

FONDAZIONE AQUILEIA

Direzione e Uffici: Via Giulia Augusta 2/a

Sede Legale: Via Patriarca Popone 7

Email: protocollo@fondazioneaquileia.it

fondazione@pec.fondazioneaquileia.it

P.IVA 02696510300

C.F. 90017120305



OPERE DI COMPLETAMENTO DEL 'CANTIERE PILOTA' E DEL SISTEMA DI DRENAGGIO ESISTENTE ed OPERE DI RESTAURO

05-RD – INDAGINI DIAGNOSTICA SUL CANTIERE PILOTA

Ing. Dario Benedetti



START Apps S.r.l. unipersonale

Sede legale: via Sanson 49/51 - 25123 BRESCIA

Tel. +39 0305035214 - E-mail: info@startapps.eu

P.IVA e C.F. 03237050988

Iscrizione Rea c/o CCIAA di Brescia N° 516925

Indagini diagnostiche

Relazione Tecnica
INDAGINI DIAGNOSTICHE SUL CANTIERE PILOTA

**Foro Romano
AQUILEIA (UD)**

Alla cortese att.ne

Ufficio Tecnico
Fondazione Aquileia

Il Responsabile delle prove:

Ing. Dario P. Benedetti, PhD

Prot . A12_21

Brescia, il 23/09/2021

INDICE:

1. PRESENTAZIONE	3
2. INTRODUZIONE e RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3. RISULTATI DELLE ANALISI	5
3.1. Prove di assorbimento d’acqua a bassa pressione.....	5
3.1.1. Area A01 NON TRATTATA – mattoni con stilatura dei giunti	5
3.1.2. Area A01 TRATTATA CON PROTETTIVO – mattoni con stilatura dei giunti	7
3.1.3. CONFRONTO fra A01 NON TRATTATA e A01 TRATTATA CON IDROREPELENTE.....	9
3.1.4. Area A02 NON TRATTATA – mattoni	10
3.1.5. Area A02 TRATTATA CON PROTETTIVO – mattoni	12
3.1.6. CONFRONTO fra A02 NON TRATTATA e A02 TRATTATA CON IDROREPELENTE.....	14
3.1.7. Area A03 NON TRATTATA – Lastre Rosso Verona	15
3.1.8. Area A03 TRATTATA CON PROTETTIVO – Lastre Rosso Verona	17
3.1.9. CONFRONTO fra A03 NON TRATTATA e A03 TRATTATA CON IDROREPELENTE.....	19
3.1.10. Area A04 NON TRATTATA – Lastre Aurisina	20
3.1.11. Area A04 TRATTATA CON PROTETTIVO – Lastre Aurisina	22
3.1.12. CONFRONTO fra A04 NON TRATTATA e A04 TRATTATA CON IDROREPELENTE.....	24
3.2. Analisi preliminare dei biodeteriogeni presenti sulle superfici mediante microscopia ottica.....	25
3.3. Video-ispezioni dei canali di scarico delle acque piovane.....	30
3.3.1. Pozzetto n°1.....	31
3.3.1. Canale n°2.....	35
3.4. Prove meccaniche per determinare la resistenza a compressione su campioni di materiali prelevati dalle colonne (integrazioni in laterizio)	39
3.4.1. Certificato di prova originale – Laboratorio P.Pisa dell’Università degli Studi di Brescia	40
3.5. Analisi endoscopica e pacometrica per determinare il sistema tecnologico ed i materiali utilizzati per la ricostruzione delle colonne	41
4. INSTALLAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE PER IL COLONNATO.....	43
4.1. Procedura di misura	48
5. CONCLUSIONI	50

1. PRESENTAZIONE

START APPS srlu fornisce servizi e consulenze sulla diagnostica dei beni culturali ad aziende e professionisti operanti nel campo della Conservazione e del Restauro.

Il gruppo di lavoro di **START APPS** ha maturato negli anni un ampio ventaglio di competenze nella ricerca scientifica sui materiali dell'arte e sui relativi fenomeni di degrado, con numerose pubblicazioni e presentazioni a convegni nazionali ed internazionali, collaborando per la didattica in ambito universitario e per corsi di specializzazione post-laurea, oltre ad una solida esperienza derivata dall'attività di progettazione e gestione delle indagini diagnostiche in importanti cantieri di restauro in Italia e all'estero.

START APPS utilizza le più avanzate tecniche analitiche non distruttive o microinvasive per la caratterizzazione dei materiali e si avvale inoltre della collaborazione con centri specializzati per le analisi di laboratorio sui Beni Culturali; particolare attenzione viene dedicata all'esecuzione delle prove contemplate dalla normativa italiana ed europea, partecipando attivamente ai lavori dell'organo tecnico UNI-Beni Culturali, del CEN-TC 346 e a quelle sui materiali lapidei definite dalle Raccomandazioni NORMAL.

START APPS gestisce ed attua in modo globale l'intervento, dalle fasi preliminari di pianificazione della diagnostica all'esecuzione di campionamenti e prove in laboratorio o in sito, fino ad arrivare all'analisi e interpretazione critica dei dati, collaborando in modo multidisciplinare con le figure professionali coinvolte quali il progettista, il restauratore, lo storico dell'arte, il collezionista o il curatore di un museo.

Il team di lavoro è in grado di eseguire autonomamente tutte le operazioni necessarie ad ottenere un risultato finale significativo e concreto per il supporto del progetto di restauro, ottimizzando la gestione delle operazioni e minimizzando di conseguenza i tempi e i costi della campagna diagnostica.

L'obiettivo di **START APPS**, quindi, è di rappresentare un supporto specialistico di qualità per gli operatori del settore per la conoscenza, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio culturale.

2. INTRODUZIONE e RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi diagnostiche oggetto della presente relazione sono state condotte dallo scrivente nei mesi di giugno e luglio 2021 sulla porzione del colonnato interessata dal cantiere pilota di restauro. Tutte le analisi sono state concordate con la Soprintendenza competente per territorio durante le riunioni di coordinamento svolte alla presenza dei funzionari e dei tecnici e progettisti incaricati.

Le analisi eseguite sono le seguenti:

- **Prove di assorbimento d'acqua a bassa pressione (secondo normativa - UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta) sui diversi materiali lapidei naturali ed artificiali per determinare l'efficacia dei trattamenti protettivi e idrorepellenti previsti dal progetto**
- **Analisi preliminare dei biodeteriogeni mediante microscopia ottica portatile, al fine di determinare l'efficacia dei prodotti biocidi previsti dal progetto**
- **Videoispezione dei condotti di scarico delle acque piovane ed endoscopia delle cavità sotto le pavimentazioni originali per progettare gli interventi di manutenzione e ripristino del sistema di scolo delle acque**
- **Prove meccaniche di laboratorio per determinare la resistenza a compressione su campioni di materiali delle colonne (integrazioni in laterizio)**
- **Analisi pacometrica ed endoscopica delle colonne per verificare l'eventuale presenza di perni o armature metalliche nella muratura di supporto**
- **Installazione di sistema di monitoraggio del colonnato per consentire l'attuazione del piano di conservazione programmata che prevede la verifica periodica annuale degli eventuali cedimenti delle colonne.**

Le indagini sono state condotte secondo le normative specifiche per i Beni Culturali (UNI-BC e Raccomandazioni NorMaL) ove presenti; per gli altri casi si sono utilizzate le buone prassi di laboratorio e gli standard definiti dalle organizzazioni internazionali del settore.

Di seguito si riportano le schede di analisi relative ad ognuna delle voci citate.

3. RISULTATI DELLE ANALISI

3.1. Prove di assorbimento d'acqua a bassa pressione

3.1.1. Area A01 NON TRATTATA – mattoni con stilatura dei giunti



AREA: A01

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI

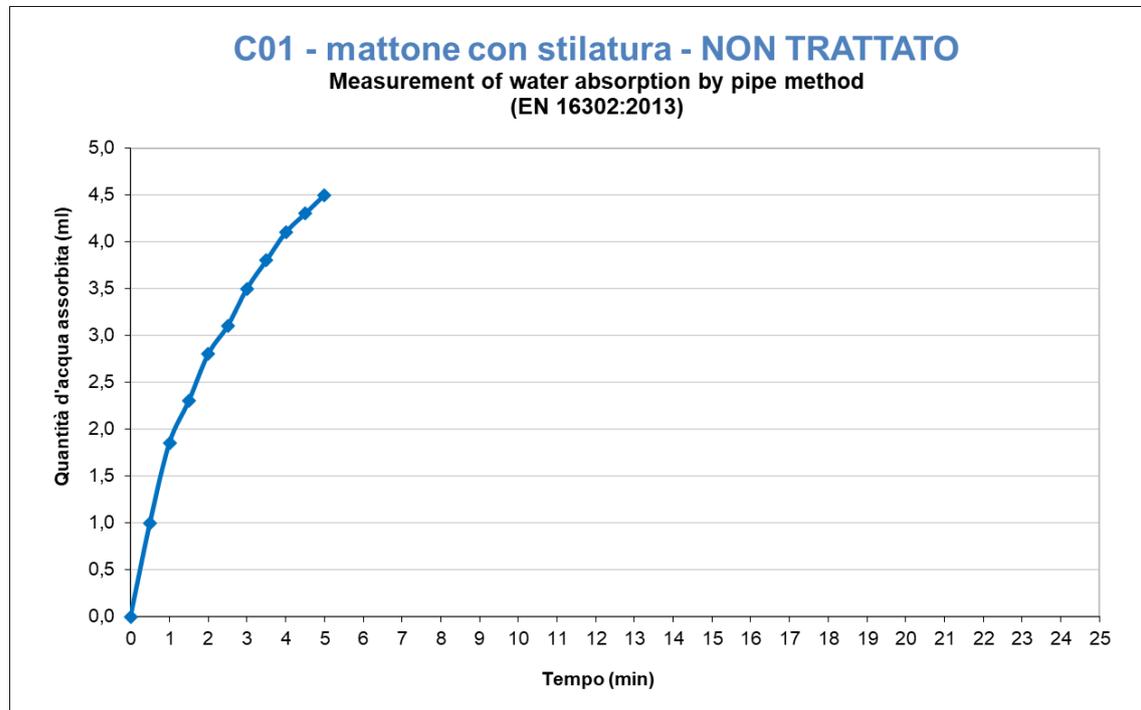


FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI





AREA: A01 NON TRATTATA– Mattoni con stilatura dei giunti
OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua
TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302

**SPECIFICHE DELL'ANALISI:**

- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Verticale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.2. Area A01 TRATTATA CON PROTETTIVO – mattoni con stilatura dei giunti



AREA: A01

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI

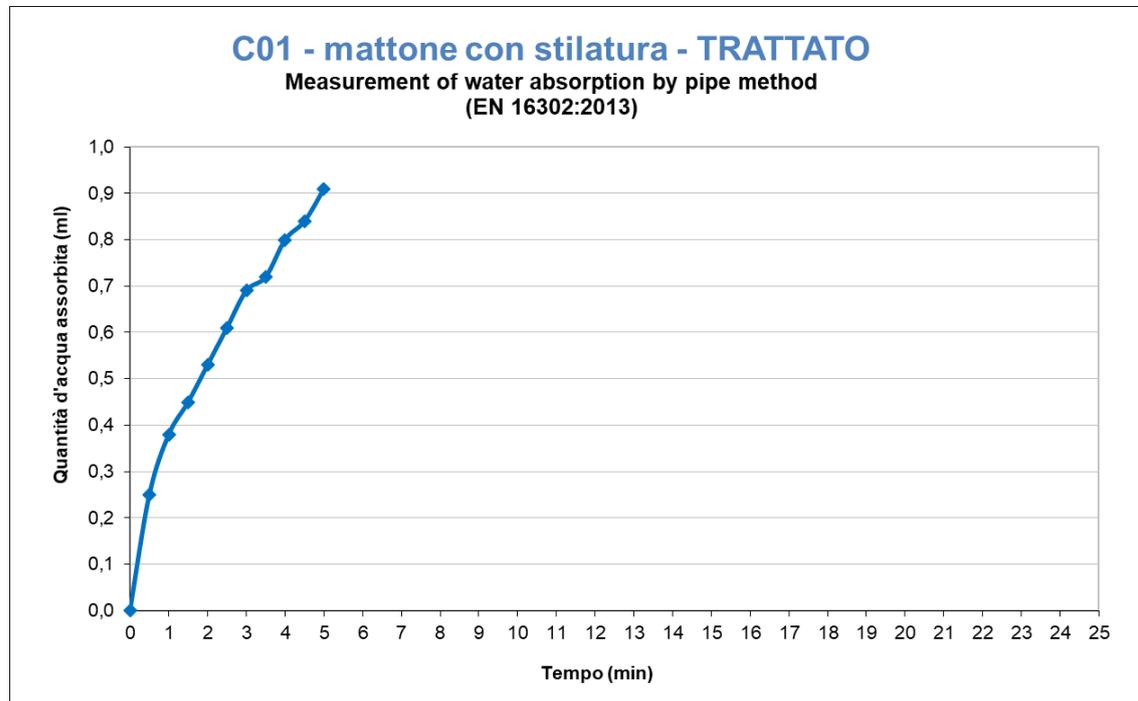


FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI





AREA: A01 TRATTATA– Mattoni con stilatura dei giunti
OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua
TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302

**SPECIFICHE DELL'ANALISI:**

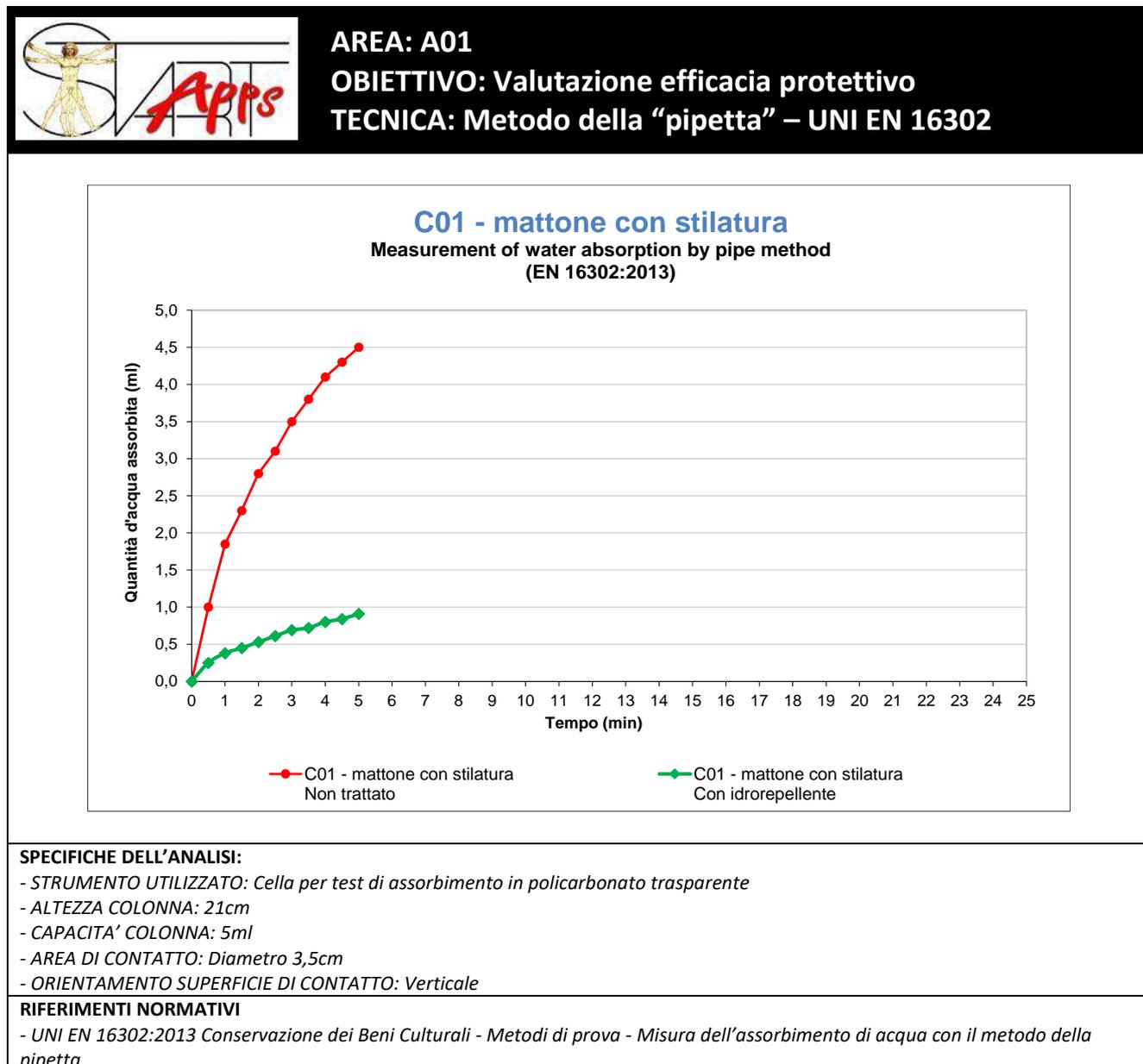
- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Verticale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.3. CONFRONTO fra A01 NON TRATTATA e A01 TRATTATA CON IDROREPELENTE

Di seguito si riporta il grafico comparativo tra le curve di assorbimento PRIMA e DOPO il trattamento protettivo.



3.1.4. Area A02 NON TRATTATA – mattoni



AREA: A02

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI



FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI

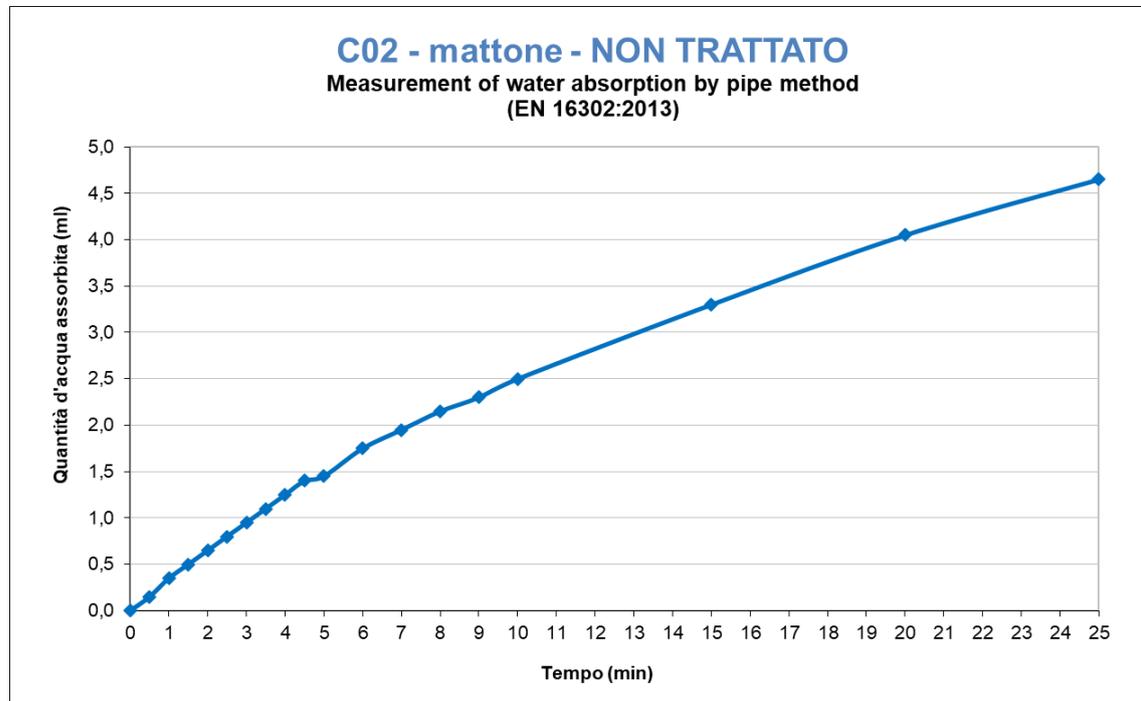




AREA: A02 NON TRATTATA– Mattoni

OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua

TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.5. Area A02 TRATTATA CON PROTETTIVO – mattoni



AREA: A02

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI



FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI

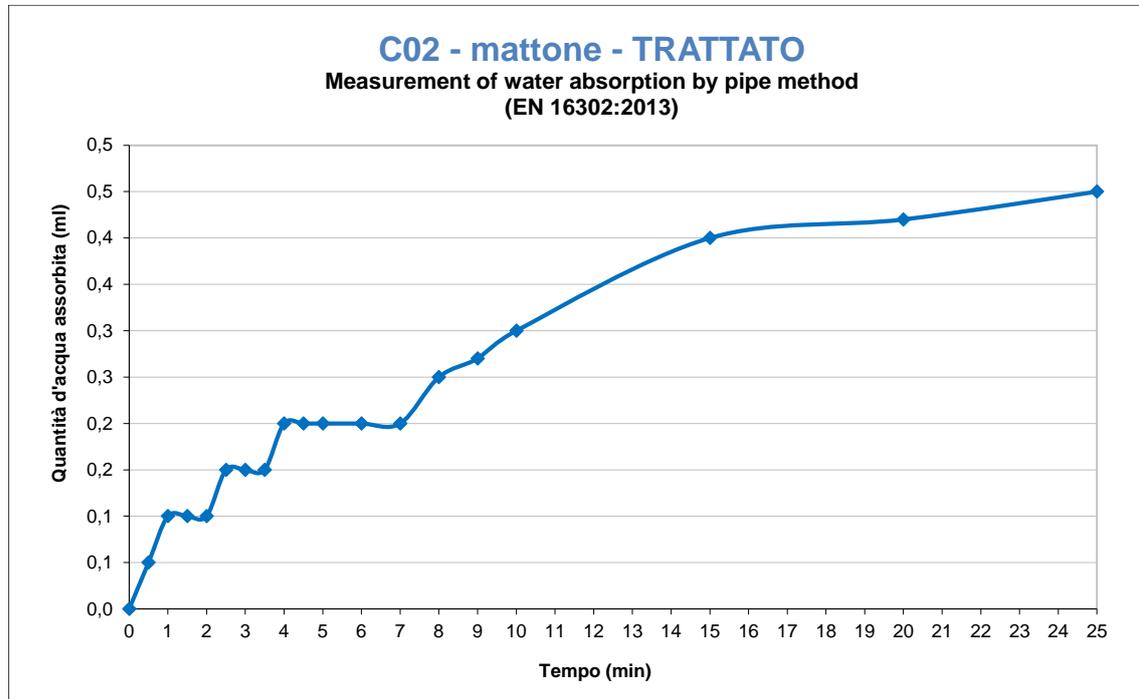




AREA: A02 TRATTATA– Mattoni

OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua

TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

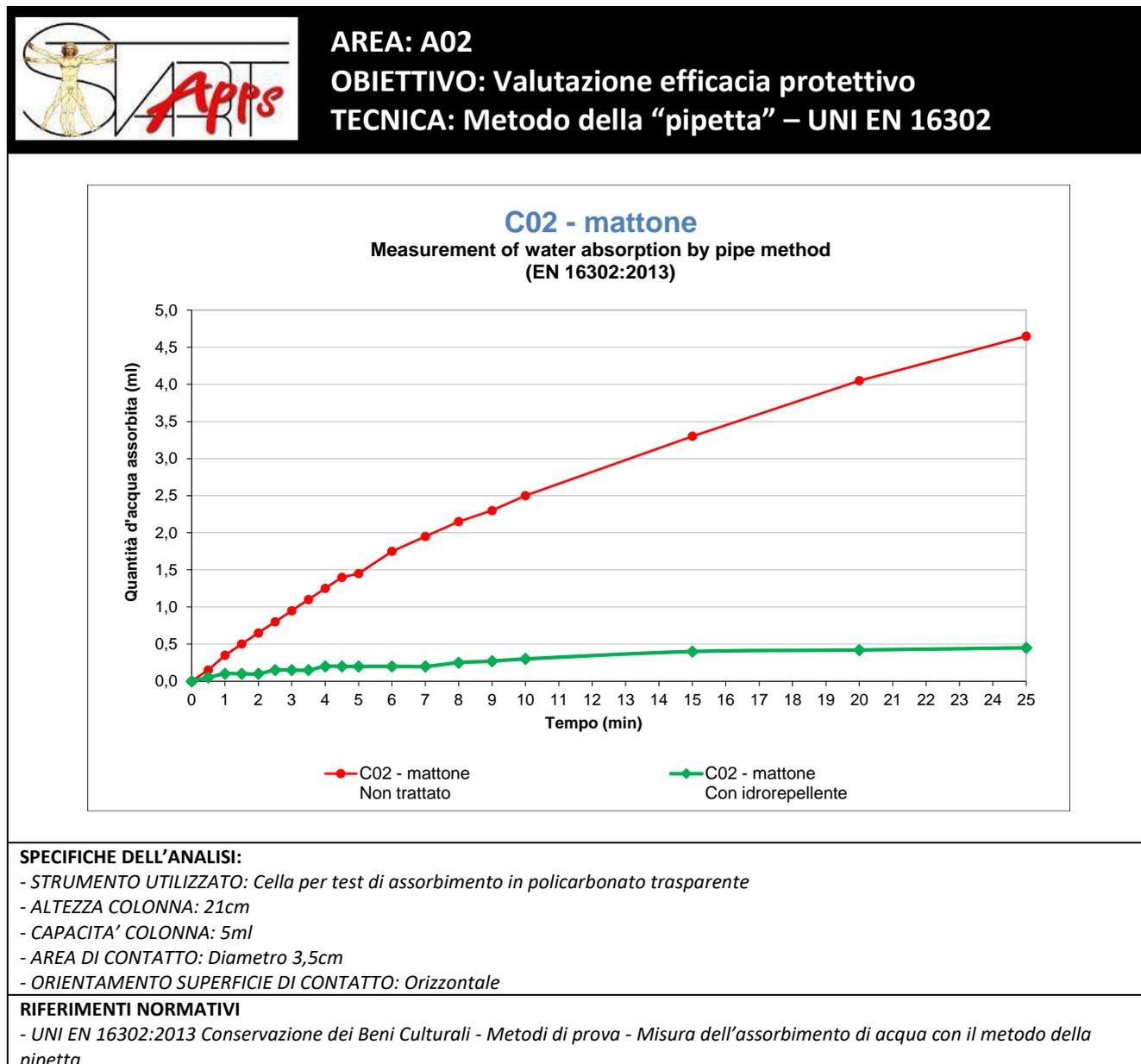
- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.6. CONFRONTO fra A02 NON TRATTATA e A02 TRATTATA CON IDROREPELENTE

Di seguito si riporta il grafico comparativo tra le curve di assorbimento PRIMA e DOPO il trattamento protettivo.



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.7. Area A03 NON TRATTATA – Lastre Rosso Verona



AREA: A03

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI

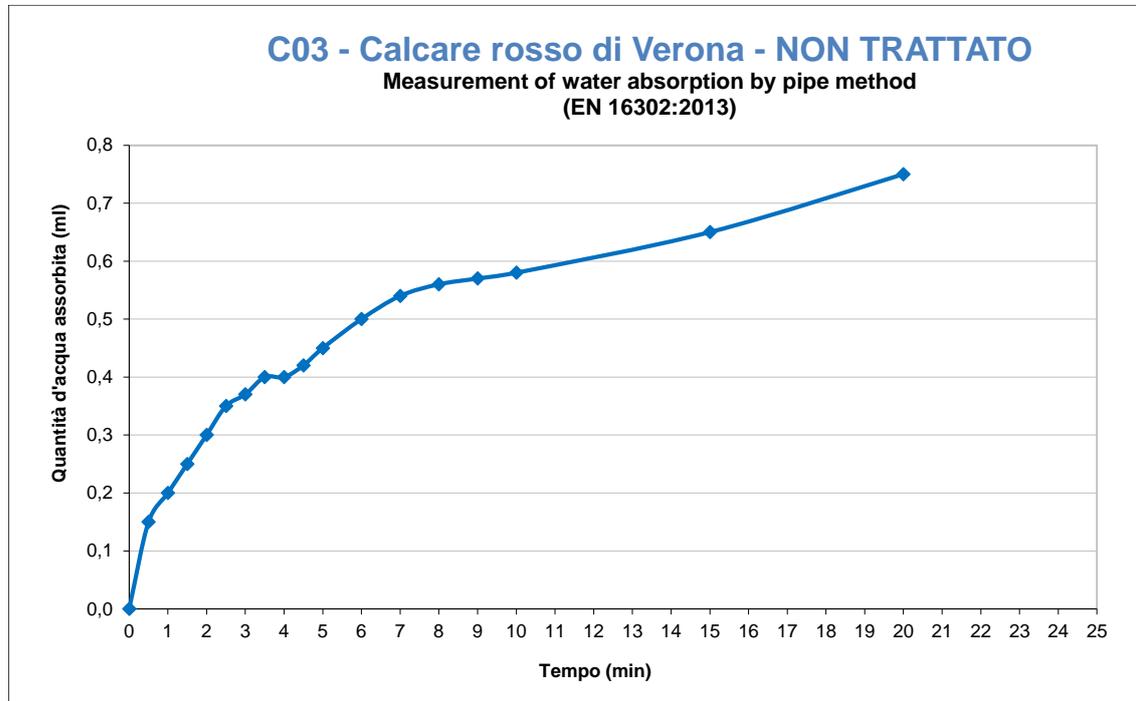


FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI





AREA: A03 NON TRATTATA - Lastre Rosso Verona
OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua
TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302

**SPECIFICHE DELL'ANALISI:**

- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.8. Area A03 TRATTATA CON PROTETTIVO – Lastre Rosso Verona



AREA: A03

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI



FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI





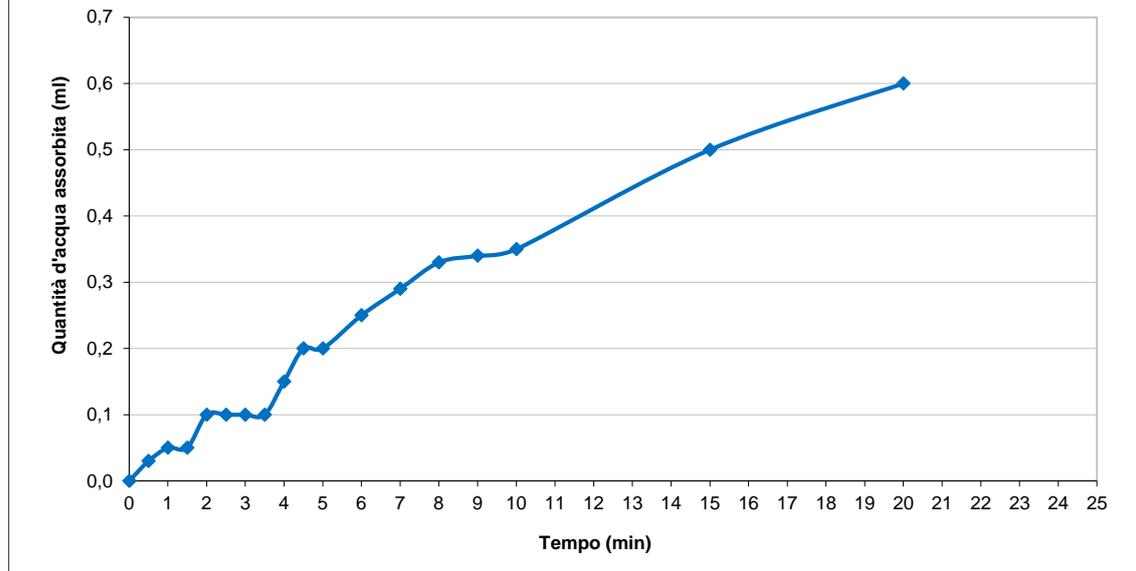
AREA: A03 TRATTATA– Lastre Rosso Verona

OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua

TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302

C03 - Calcare rosso di Verona - TRATTATO

Measurement of water absorption by pipe method
(EN 16302:2013)



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

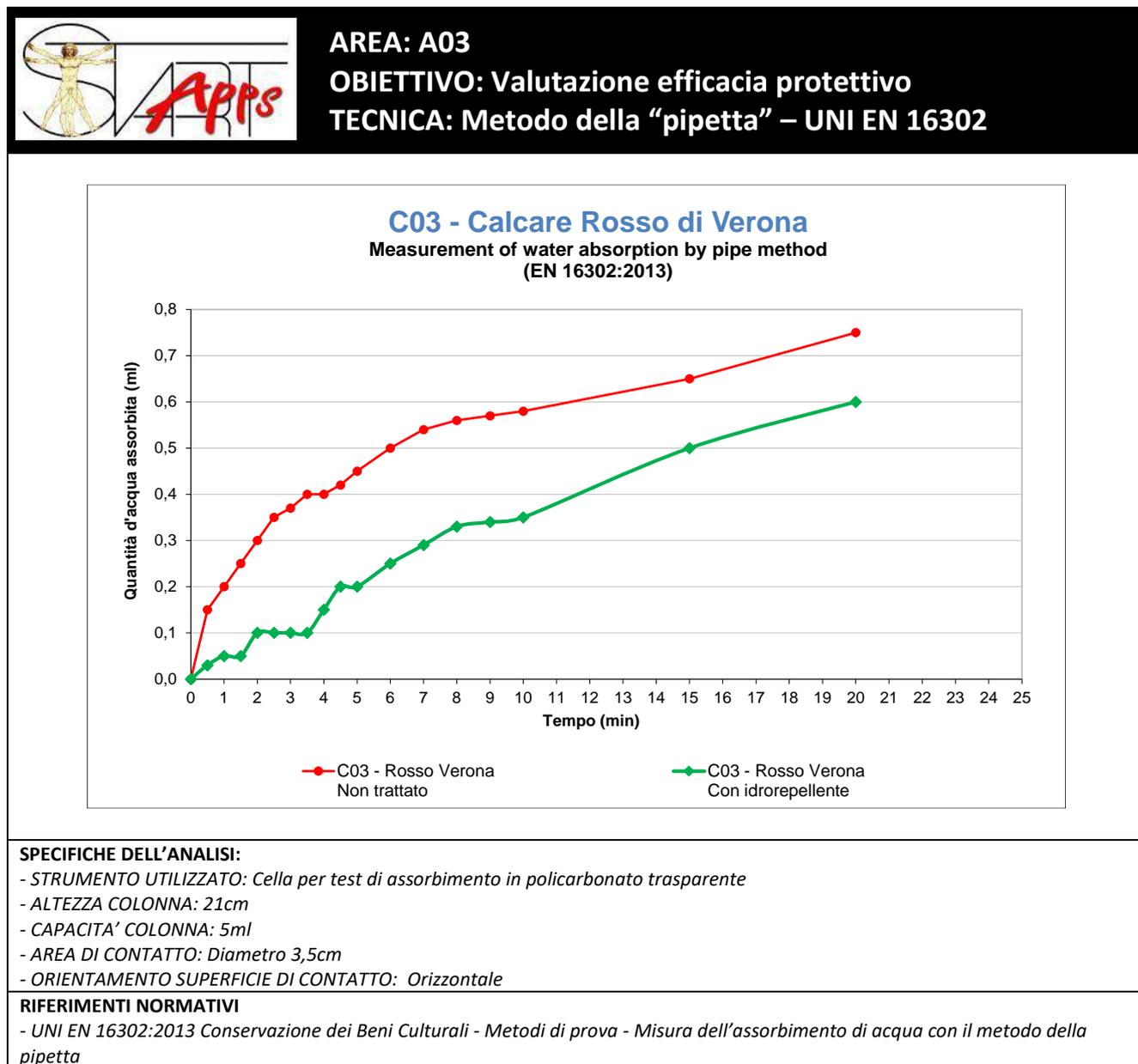
- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.9. CONFRONTO fra A03 NON TRATTATA e A03 TRATTATA CON IDROREPELENTE

Di seguito si riporta il grafico comparativo tra le curve di assorbimento PRIMA e DOPO il trattamento protettivo.



3.1.10. Area A04 NON TRATTATA – Lastre Aurisina

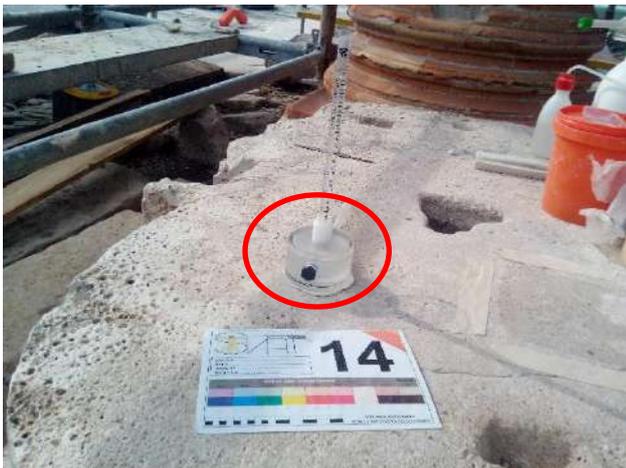


AREA: A04

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI



FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI

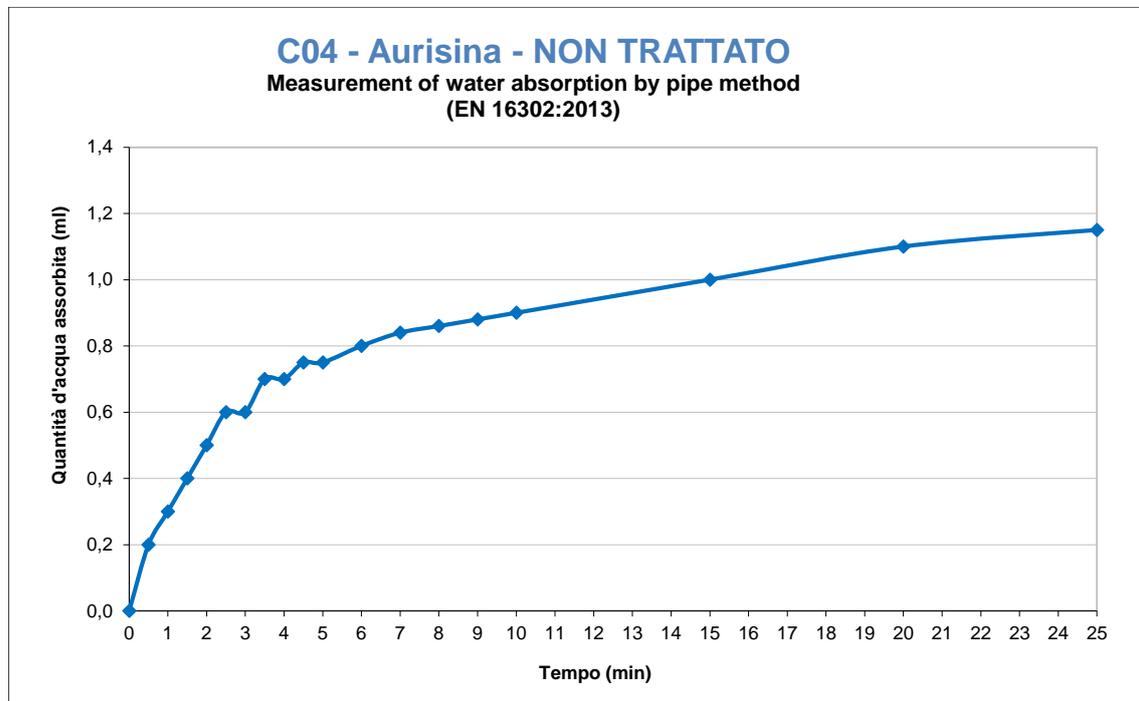




AREA: A04 NON TRATTATA– Lastre Aurisina

OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua

TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.11. Area A04 TRATTATA CON PROTETTIVO – Lastre Aurisina



AREA: A04

LOCALIZZAZIONE DELL'ANALISI



FOTOGRAFIA DEL PUNTO DI ANALISI

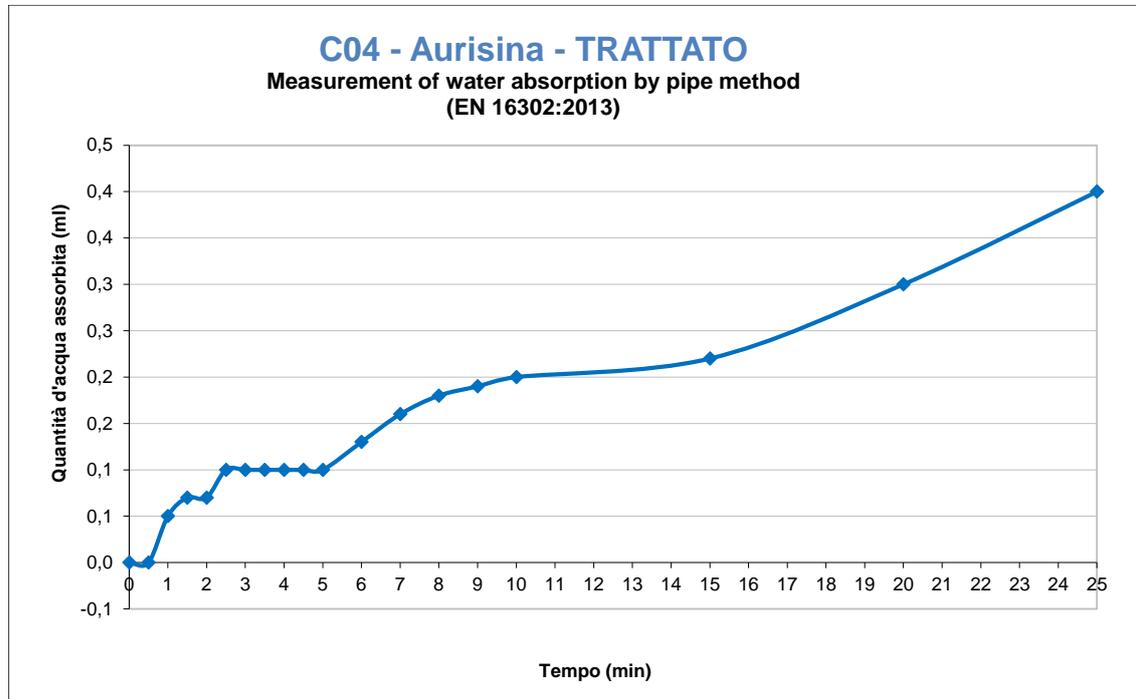




AREA: A04 TRATTATA– Lastre Aurisina

OBIETTIVO: Determinazione dell'assorbimento d'acqua

TECNICA: Metodo della "pipetta" – UNI EN 16302



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

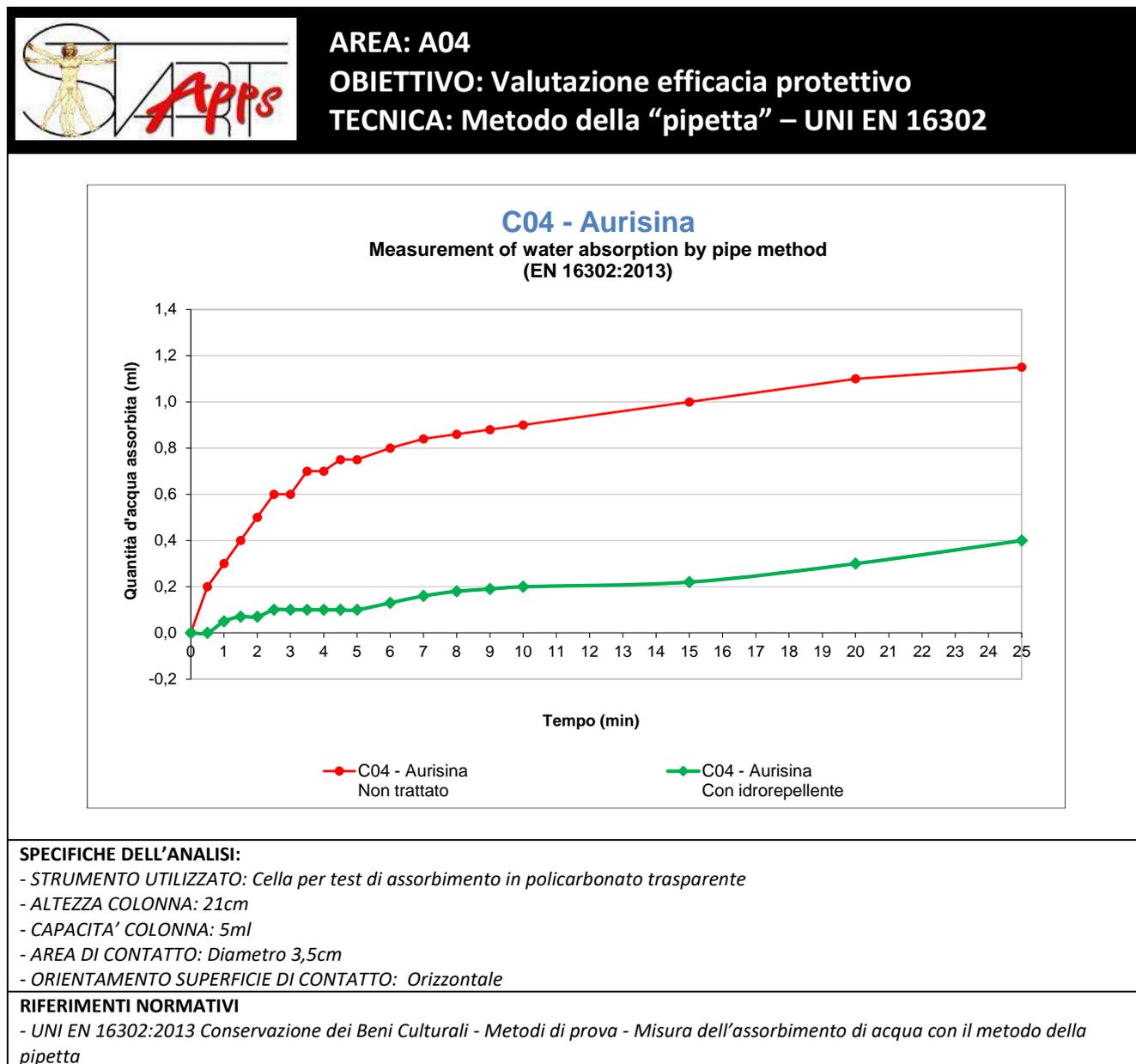
- *STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente*
- *ALTEZZA COLONNA: 21cm*
- *CAPACITA' COLONNA: 5ml*
- *AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm*
- *ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale*

RIFERIMENTI NORMATIVI

- *UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta*

3.1.12. CONFRONTO fra A04 NON TRATTATA e A04 TRATTATA CON IDROREPELENTE

Di seguito si riporta il grafico comparativo tra le curve di assorbimento PRIMA e DOPO il trattamento protettivo.



SPECIFICHE DELL'ANALISI:

- STRUMENTO UTILIZZATO: Cella per test di assorbimento in policarbonato trasparente
- ALTEZZA COLONNA: 21cm
- CAPACITA' COLONNA: 5ml
- AREA DI CONTATTO: Diametro 3,5cm
- ORIENTAMENTO SUPERFICIE DI CONTATTO: Orizzontale

RIFERIMENTI NORMATIVI

- UNI EN 16302:2013 Conservazione dei Beni Culturali - Metodi di prova - Misura dell'assorbimento di acqua con il metodo della pipetta

3.2. Analisi preliminare dei biodeteriogeni presenti sulle superfici mediante microscopia ottica

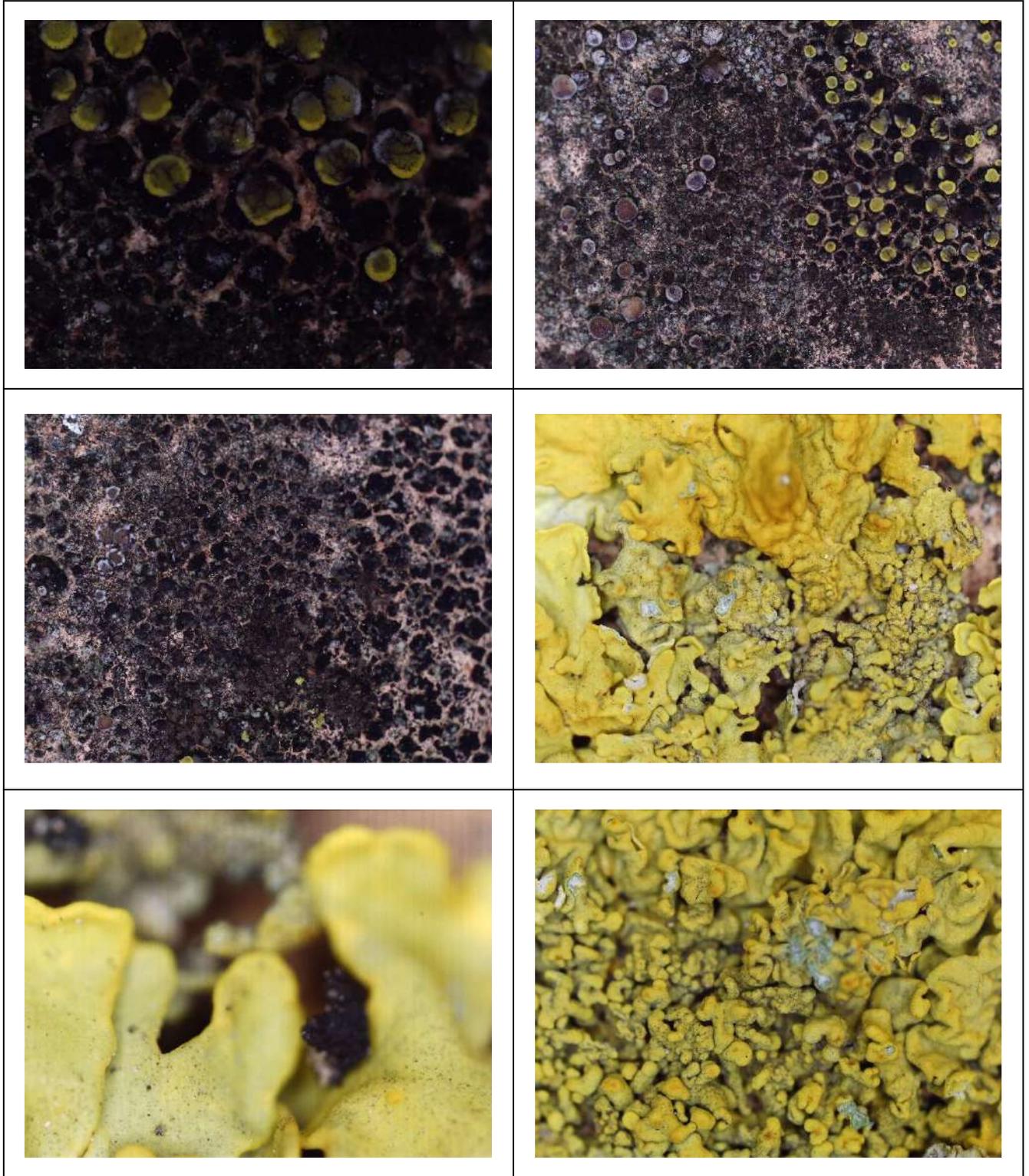
I materiali presenti sul sito presentano diverse situazioni di attacco da biodeteriogeni, come evidenziato dalle immagini seguenti:

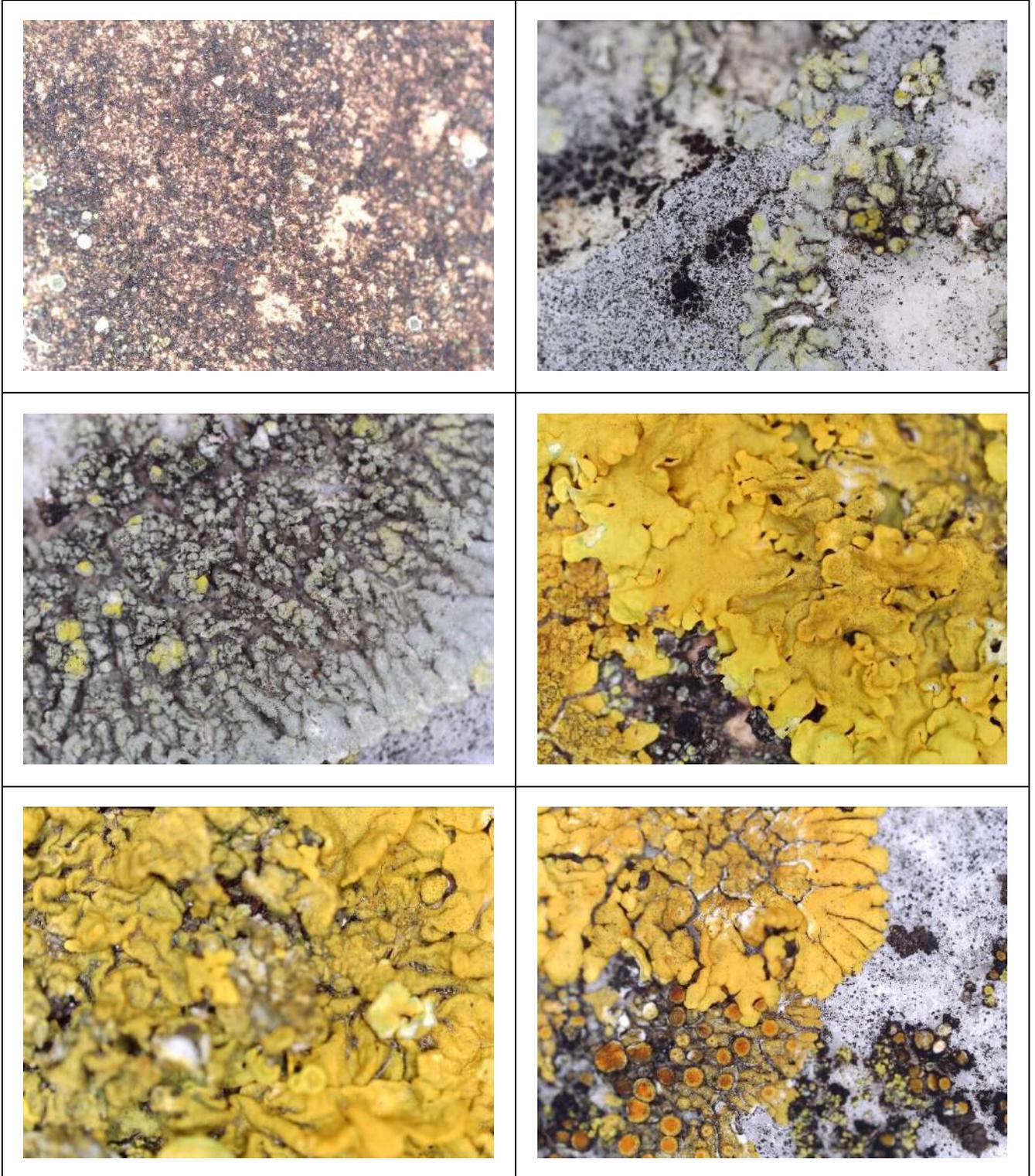






Le seguenti immagini, acquisite con microscopio ottico ad ingrandimento 40X, mostrano la presenza di diverse tipologie di muschi e licheni, localizzati prevalentemente sui paramenti murari in laterizio e sui giunti di malta della porzioni ricostruite delle colonne.





3.3. Video-ispezioni dei canali di scarico delle acque piovane

Le videoispezioni sono state eseguite su due specifici punti di collettamento delle acque piovane secondo le indicazioni dei progettisti incaricati. La localizzazione è riportata nella figura seguente.



Per l'ispezione si è utilizzata una videocamera stagna dotata di illuminazione a LED e cavo di spinta in fibra di vetro, con una lunghezza massima di 25m.

I video realizzati sono allegati alla presente e costituiscono parte integrante della relazione tecnica.

Di seguito si riportano le schede di analisi relative ad ogni condotto ispezionato, con immagini dei punti significativi ispezionati (giunti, raccordi, etc).

3.3.1. Pozzetto n°1

Il punto di ingresso del condotto esaminato si trova in corrispondenza del pozzetto collocato in sommità della pavimentazione del colonnato, sul lato NORD-EST (vedere figura nel paragrafo precedente).

L'analisi del condotto è stata eseguita mediante videocamera dal lato del pozzetto e mediante endoscopio nei giunti fra le lastre della pavimentazione.



Di seguito si riportano i fotogrammi significativi del filmato acquisito e lo schema grafico del percorso del condotto di scarico.



1 – pozzetto di raccolta acque (punto di ingresso della sonda)



2- Imbocco del condotto di scarico



3 – Condotto di scarico con foratura superiore



4 - Raccordo fra due sezioni della tubatura



5 – Condotto di scarico – sezione 2



6 – Condotto di scarico – sezione 3



7 – Condotto di scarico – sezione 4



8- Condotto di scarico – sezione 5



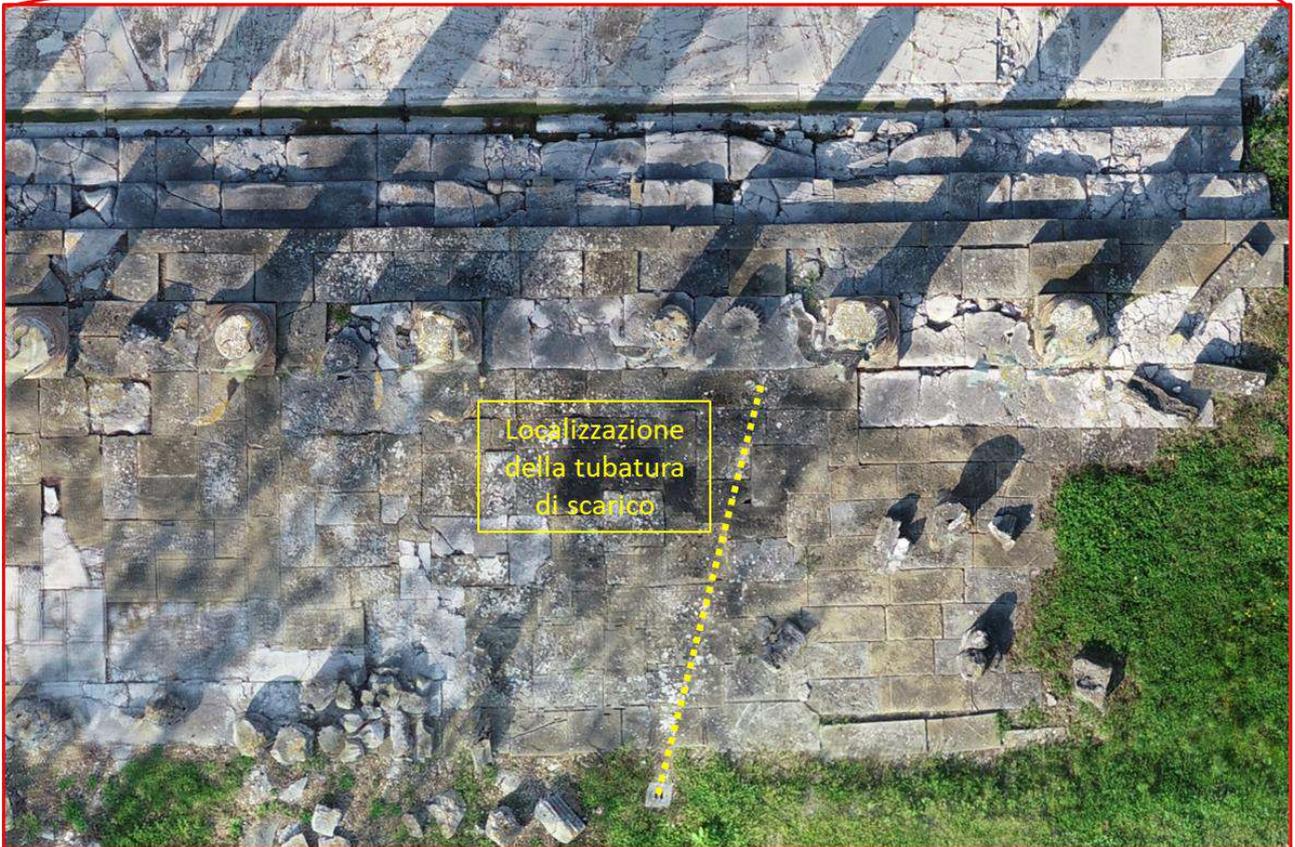
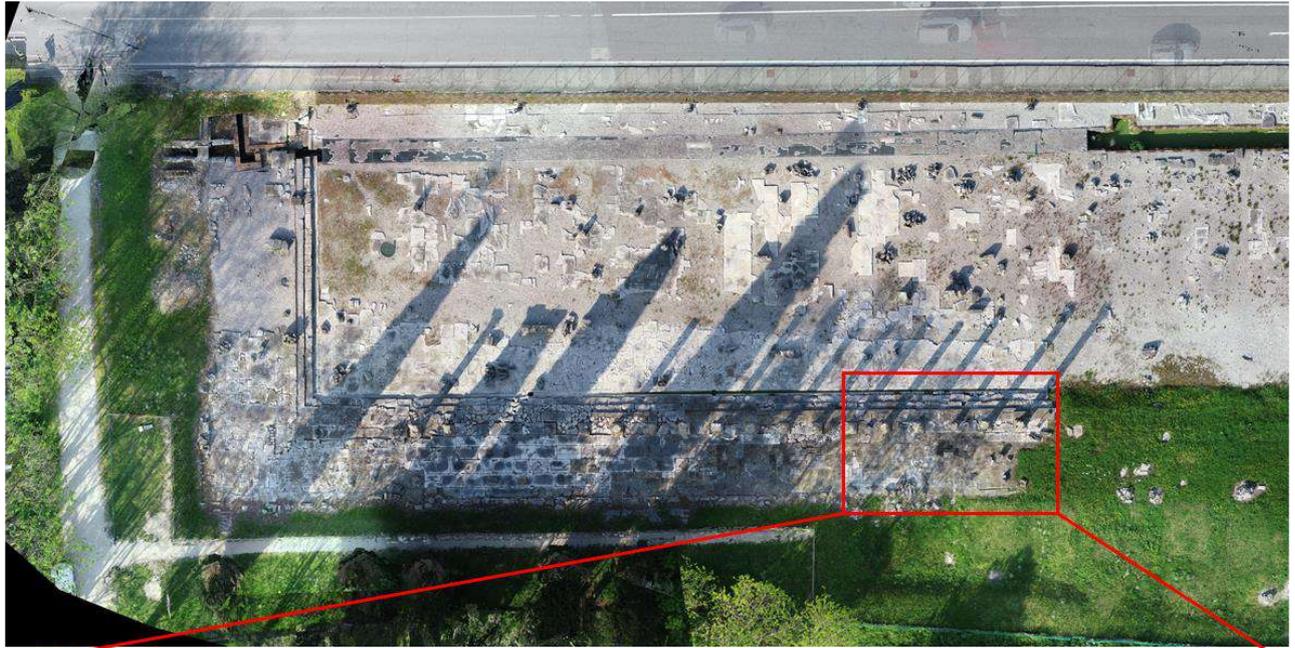
9 – Condotto di scarico – fine della tubatura



10 – Condotto di scarico – fine della tubatura



5 – pozzo perdente sotto il lastricato alla base delle colonne



3.3.1. Canale n°2

Il punto di ingresso del condotto esaminato si trova in corrispondenza del canale di raccolta delle acque alla base della scalinata del colonnato, sul lato SUD-EST (vedere figura nel paragrafo precedente).

L'analisi del condotto è stata eseguita mediante videocamera a tenuta stagna.



Di seguito si riportano i fotogrammi significativi del filmato acquisito e lo schema grafico del percorso del condotto di scarico.



1 – imbocco del canale di scarico



2- Imbocco del tubo in materiale cementizio



3 – Imbocco del tubo in materiale cementizio



4 – Tubatura in materiale cementizio



5 – raccordo con la seconda sezione di tubo cementizio



6 – fine del tubo cementizio



7 – inizio del canale con parete in calcestruzzo e copertura con lastre in pietra



8- canale con parete in calcestruzzo e copertura con lastre in pietra



9- dettaglio dell'uscita del canale



3.4. Prove meccaniche per determinare la resistenza a compressione su campioni di materiali prelevati dalle colonne (integrazioni in laterizio)

Le prove meccaniche sono state eseguite su campioni del paramento murario utilizzato per la ricostruzione delle porzioni mancanti delle colonne, utilizzando frammenti di laterizio distaccati e non ricollocabili in modo da minimizzare l'invasività dell'analisi.

I frammenti sono stati tagliati e rettificati in modo da ottenere provini prismatici di piccole dimensioni sui quali sono state eseguite prove di compressione monoassiale nella stessa direzione del carico verticale applicato sugli elementi in opera.

Le dimensioni dei tre provini ricavati sono le seguenti:

Provino	Dimensioni [mm]		
	lunghezza	lato	altezza
1	49	54	44
2	35	39	31
3	27	39	34

NOTA: per il provino numero 1 nel campione è stato mantenuto lo strato di malta di allettamento per valutare l'influenza di tale materiale sulla resistenza a compressione dello strato (si veda la documentazione fotografica riportata di seguito nel certificato di prova).

I campioni sono stati testati presso il laboratorio "Pietro Pisa" dell'Università di Brescia (nel paragrafo successivo si allega il certificato di prova originale relativo alle analisi eseguite).

3.4.1. Certificato di prova originale – Laboratorio P.Pisa dell'Università degli Studi di Brescia



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI BRESCIA
 DICATAM DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, ARCHITETTURA,
 TERRITORIO, AMBIENTE E DI MATEMATICA
LABORATORIO PROVE MATERIALI «PIETRO PISA»
 VIA BRANZE 36/38 - 25123 BRESCIA Tel. 030.3715617/594 - Fax 030.3715595
 e-mail: segreteria-laboratoriopisa@unibs.it Cod. Fiscale 98007650173 - P. IVA IT01773710171

Prove di compressione su laterizi

Con richiesta n° 30021 del 26/11/2021 l' Ing. Dario Benedetti ha incaricato questo Laboratorio di eseguire prove di compressione su tre campioni di laterizio. I campioni sono stati identificati dal Richiedente con il numero 1, 2 e 3.



I campioni sono stati sottoposti a rettifica sulle due facce opposte indicate dal Richiedente. Le prove sono state eseguite in data 07 Dicembre 2021 utilizzando la macchina di prova Controls 300 kN mod. 65-L1201/FR - Advantest 9 mod. 50-C9842 con certificato di taratura VT 01-69 del 14/10/2021 emesso da questo laboratorio. La Tabella riporta i risultati delle prove di compressione.

Provino	Dimensioni [mm]			Massa volumica [kg/m ³]	Resistenza a compressione [MPa]
	lunghezza	lato	altezza		
1	49	54	44	1632	17,2
2	35	39	31	1394	25,1
3	27	39	34	1425	30,5

La presente relazione consta di n° 1 pagina.

Brescia, 07/12/2021

Lo Sperimentatore
 Ing. Luca Cominoli

Il Responsabile Tecnico
 Ing. Egidio Marchina

(Documento informatico firmato digitalmente ai sensi dell'art. 24 D.Lgs. 82/2005 e s.m.i)

3.5. Analisi endoscopica e pacometrica per determinare il sistema tecnologico ed i materiali utilizzati per la ricostruzione delle colonne

Le indagini endoscopiche eseguite hanno consentito di determinare la stratigrafia della porzione ricostruita delle colonne. In particolare, si è osservato che il laterizio è un rivestimento di spessore 16cm posato su un nucleo centrale in calcestruzzo.



Le indagini pacometriche sono state eseguite mediante un pacometro PROCEQ Profoscope+ in grado di determinare la presenza di barre di armatura fino ad una profondità di circa 18cm dal piano di lavoro.

Si è indagata la superficie delle colonne 1 e 2 del cantiere pilota. Dalle analisi risulta la presenza di una armatura metallica collocata entro la profondità di 18cm dalla superficie esterna, ma data la particolare geometria della struttura e la natura dei materiali impiegati risulta impossibile determinare in maniera esatta la posizione ed il diametro dei ferri.

Per una analisi dettagliata della struttura si suggerisce, se possibile data la natura del Bene, di approfondire lo studio mediante una parziale rimozione del paramento in laterizio ed esecuzione di ulteriori prove distruttive.



4. INSTALLAZIONE DEL SISTEMA DI MONITORAGGIO PERMANENTE PER IL COLONNATO

Il sistema di monitoraggio permanente realizzato per il colonnato, progettato secondo le indicazioni della Soprintendenza competente, consentirà di eseguire misure periodiche per la verifica di eventuali cedimenti delle colonne utilizzando una stazione totale posizionata sulle basi fisse ed i micro-target di misura collocati sulle colonne stesse.

Il sistema è così composto:



Le stazioni fisse per il montaggio della stazione totale sono costituite da un pilastro in acciaio sul quale è montata una base per monumentazione composta da una piastra in bronzo rettificata $\varnothing 160$ con filetto 5/8" e coperchio di protezione.

NB: Si raccomanda di riposizionare sempre il coperchio di protezione dopo ogni utilizzo della base.

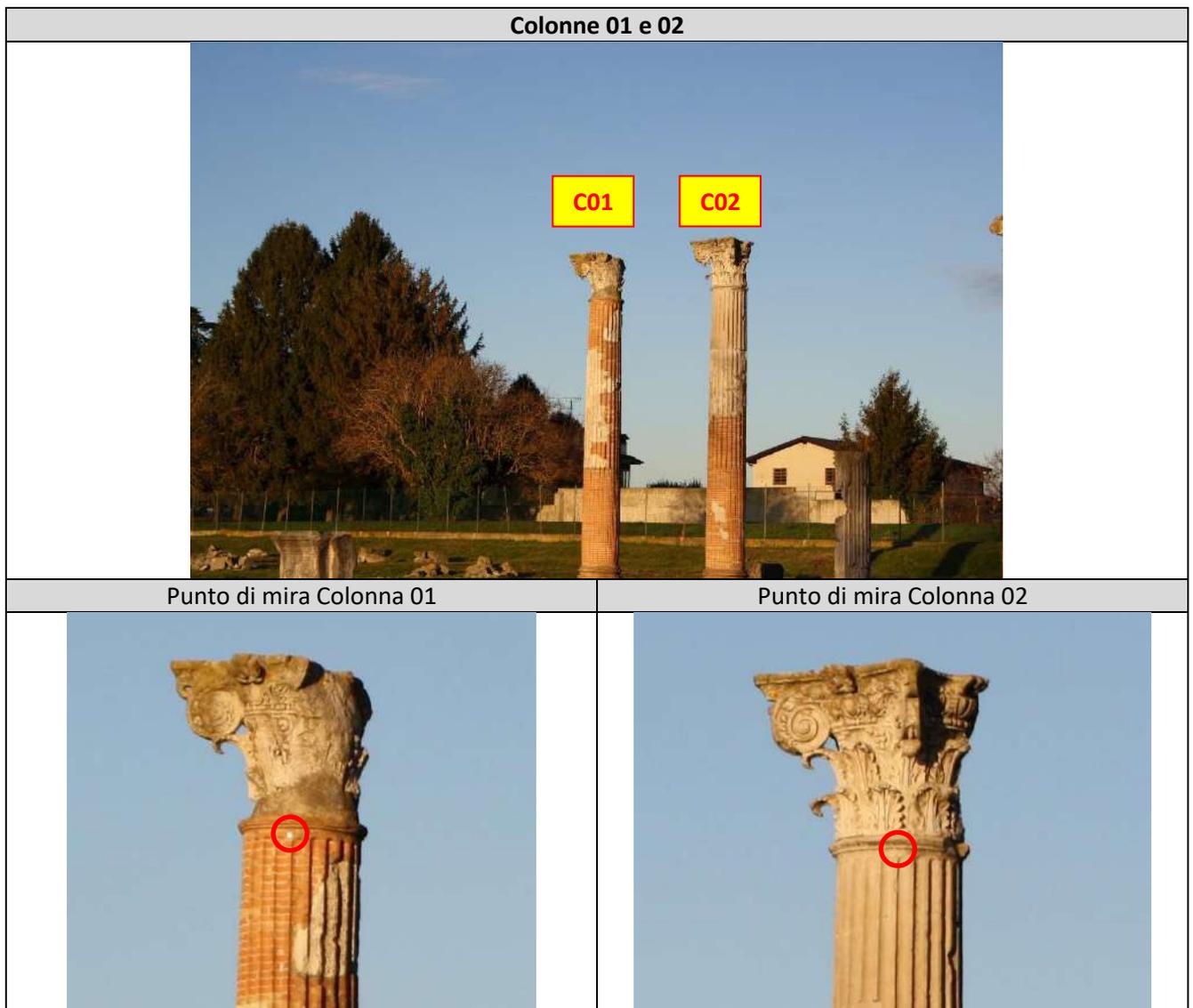


FIGURA 1: Base fissa stazione primaria (SX) e strumento montato sulla base fissa stazione primaria (DX)

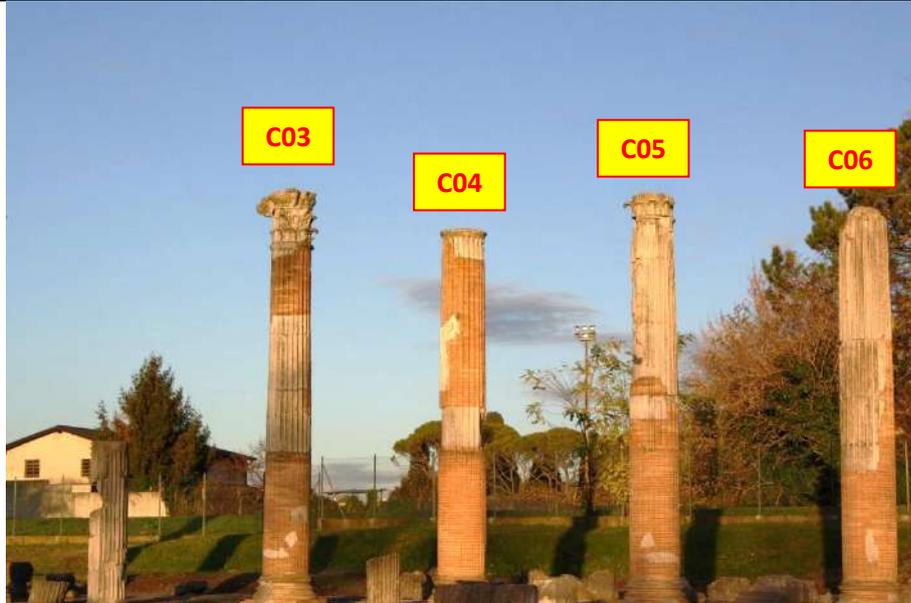
Sulle sommità delle 14 colonne (si veda la numerazione nello schema precedente) sono state installate delle micro-mire con target riflettente di circa 1,5cm di diametro. Di seguito si riportano le immagini dei punti di posizionamento, riprese dalla stazione primaria.



FIGURA 2: micro-mire installate sulle colonne (lato verso stazione primaria)

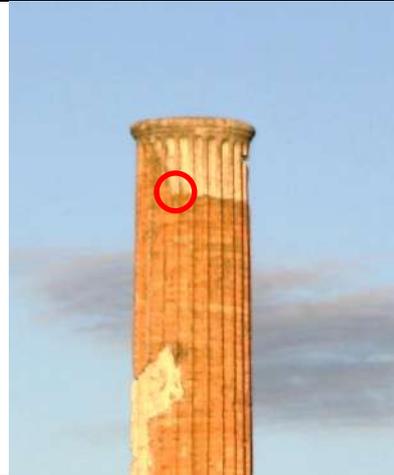


Colonne 03-04-05-06



Punto di mira Colonna 03

Punto di mira Colonna 04

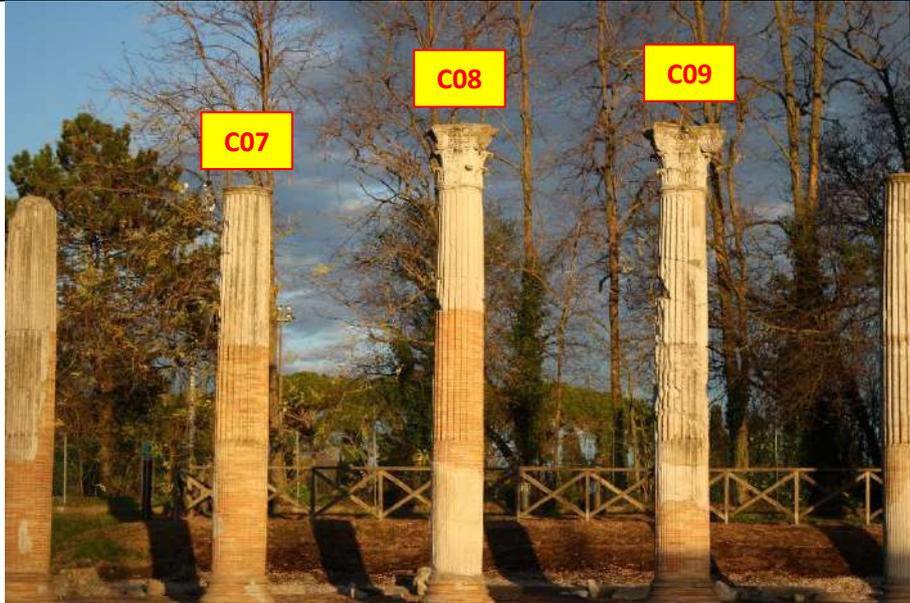


Punto di mira Colonna 05

Punto di mira Colonna 06



Colonne 07-08-09



Punto di mira Colonna 07



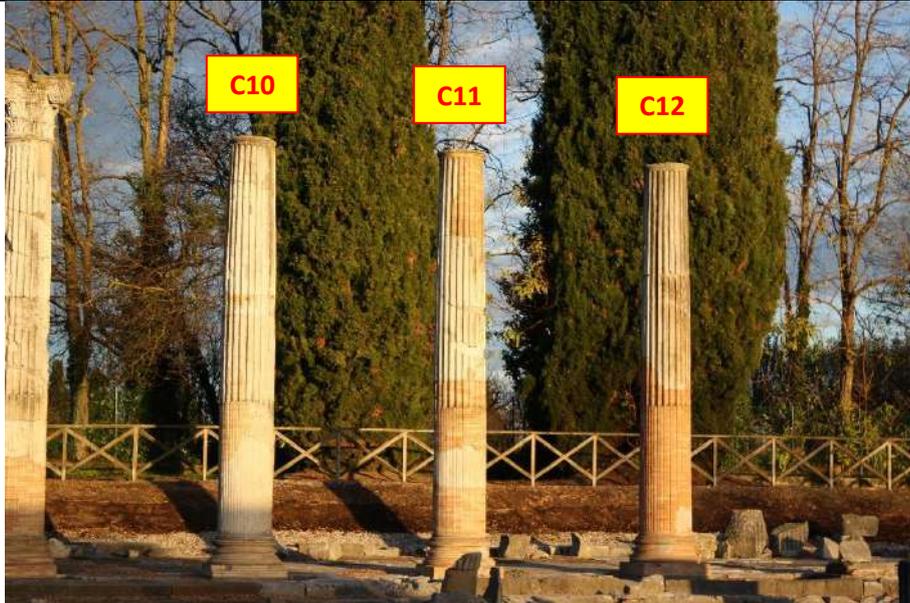
Punto di mira Colonna 08



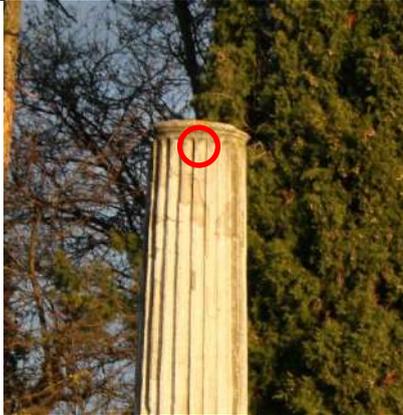
Punto di mira Colonna 09



Colonne 10-11-12



Punto di mira Colonna 10

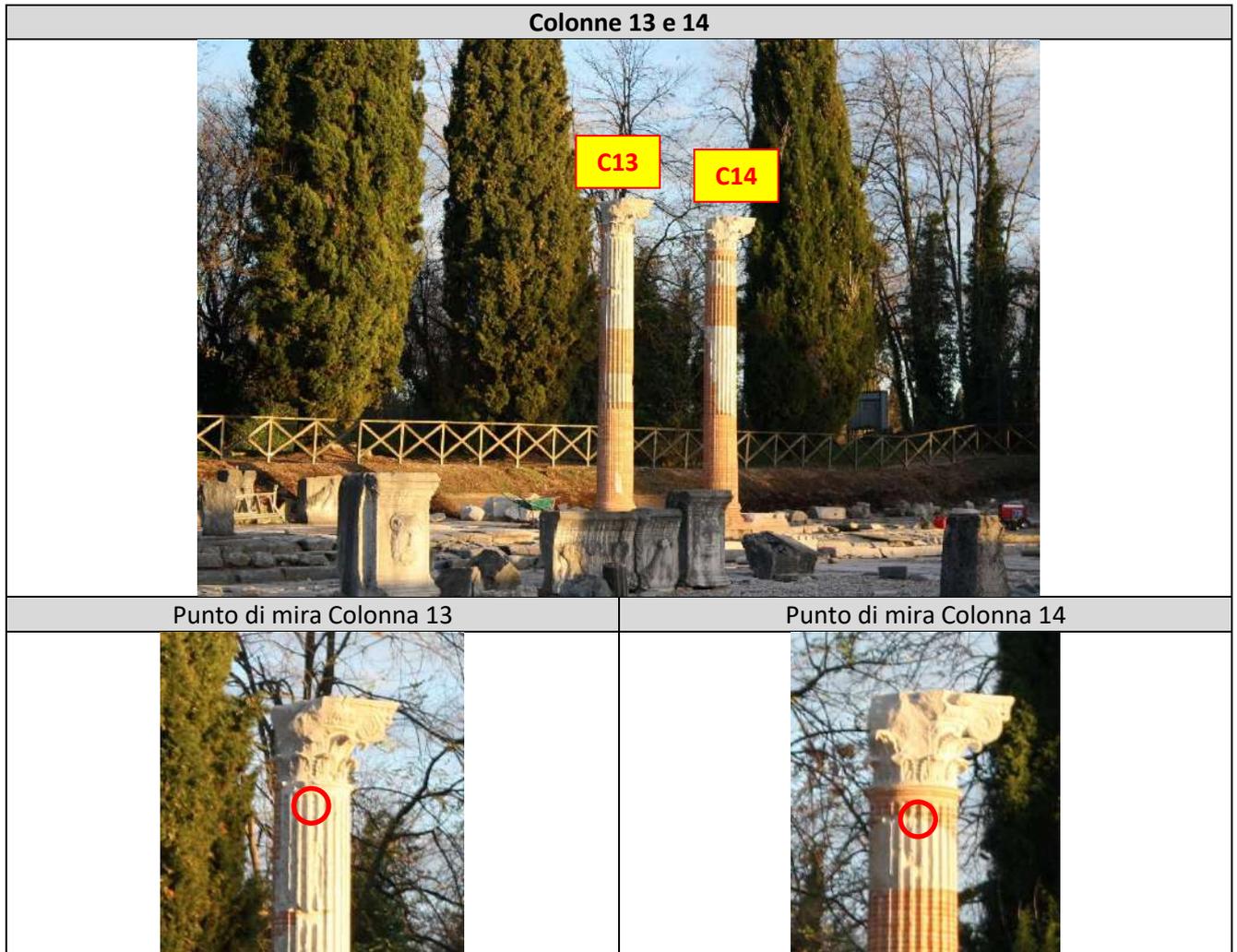


Punto di mira Colonna 11



Punto di mira Colonna 12





4.1. Procedura di misura

Sulle stazioni di misura primaria e secondaria sono installati target di riferimento identici a quelli posizionati per le colonne, in modo da garantire la possibilità di verificare che il posizionamento relativo fra le stazioni rimanga corretto nel tempo e per l'allineamento dello zero prima della campagna di misura.



NB: come previsto dal piano di manutenzione, le misure andranno ripetute con cadenza annuale dopo la prima campagna eseguita in fase di installazione, possibilmente in condizioni climatiche simili (data della prima campagna di misura: 03/12/2021).

DATI RILEVATI DURANTE LA PRIMA CAMPAGNA DI MISURE

- H strumento rispetto alla base fissa di appoggio in bronzo: 22,5cm
- ZERO ORIZZONTALE allineato al target del pilastrino di Stazione secondaria (Punto di Mira TargetST2)

PUNTO di MIRA	HA [gon]	VA [gon]	SD [m]
TargetST2	0	2,6398	40,028
1	365,2402	7,9994	36,890
2	369,3436	8,4580	34,938
3	378,8526	9,3684	31,608
4	384,2110	9,7592	30,209
5	390,0324	9,9286	29,113
6	396,4686	9,9266	28,177
7	2,9270	10,5730	27,613
8	9,4718	10,8052	27,334
9	16,3286	10,6240	27,315
10	23,2218	10,0250	27,588
11	29,6906	10,6136	28,241
12	36,0474	10,2122	29,116
13	60,3676	7,9430	36,952
14	63,8766	7,2522	38,983

5. CONCLUSIONI

I dati delle analisi possono essere riassunti come segue:

- Le prove di assorbimento secondo UNI EN 16302:2013 hanno evidenziato che i laterizi utilizzati per la ricostruzione delle lacune nelle colonne sono soggetti a un livello elevato di rischio imbibizione se sottoposti all'azione della pioggia battente e quindi risulta opportuno utilizzare un prodotto idrorepellente per le superfici in modo da limitare tale fenomeno.

La presenza di acqua all'interno dei pori del materiale, infatti, può determinare una serie di fenomeni di degrado di tipo biologico (crescita di biodeteriogeni), oltre ad innescare fenomeni dannosi determinati dal trasporto di Sali solubili e ai cicli di gelo/disgelo.

In particolare, il confronto eseguito tra le prove eseguite prima e dopo l'applicazione del prodotto idrorepellente selezionato per il cantiere pilota mostra una riduzione notevole dell'assorbimento per i mattoni ed i giunti di malta (80% circa rispetto alle superfici non trattate), mentre il miglioramento risulta più contenuto per le pietre naturali analizzate (25% circa rispetto alle superfici non trattate)

NB: per garantire la durabilità dell'intervento è fondamentale prevedere per il piano di conservazione programmata una verifica periodica dell'efficienza dell'idrorepellente applicato (ripetendo eventualmente le prove eseguite con intervallo temporale di 4-5 anni)

- L'analisi preliminare dei biodeteriogeni mostra una diffusa presenza di muschi e licheni che si concentra soprattutto in corrispondenza delle porzioni di colonna ricostruite in laterizio e nei giunti di malta. Si consiglia di prevedere nel piano di manutenzione l'applicazione periodica di adeguato prodotto biocida (già testato durante la fase del cantiere pilota in maniera efficace), in modo da prevenire la formazione di aree contaminate e quindi evitare il degrado della superficie dei materiali lapidei.

- I condotti di scarico delle acque sono risultati in condizioni particolarmente critiche prima dell'intervento realizzato sul cantiere pilota che ha ripristinato le funzionalità. Anche in questo caso per il piano di conservazione programmata è fondamentale prevedere una ispezione e pulitura periodica dei condotti, in modo da evitare occlusioni che possono determinare dissesti strutturali soprattutto sull'area del colonnato.

- Per quanto concerne la struttura portante delle colonne, si è osservato che il laterizio delle parti ricostruite risulta essere un paramento esterno di spessore circa 15cm (vedere i risultati delle prove di laboratorio eseguite per caratterizzarne la resistenza meccanica a compressione), mentre all'interno della sezione si trova un nucleo di calcestruzzo con presenza di ferri di armatura. Dalle analisi eseguite con metodo magnetometrico non distruttivo non è possibile rilevare in maniera esaustiva la geometria degli stessi; si suggerisce un eventuale approfondimento con metodi di indagine distruttivi, se compatibili con le prescrizioni degli enti di tutela competenti.

- Il sistema di monitoraggio installato consentirà di verificare periodicamente la stabilità del colonnato rilevando cedimenti eventuali o deformazioni. Si suggerisce di inserire nel piano di

manutenzione una campagna di verifica con cadenza annuale sui target installati, da eseguire con stazione totale utilizzando il metodo descritto nel capitolo specifico della presente relazione.

Il Responsabile delle prove:

Ing. Dario P. Benedetti, PhD

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Dario P. Benedetti". The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke extending to the right.