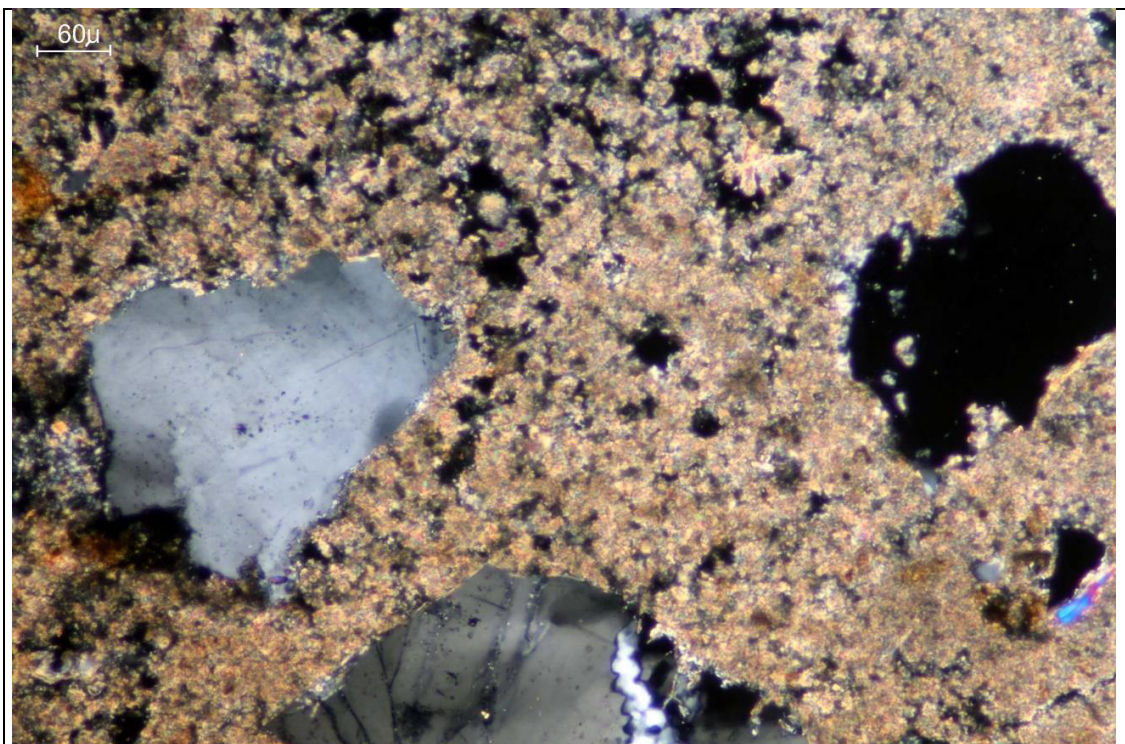
microfoto 1 – prelievo n°7



microfoto 2 – prelievo n°7



microfoto 3 – prelievo n°7



microfoto 4 – prelievo n°7

Osservazioni finali sui risultati della analisi

In base alle analisi le malte analizzate dovrebbero risultare, probabilmente, riferibili a un unico intervento costruttivo dal momento che, a parte alcune differenze da un prelievo all'altro, in generale presentano importanti caratteristiche comuni.

Tutti gli impasti sono caratterizzati da legante a calce idraulica il cui grado di idraulicità risulta variabile da un prelievo all'altro, ma anche nell'ambito dello stesso prelievo, per cui è ipotizzabile che in alcuni casi, per uno stesso impasto, siano stati mescolati più tipi di calce. Inoltre il grado di idraulicità risulta variabile anche in relazione della funzione della malta; in corrispondenza della fondazione l'idraulicità della malta è molto elevata (da propriamente a eminentemente idraulica), mentre il grado più basso è stato rilevato nell'intonaco di rivestimento. Nelle malte di allettamento si è stimato invece un grado di idraulicità intermedio.

Nella malta della fondazione, nonostante l'elevata idraulicità del legante, il colore della matrice è tendenzialmente bianca, mentre negli altri prelievi tende al giallo. Nel primo caso il colore bianco dovrebbe essere imputabile alla cottura di calcari a più elevata componente silicea (come rilevabile dagli incotti presenti nell'impasto), mentre negli altri impasti, probabilmente sono stati utilizzati calcari a più elevata componente marnosa (non si esclude una miscelanza con calcari silicei) che, essendo più ricca di ossidi di ferro, ha conferito agli impasti un colore più caldo.

Anche l'aggregato sabbioso presenta composizione analoga in tutti i prelievi, a parte alcune differenze nell'ordine di abbondanza dei singoli componenti.