# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Architettura per il Restauro e Valorizzazione del Patrimonio

Tesi di Laurea Magistrale

Analisi e caratterizzazione dell'intonaco della Cappella rupestre del Santo Spirito presso Zagarolo (Roma), con riferimento alle fasi del manufatto e alle tecniche costruttive impiegate



**Relatore** Prof.ssa Paola Palmero **Candidato** Giordano Ocelli

Correlatori

Prof. Roberto Franchi Prof. Gabriele Quaranta La cappella rupestre del Santo Spirito presso Zagarolo (Roma) costituisce un esempio ancora intatto della presenza diffusa di edifici di culto posti a protezione e controllo delle zone extraurbane, e dell'evoluzione del territorio rurale, caratteristico di molte aree della campagna romana. Tali manufatti consentono spesso l'acquisizione di dati sullo sviluppo storico, edilizio e culturale delle zone periurbane.

Lo studio si propone di integrare alle esigue informazioni bibliografiche e archivistiche rilevate, con i dati raccolti dal rilievo e da diverse analisi chimico-fisiche e diagnostiche eseguite su una porzione del manufatto, mediante il campionamento di materiale dall'intonaco della parete absidale, per l'acquisizione di nuovi dati riguardo le fasi e le tecniche costruttive impiegate.

I risultati delle analisi composizionali, morfologiche e microstrutturali, unitamente alle informazioni raccolte dalla bibliografia e dal rilievo, hanno permesso di caratterizzare la malta di rivestimento del vano ipogeo e formulare alcune ipotesi riguardo le fasi costruttive, anche mediante l'esame delle forme di degrado e le relative cause che interessano il manufatto. Sono stati inoltre indagati i materiali impiegati e le modalità di realizzazione della decorazione pittorica, con lo scopo di fornire ulteriori indicazioni cronologiche e tecnologiche sulla stratigrafia dell'intonaco.

I dati raccolti sono inoltre stati utilizzati per fornire indicazioni circa lo stato di conservazione del manufatto e gli interventi di recupero e consolidamento della superficie. The rocky chapel of Santo Spirito in Zagarolo (Rome) is a still intact example of the widespread presence of cult buildings placed to protect and control the extra-urban areas, and of the evolution of the rural territory, characteristic of many areas of the Roman countryside. Such artefacts often allow the acquisition of data on the historical, building and cultural development of the peri-urban areas.

The study aims to integrate the collected bibliographic and archival information with the data collected from the survey and various chemical-physical and diagnostic analysis performed on a portion of the building, by sampling material from the apsidal wall plaster, to acquire new data about the phases and construction techniques used.

The results of the compositional, morphological and microstructural analysis, together with the information gathered from the bibliography and the survey, allowed to characterize the coating mortar of the hypogeum and to formulate some hypotheses regarding the construction phases, also by examining the forms of deterioration and the related causes that affect the artifact. The materials and the methods of realization of the pictorial decoration were also investigated, with the aim of providing further chronological and technological indications on the plaster stratigraphy.

The collected data have also been used to provide information on the state of conservation of the building and the interventions for the recovery and consolidation of the surface.

# Indice:

Introduzione	
1. TERRITORIO	
1.1. Orografia e Idrografia	
1,2. Viabilità e insediamenti	
Bibliografia	
Diotografia	
2. CHIESA DEL SANTO SPIRITO	
2.1. Culti extraurbani: cappelle rupestri e vani	
ipogei del terriorio	
2.2. Chiese del Terrenchiuso: Chiesa della	
Visitazione e Cappella del Santo Spirito	
2.3. Cappella rupestre del Santo Spirito	
Bibliografia	
3. CAMPIONAMENTO E INDAGINE SUL	
MANUFATTO	
3.1. Campionamento	
3.2. Caratterizzazione e analisi dei campioni	
3.2.1. Diffrattometria ai Raggi X - XRD	
3.2.2. Microscopia ottica - sezioni lucide	
3.2.3. Microscopia elettronica - SEM-EDX	
3.2.4. Spettrometria infrarossa - FT-IR	
3.2.5. Analisi termiche - DTA-TG	
Bibliografia	
A DIGHT TATE CONCLUSION	
4. RISULTATI E CONCLUSIONI	
4.1. Risultati	
4.1.1. Malta carbonatica	
4.1.2. Malta pozzolanica	
4.1.3. Pigmenti e colori	
4.2. Analisi del degrado	
4.3. Conclusioni e proposte di intervento	
4.3.1. Conclusioni e interpretazione dei risultati	
4.3.2. Criticità e limiti	
4.3.3. Proposta di intervento	
Bibliografia	
Dibliografia cumlamentam	
Bibliografia supplementare	
Appendice	
I - Rilievo fotografico	
II - Schede di campionamento e grafici	

#### Introduzione

La documentazione del patrimonio edilizio storico rappresenta uno dei molteplici passi necessari all'osservazione e all'accrescimento delle conoscenze dei fenomeni di sviluppo urbano e architettonico.

L'edilizia storica costituisce infatti una delle più consistenti testimonianze del progresso culturale, sociale e tecnologico che interessa, in epoche e modi diversi, le diverse aree territoriali: l'opera architettonica si pone dunque come espressione di numerosi fattori culturali, economici e storici.

Spesso, però, tale valore viene attribuito solo alle opere monumentali e di pregio, che maggiormente rappresentano l'espressione dell'avanzamento e della produzione umana, senza però porre attenzione sui manufatti appartenenti all'ediliza storica minore, indicando con il termine quelli che, anche privi di particolare pregio architettonico, costituiscono il vasto sistema di testimonianze della tradizione edificatoria, «della storia delle popolazioni e delle comunita' rurali, delle rispettive economie agricole tradizionali, dell'evoluzione del paesaggio».

Il valore di tali beni può essere riconosciuto, prima che nella tecnica o negli aspetti formali, nel loro profondo radicamento nella tradizione storica, topografica e edilizia locale, nella loro conformazione funzionale al territorio rustico e agli usi che ne hanno generato l'impianto.<sup>2</sup>

Benchè in essi si riconoscano i segni e le semplificazioni del ritardo culturale rispetto alle grandi opere, tali manufatti vanno analizzati anche e soprattutto in relazione alla loro posizione rispetto ai centri abitati, alle vie di comunicazione e alle emergenze del territorio, in stretto legame con il contesto ambientale, per fornire dati inediti sulle forme di occupazione, controllo e espansione sul territorio extraurbano.

L'interesse investito sul patrimonio edilizio rurale si limita però spesso a considerazioni sulla sua classificazione architettonica e formale, su ipotesi sulla datazione e su limitate caratteristiche artistiche inedite che differenziano i manufatti tra loro.<sup>3</sup>

Oltretutto, la fase conoscitiva raramente spazia oltre l'indagine archivistica - documentale e il rilievo preliminare, a meno che non si preveda la realizzazione di un piano di manutenzione e intervento che, però, spesso non viene considerato per manufatti di portata così ristretta.

Questo sistema di manufatti, dispersi nelle aree extraurbane, necessita di una più profonda osservazione, in funzione soprattutto delle trasformazioni storiche che il territorio ha subito.

In questo senso, l'interdisciplinarietà dell'approccio al manufatto e alla sua documentazione fornisce notevoli strumenti per l'acquisizione di informazioni inedite sulle fasi e sulle caratteristiche del bene, con lo scopo primario di allargare la lettura dell'opera non solo agli aspetti più evidenti e superficiali, ma alla profonda relazione che questi mantengono con la storia dei luoghi.

Soprattutto in questi casi, l'interpretazione delle testimonianze tradizionali e storiche deve essere operata in relazione alle analisi ambientali, e a una osservazione puntuale e critica dei materiali e delle strutture, per poter giustamente riconoscere il valore culturale dei manufatti di edilizia storica minore.

Nella concezione del restauro come ulteriore momento conoscitivo non si può dunque pensare di distinguere la prima fase di documentazione dalle indagini normalmente svolte per il progetto di conservazione. Entrambe consentono, mediante il confronto continuo e simultaneo dei dati, di comprendere più a fondo la consistenza e il valore di tali manufatti.

Proprio in assenza di documentazione descrittiva o archivistica, il rilievo e le analisi sulle

<sup>1</sup> D.M. 06.20.05, Ministero per i Beni e le Attività Culturali. Individuazione delle diverse tipologie di architettura rurale presenti sul territorio nazionale e definizione dei criteri tecnico-scientifici per la realizzazione degli interventi

<sup>2</sup> PAGANO G., DANIEL G., Architettura rurale italiana, Hoepli, Milano, 1936

<sup>3</sup> Franceshi S., Germani L., Manuale operativo per il restauro architettonico, DEI – Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005

tecniche e sullo stato di conservazione possono essere utili all'acquisizione di nuove informazioni riguardo manufatti generalmente ignorati o sommariamente descritti all'interno delle fonti.

L'indagine sull'architettura rurale costituisce, in questo senso, un campo di impiego e sperimentazione prolifero per la documentazione, più che degli scarsi caratteri di pregio, dell'evoluzione delle tecniche costruttive e dei materiali impiegati<sup>4</sup>, delle intrinseche relazioni tra i manufatti e delle modalità di insediamento e occupazione operate sul territorio, in modo da indagarne, oltre alle proprietà materiche e tecnologiche, anche le caratteristiche culturali.

In questi casi, anche se ristretti, la documentazione deve essere quindi spinta non tanto alla ricerca di indicazioni precise su fasi cronologicamente limitate e riconoscibili, quanto più all'analisi critica delle tipologie, delle trasformazioni topografiche, dell'identificazione di tecniche e materiali<sup>5</sup> che potrebbero aprire nuove strade alla ricerca e alla comprensione del complesso sistema di manufatti che costellano il paesaggio rurale.

<sup>4</sup> MATTEINI M., MOLES A., La chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica, Nardini Editore, Firenze, 1989

<sup>5</sup> CAROCCI S., VENDITELLI M., L'origine della Campagna Romana. Casali, castelli e villaggi nel XII e XIII secolo, Società Romana di Storia Patria, Roma, 2004

#### 1. TERRITORIO

Il territorio di Zagarolo (30 km ca. a Sud-Est di Roma) occupa un'area collinare compresa tra le pendici dei Colli Albani e il versante sud-occidentale dei Monti Prenestini. Il borgo, inizialmente esteso linearmente lungo una strada sulla sommità di uno sperone di tufo, si è allargato ai colli circostanti, comportando l'espansione oltre le porte che segnavano l'accesso da Nord e Sud.

I terreni intorno al borgo, contenuto tra le porte e limitato in larghezza, che occupano i colli e le valli scavate dai torrenti, sono da sempre destinati alla produzione agricola, come in molti altri comuni delle zone premontane intorno Roma. L'orografia e la disponibilità di terreni fertili hanno quindi fortemente condizionato le dinamiche di insediamento sul territorio, soprattutto nelle fasi di espansione extraurbana.

Nonostante non si conoscano con precisione le origini dell'insediamento su cui insiste l'attuale borgo, si ha traccia di alcuni stanziamenti che hanno interessato i vicini colli precedentemente al periodo di infeudazione del territorio da parte dei Colonna (X secolo, le cui sorti segnarono fortemente lo sviluppo del nucleo urbano)<sup>1</sup>, in particolare le aree a est (Colle del Pero – Palombara – Santa Maria in fronte) e ovest (Colle Villa – Palazzola) dell'attuale borgo.

Date le possibili ipotesi sul primitivo insediamento dell'area, viene assunto che lo sviluppo di Zagarolo (probabilmente sorto su un predio di *sagari* nei locali tenimenti di Cesare)<sup>2</sup> sia strettamente legato a quello del popolo di *Gabi*, antico centro abitato tra le strade consolari prenestina e labicana che, fino circa al XII secolo, era sopravvissuto sul luogo di origine, anche con notevoli sviluppi.

La prima distruzione di Zagarolo (1109) avrebbe comportato la ricostruzione, e quindi il ripopolamento dell'abitato, proprio da parte dei gabini, che sotto la guida dei feudatari Colonna avrebbero contribuito allo sviluppo urbano e economico della città.<sup>3</sup>

Come già accennato, le sorti di Zagarolo seguirono, dal XII secolo, quelle della famiglia feudataria, con le rispettive alleanze che fortemente condizionarono le vicende storiche tra Stato della Chiesa e Impero in epoca medievale.

Si può infatti affermare che il nucleo attuale è frutto di distruzioni, ripopolamenti, importanti trasformazioni urbanistiche e sociali che interessarono il feudo, poi ducato, in funzione delle alterne posizioni che i Colonna assunsero fino a circa il XVII secolo, quando Piefrancesco Colonna fu costretto a vendere per bancarotta, consegnando ai Ludovisi, e successivamente ai Rospigliosi, l'abitato nella sua conformazione quasi completa.

### 1.1. Orografia e idrografia

La caratteristica orografia del territorio è il prodotto di diversi eventi piroclastici esplosivi provocati dalle eruzioni del sistema vulcanico Laziale.

L'area circostante Roma è stata interessata da due eventi piroclastici principali: quello dei Monti Sabatini a Nord-Ovest e quello dei Colli Albani a Sud-Est, entrambi caratterizzati da diverse colate e con differenti tipologie di depositi. I prodotti, oltre che dal tipo di minerali costitutivi, dipendono anche dai meccanismi di deposizione e dalle alterazioni successive all'azione degli agenti atmosferici. Il materiale vulcanico costitutivo del territorio è da sempre utilizzato in edilizia, sotto forma di additivi pozzolanici nelle malte dei conglomerati cementizi o come pietre leggere e ignifughe in blocchi. <sup>4</sup>

L'area di Zagarolo si colloca all'interno del distretto vulcanico dei Colli Albani. Durante il periodo Tuscolano-Artemisio (prima fase di formazione del Vulcano Laziale o

<sup>1</sup> Loreti, 2002

<sup>2</sup> Tomassetti, 1913. Il nome Zagarolo deriverebbe infatti da Sagarolum, agglomerato urbano che ospitava maestranze specializzate nella preparazione degli abiti (sagum) e delle tinture. Nibby (NIBBY, 1849) riconduce invece l'origine del nome alla presenza di una villa imperiale, su cui sarebbe sorto il borgo (Gazzarolum, di derivazione da Caesariolum)

<sup>3</sup> LORETI, 2002. L'autore localizza lo stanziamento dei Gabini presso l'attuale zona di Via Antico Gabio, dove già sarebbe esistito un primo nucleo abitato

<sup>4</sup> Marra et all., 2011

Albano) si depositarono quattro colate a carattere pozzolanico:

- I. Tufo Pisolitico
- II. Pozzolane Rosse di San Paolo e Conglomerato Giallo
- III. Pozzolane Nere delle Tre Fontane, o Pozzolane Inferiori e Tufo Lionato
- IV. Tufo di Villa Senni e Pozzolanelle

tutte seguite da periodi di stasi o brevi colate laviche.<sup>5</sup>

Il materiale prodotto dalle esplosioni (principalmente silicatico) varia in dimensioni da pochi micron a diversi centimetri, e comprende anche parte dei frammenti rocciosi strappati dall'eruzione. Questi frammenti, una volta raggiunto il suolo, si depositano in strati che possono restare incoerenti o debolmente cementati, o ricristallizzare allo stato roccioso.

Il materiale vulcanico depositato si dispone quindi in modi molto diversi, anche all'interno del medesimo banco di roccia, e su diversi livelli (scorie e ceneri, pozzolane, tufi litoidi).

Le rocce vulcaniche della provincia comagmatica romana<sup>6</sup> si caratterizzano per l'alto contenuto di potassio (serie potassica KS e ultrapotassica HKS, tipiche dei Colli Albani), che le differenziano dalle pozzolane appartenenti ad altre regioni vulcaniche.

In particolare, il deposito su cui sorge Zagarolo sembra formato da tufi lionati (tufo litoide bruno-rossastro) e pozzolane rosse e nere, che affiorano sulla parete rocciosa.<sup>7</sup>

Lo sperone su cui sorge il borgo e gli altri che si estendono in direzione parallela sono separati da valli di origine fluviale, che scandiscono il territorio e in cui si concentravano le strade di attraversamento in direzione Nord-Sud. In particolare, il colle del borgo era separato a Est da un altro colle (Colle Villa – Palazzola – della Noce, di estensione simile e larghezza maggiore) mediante una valle, detta "della Foresta", che nei punti di maggior depressione scende oltre i 60 metri di quota, e che anticamente era attraversata da un fosso ("Fosso detto della Foresta, e pure detto del Terren Chiuso" nel Catasto Gregoriano).<sup>8</sup>

È spesso in base a tali elementi che le diverse parti del territorio venivano nominate e riconosciute.

### 1.2. Viabilità e insediamenti

Il settore di Valle della Foresta comprendeva le strade di accesso che, da Ovest, salivano verso il borgo attraverso la porta occidentale. Il collegamento alle strade consolari Prenestina e Labicana era assicurato da un raccordo intermedio [fig.1] che, da San Cesareo, correva tangente alla rupe di Colle Villa – Palazzola – della Noce e, mediante il taglio delle rupi, si dirigeva verso Palestrina: la strada, almeno fino agli inizi del XIX secolo, conservava per circa tre miglia il basolato originale, in massi poligoni di roccia lavica basaltica, e tracce delle crepidini laterali. 10

Dunque, dalla strada che procedeva verso Palestrina, e che attraversava il ponte sul fosso "del Terrenchiuso", una diramazione costeggiava la parete rocciosa di Colle della Noce<sup>11</sup> e permetteva la salita da fondovalle.<sup>12</sup> Qui si concentravano inoltre le strade e i sentieri che scendevano dalla rupe di Colle Villa – Palazzola e che consentivano il collegamento attraverso la valle (Strade "Vicinale detta della Foresta" e "dei Cavoni").<sup>13</sup>

<sup>5</sup> Bakos et all., 1994

<sup>6</sup> Wahington, 1906

<sup>7</sup> Mancina et all., 1998

<sup>8</sup> ASR, Presidenza Generale del Censo, Catasto Gregoriano, Mappe e Broliardi, Comarca, mappa 150, Zagarolo, sezione 1-I

<sup>9</sup> ASR, Presidenza delle strade, Catasto Alessandrino, f. 430/1, Sviluppo delle strade Prenestina e Casilina fuori Porta Maggiore e fuori Porta S. Giovanni

<sup>10</sup> Nibby, 1819. Secondo quanto riportato dall'autore, la distanza tra le crepidini, e dunque la larghezza della strada basolaata, sarebbe di 14 piedi (4,3m ca.)

<sup>11</sup> Grandi, 1991. La rinvenuta presenza di resti appartenenti a una villa (fine I secolo a.C. – inizi I secolo d.C.) e di alcuni tratti di strada basolata fanno forse riferimento all'ipotesi di un primo insediamento proposto da G.M. Loreti (Loreti, 2002). Il basolato sarebbe forse pertinente al diverticolo sul raccordo tra la via Labicana e la via Prenestina (Barbetta, 1995).

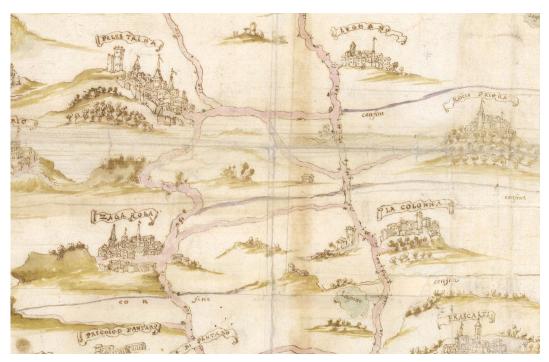
<sup>12</sup> La strada compare ancora nella cartografia comunale, sebbene sia difficilmente individuabile tra la vegetazione e in alcuni tratti impraticabile

<sup>13</sup> ASR, Presidenza Generale del Censo, Catasto Gregoriano, Mappe e Broliardi, Comarca, mappa 150, Zagarolo, sezione 1-I

La strada viene generalmente rappresentata come una strada sterrata, percorsa da contadini e viandanti. 14 È però probabile che la strada fosse più utilizzata di quanto ci si aspetti, visti i collegamenti disponibili verso Palestrina, San Cesareo, Labico, la Via Casilina e i colli a Nord-Ovest, e che il tracciato stesso ricalcasse in parte una strada di origine più antica. 15

I collegamenti interni alla valle erano funzionali sia ai terreni coltivati che al trasporto del materiale estratto dalla rupe. Secondo la tradizione, infatti, le grotte di Via dei Cavoni sarebbero state cave di pozzolana, impiegate nella costruzione e ampliamento del borgo (purtroppo molte delle cave abbandonate non sono più riconoscibili o accessibili, e non si possiedono dati riguardo lo sfruttamento del banco di Colle Villa - Palazzola).

Non appare dunque strano che proprio sul raccordo tra la strada di fondovalle e quella diretta a Palestrina fossero sorte le due piccole Chiese del Terrenchiuso.



[fig.1]

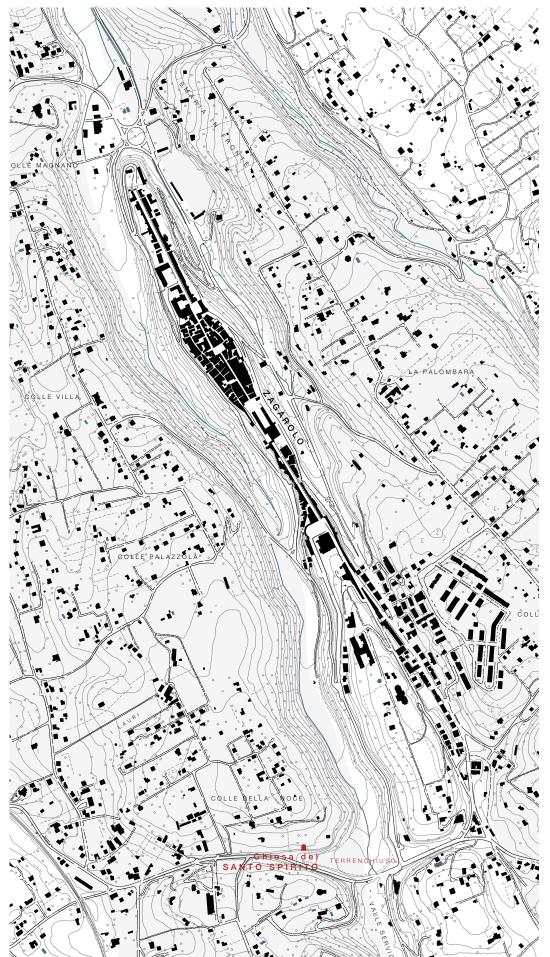
Strade Prenestina e Labi-cana - Catasto Alessandrino - XVII sec. (f.430/1, dettaglio)

Il raccordo su cui le Chiese del Terrenchiuso sono poste è riconoscibile nella diramazione che da "La Colonna" si dirige verso "Zagarola".

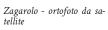
Si nota che non vi sono annotazioni sulle strade di collegamento, dunque la presenza di cappelle o cone non è nota.

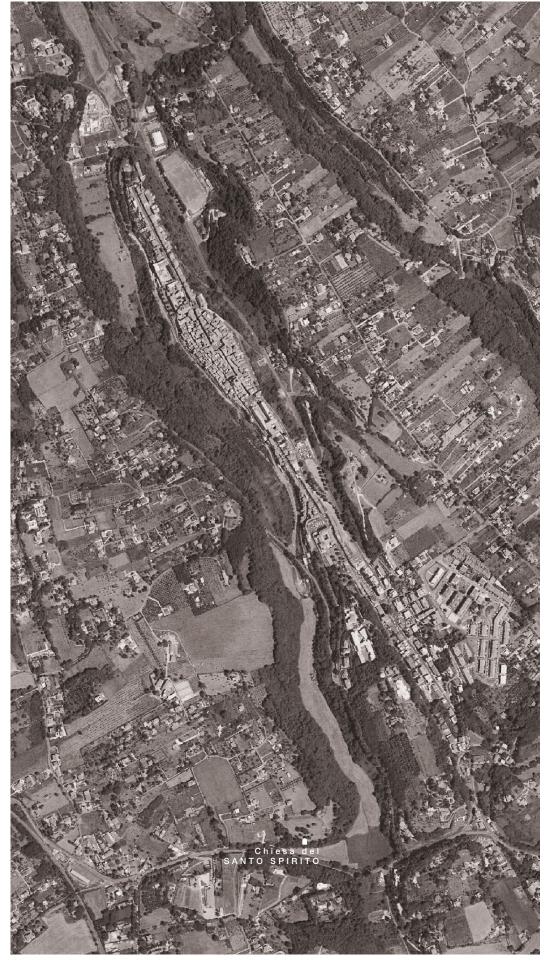
<sup>14</sup> Nel dipinto di Johan Rader, Cavalli Rospigliosi e veduta di Zagarolo (1750-60 ca., Museo di Roma - Palazzo Braschi) si riconosce la Porta delle Fontanelle, che consentiva l'accesso da Valle della Foresta

<sup>15</sup> Quaranta, 2015



Zagarolo - cartografia attuale





Zagarolo - mappa dal Catasto Gregoriano - 1819 ca. (f.150)



# Bibliografia

NIBBY A., Viaggio antiquario ne' contorni di Roma, vol. I, Roma, 1819

Washington H.S., *The roman comagnatic region*, Carnagie Institution of Washington, Washington, D.C. (US), 1906

Tomassetti G., Vie Cassia e Clodia, Flaminia e Tiberina, Labicana e Prenestina, in La campagna romana antica, medioevale e moderna, vol. III, Loescher & Co., Roma, 1913 (ed. aggiornata 1976)

Grandi M., *Zagarolo (Roma)*. *Località Palazzolo*, in "Bollettino di archeologia", Ministero per i beni culturali e ambientali, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1991, pp. 83-91

Bakos F., Cimitan L., Rossi P. P., Zaninetti A., Caratterizzazione petrologica e chimica di malte pozzolaniche antiche, in "Materiali e Strutture", 1994, IV, pp. 1-20

BARBETTA S., Via Labicana, in Antiche strade: Lazio, Morselli C. (a cura di), Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 1995

Mancina M., Ristano G., Sappa G., Saturno L., Engineering-geological problems in the execution of an urban tunnel with small covering in pyroclastic formations underneath an old town center, in "Proceedings of the World Tunnel Congress'98 on tunnels and metropolises", Sao Paulo (Brazil), 25-30 Aprile 1998

LORETI G.M., Brevi cenni su la storia di Zagarolo. Origini e periodo colonnese, opera manoscritta pubblicata da Provincia di Roma, Città di Zagarolo, Associazione Lauretana di Zagarolo, Roma, 2002

Marra F., Deocampo D., Jackson M.D., Ventura G., The Alban Hills and Monti Sabatini volcanic products used in ancient Roman masonry (Italy): An integrated stratigraphic, archaeological, environmental and geochemical approach, in "Earth-Science Reviews", vol. CVIII (2011), III, pp. 115-136.

Quaranta G., Chiese extraurbane e viabilità nella Zagarolo pre-novecentesca: note preliminari sul settore di Valle della Foresta, in "Atti della Terza giornata di studi in onore di Irene Lombardo", Zagarolo – Palazzo Rospigliosi, 12 Dicembre 2015

#### 2. CHIESA DEL SANTO SPIRITO

# 2.1. Culti extraurbani: Cappelle rupestri e vani ipogei nel territorio

La presenza di luoghi di culto diffusi su tutto il territorio di Zagarolo, costruiti e cresciuti fuori dalle mura della città, di diversa natura e importanza, ha fortemente condizionato lo sviluppo degli insediamenti, le modalità di occupazione del suolo e la direzione dei percorsi di attraversamento del territorio rurale.

Sebbene molti di questi luoghi nascano infatti su incroci e strade già esistenti, spesso costituivano un vero e proprio riferimento topografico, che incideva sulla frequentazione e sull'affidabilità di tali strade.

Anche al livello giurisdizionale, la rete capillarizzata di questi luoghi costituiva uno strumento di controllo del territorio efficace.

Il valore più profondo che si poteva attribuire a questi luoghi consacrati risiede però nell'opera di protezione spirituale che esercitavano per i viaggiatori che le incontravano, i lavoratori che le visitavano periodicamente e per la città stessa, dato che alcuni venivano edificati proprio a ridosso delle mura.

Spesso questi venivano poi assorbiti dall'espansione del borgo, diventando cuore e parte di nuovi quartieri, come nel caso della cappella, oggi scomparsa, dedicata all'arcangelo Michele e San Martino presso Largo San Martino, e del convento di Santa Maria delle Grazie nel rione di Borgo, entrambi inglobati nel borgo con i lavori di espansione voluti da Marzio Colonna.<sup>1</sup>

Nel caso dei comuni della provincia romana, la vicinanza alle strade consolari e provinciali determinava fortemente la posizione di tali Chiese nelle aree rurali, che potevano dunque sorgere a ridosso dei tracciati o occupare vani già esistenti, in alcuni casi in disuso o destinati ad altre funzioni.

Il territorio stesso, modellato dall'azione vulcanica, necessitava di opere di taglio e sbancamento per la creazione di passaggi trasversali alle strade principali, di collegamento all'interno delle campagne. Tale pratica si accompagnava alla necessità di rendere "sicure" e affidabili le strade secondarie che tagliavano le rupi o indicare l'avvicinamento alle città, e non è raro che cappelle o cone venissero realizzate proprio all'imbocco dei percorsi o all'interno delle tagliate.

È questo il caso della cappella ipogea del Terrenchiuso qui in esame, sotto la rupe di Colle della Noce, ma anche della Chiesa di Santa Maria di Cavamonte, tra Zagarolo e Gallicano nel Lazio<sup>2</sup>: la chiesetta è stata realizzata all'interno della gola ricavata separando i due banchi di Colle Selva e Colle del Pero, mentre sulla parete Nord è stata riconosciuta una tomba monumentale di età antica realizzata scavando un vano all'interno della falesia, probabilmente riutilizzato come cappella dedicata al culto mariano prima della costruzione della chiesa sulla strada.<sup>3</sup>

Va inoltre segnalata la presenza di una ulteriore cappella votiva presente nel territorio di Zagarolo, in località Santa Maria in Fronte.<sup>4</sup> Il vano sarebbe parte di un nucleo di età antica riutilizzato in epoca medievale, in cui sarebbe stata rinvenuta nel XVII secolo un'effige di Sant'Albina (oggi conservata nella Chiesa dell'Annunziata).

Ulteriori esempi di chiese ipogee provengono dal territorio dei colli albani: lo Speco di San Michele presso Nemi (16km ca. da Zagarolo), realizzato nella parete della caldera del vulcano<sup>5</sup>; e la chiesa e eremo di Santa Marina presso Ardea (35km ca. da Zagarolo), scavata all'interno della falesia tufacea nella zona dell'attuale cimitero.<sup>6</sup> Nel primo caso, l'aula sarebbe stata realiz-

<sup>1</sup> Quaranta, 2015

<sup>2</sup> Ashby, 1902, p.267. Nella stessa zona, in località "Osteriola", Thomas Ashby segnala la presenza di un vano ipogeo scavato nella roccia (un *colombarium*, un monumento funebre) affacciato sulla strada di collegamento tra Gallicano e Zagarolo. Potrebbe forse trattarsi della "Grotta della Befana". Parte della rupe è stata sbancata per il ritrovamento di residuati bellici nel 2005

<sup>3</sup> Mari et all., 2012. La presenza di una nicchia centrale e di intonaco di tufo e cocciopesto sulla parete di fondo potrebbero risalire alla fase relativa all'utilizzo della camera come cappella

<sup>4</sup> LORETI, 2002. La fonte, che data l'effige al IX secolo, correla la posizione della cappella ipogea alla presenza di un'area cimiteriale provante un vasto insediamento precedente al X secolo (infeudamento della famiglia Colonna)

<sup>5</sup> Libera, 2016

<sup>6</sup> FISCHETTI, DEL FERRO, 2013

zata all'interno di una grotta naturale riadattata in epoca medievale. La chiesa di Santa Marina, al contrario, sarrebbe stata scavata all'interno di un complesso più ampio, realizzato in epoca imperiale, adiacente a una sepoltura.

Sebbene non si abbiano dati riguardo le fasi di reimpiego di tali vani ipogei, ricorre la relazione con le aree cimiteriali adiacenti, tanto che spesso gli stessi luoghi di culto occupano i vani di camere sepolcrali.

Inoltre, in tutti i casi rilevati, fatta eccezione per lo Speco di Nemi (composto da due settori separati da una balaustra), le camere ipogee ad uso cultuale realizzate nelle rupi sono costituite da una sola camera, in cui viene generalmente scavata una nicchia in forma di abside nella parete di fondo. Pur variando di dimensioni, nei casi sopra citati l'impianto resta dunque lo stesso.

Il reimpiego di vani e edifici di età antica e medievale sembra quindi una tendenza abbastanza radicata nell'area, anche in relazione alla facilità di realizzazione di camere ipogee nei banchi tufacei che modellano il territorio. Non si dispongono però di fonti e dati certi per definire tale tendenza come "sistematica" e diffusa.

# 2.2. Chiese del Terrenchiuso: Chiesa della Visitazione e Cappella del Santo Spirito

La zona tradizionalmente riconosciuta come "Terrenchiuso" interessa un settore a Sud-Ovest di Valle della Foresta, tra Colle della Noce, Valle della Serpicola e Colle Gentile.<sup>7</sup>

Da qui, la strada per Palestrina si diramava costeggiando il versante Sud-Est di Colle della Noce fino a salire, attraversando la valle, alla *Porta delle Fontanelle*.

L'attuale collegamento con Zagarolo (possibile attraverso Viale Gabinova) fu aperto solo alla metà del XIX secolo ad uso esclusivo della famiglia ducale<sup>8</sup>, perciò la strada di fondovalle restò per lungo tempo l'unico accesso da Sud-Ovest.

È probabilmente per questa ragione che sul tratto iniziale della strada vennero realizzate le due Chiese del Terrenchiuso: La Chiesa del Santo Spirito e la Chiesa della Visitazione.

Il riferimento al Terrenchiuso<sup>9</sup> viene utilizzato nell visite per riconoscere la vicina Chiesa della Visitazione. Generalmente, infatti, dalle descrizioni non emerge alcun interesse per la Chiesa del Santo Spirito, forse a causa del suo stato di abbandono o del fatto che fosse sconsacrata.<sup>10</sup> Al contrario, le vicende legate alla Chiesa della Visitazione sembrano ben documentate dai mandati pastorali.

Si sa infatti dalle visite che la chiesa, eretta a qualche decina di metri di distanza dalla cappella ipogea del Santo Spirito, fu realizzata verso la metà del XVII secolo sul luogo di una preesistente cona, una piccola edicola votiva poi inglobata nell'altare, per volontà di un privato che avrebbe finanziato la costruzione per grazia ricevuta.

La suddetta cona, prima di essere sostituita da una nuova pala rappresentante l'episodio della Visitazione, avrebbe ospitato un'immagine della Vergine con il bambino, tra San Rocco e un Santo religioso (di abito non distinguibile). <sup>11</sup> Il culto di San Rocco (patrono dei viandanti e degli appestati) rientra fortemente nel fenomeno di devozione che interessava maggiormente le chiese rurali ad uso di braccianti e pellegrini<sup>12</sup>, e fa supporre dunque che lo sviluppo del fabbricato fosse accompagnato da una frequentazione costante della chiesa e dell'area.

Progressivamente abbandonata dall'inizio del XIX secolo, il rudere della Chiesa della Visi-

<sup>7</sup> Giuseppe Maria Loreti (Loreti, 2002) localizza nella zona del Terrenchiuso la battaglia tra Orsini e Colonna per la riappropriazione dei territori del feudo a seguito della crociata bandita da Bonifacio VIII contro i Colonna

<sup>8</sup> Quaranta, 2015

<sup>9</sup> TerrenChiuso, Terra Inchiusa o Terinchiuso nelle fonti

<sup>10</sup> ASDP, Sacre Visite, Visita Spada, 1658, f.142. In particolare, nelle descrizioni delle visite si fa sempre riferimento alla Chiesa della Visitazione e al relativo episodio biblico, tranne nella Visita Spada del 1658, in cui le informazioni sembrano confuse: riferendosi alla Chiesa di Santa Maria in Terra Inchiusa, si descrive un'immagine antichissima rappresentante la Vergine col figlio (mentre l'episodio della Visitazione è precedente la nascita di Gesù). La descrizione del vano non corrisponde però alla Chiesa del Santo Spirito. È probabile dunque che si tratti dell'altra chiesa del Terrenchiuso

<sup>11</sup> *Ibidem.* Il committente, tale Alessandro Perri (a cui venne affidata la manutenzione e la custodia dei paramenti della chiesa) viene citato anche nelle successive visite del 1703 e 1754

<sup>12</sup> Quaranta, 2015

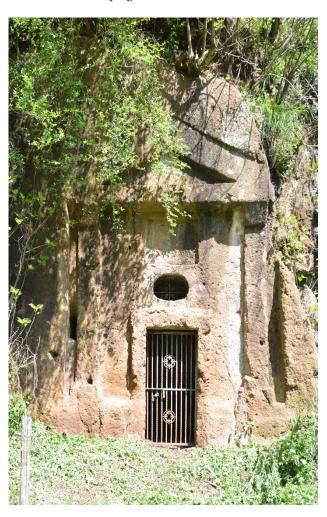
tazione è ancora visibile tra la vegetazione che copre le pendici di Colle della Noce (nei pressi del quale dovrebbe trovarsi anche l'ingresso alla riserva di ghiaccio, o *Grotta della Neve*, di Zagarolo).

Visto il discreto interesse che emerge dalle relazioni sulla Chiesa della Visitazione, resta da chiarire perché l'interesse per la vicina cappella del Santo Spirito sia limitato: l'ipotesi che fosse già sconsacrata già all'era delle prime visite pastorali ne spiegherebbe l'assenza nelle descrizioni.

# 2.3. Cappella rupestre del Santo Spirito

Come già detto, l'analisi dei documenti delle visite pastorali non fornisce indicazioni di alcun tipo sulla Chiesa del Santo Spirito: i riferimenti alla "Chiesa del Terrenchiuso" corrispondono quasi certamente alla vicina Chiesa della Visitazione, dunque non vengono fornite informazioni riguardo l'origine, né sullo stato di conservazione o su eventuali interventi di manutenzione.

Ipotizzando che la cappella rupestre fosse già sconsacrata, gli unici elementi per una datazione sommaria del manufatto riguarderebbero il dipinto (probabilmente pittura a calce) sull'abside e le tecniche costruttive impiegate.

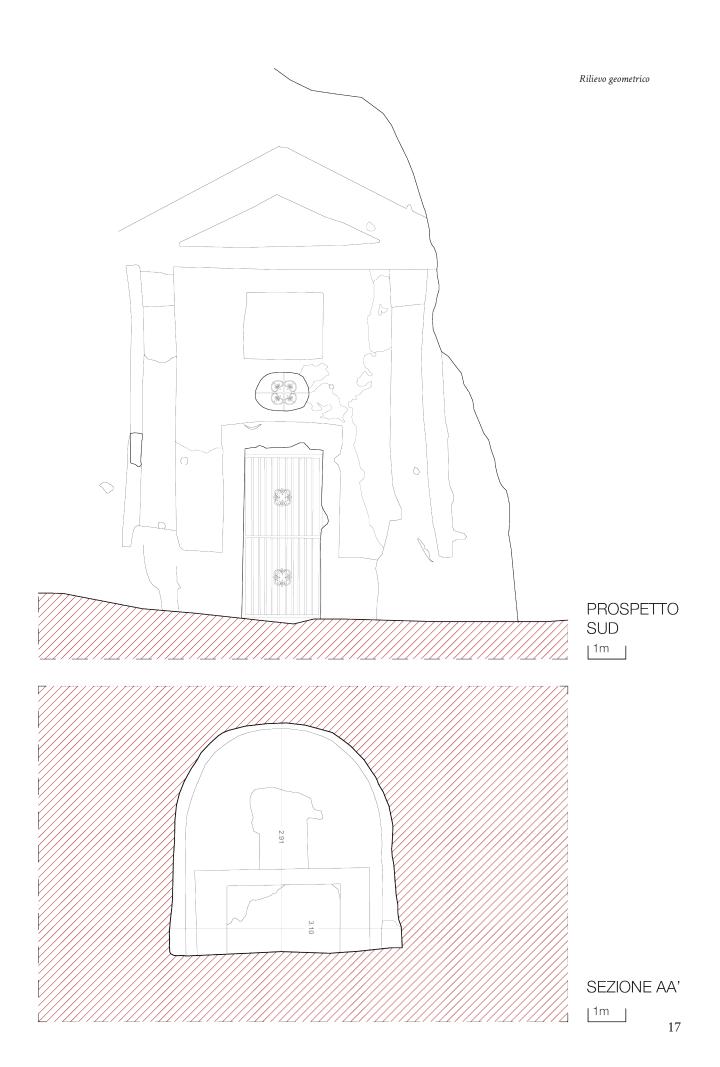


[fig.1]
Chiesa del Santo Spirito.
Fotoraddrizzamento del fronte realizzato sulla parete rocciosa

La Cappella del Santo Spirito consiste in un unico vano realizzato scavando all'interno della falesia di Colle della Noce-Palazzola.

La parete rocciosa è scolpita in forma di "tempietto" [fig.1] in prossimità dell'ingresso: la zona centrale, l'interno del timpano e il contorno della facciata sono stati ulteriormente scavati per lasciare in risalto gli elementi del partito architettonico (lesene, timpano, cornice della porta e basamento). Le lesene ai lati della porta sono provviste di capitelli sbozzati, sui quali sporge il timpano triangolare.





Al centro del fronte scolpito, sopra la porta, è stata aperta una bucatura ovale su cui si riconosce una specchiatura rettangolare. Un'altra feritoia, probabilmente realizzata più tardi, è stata aperta nello scanso a sinistra della facciata. Sono inoltre presenti dei fori c di dimensioni diverse, presenti su tutta la facciata.

Sull'angolo in alto a destra si riconosce ancora una parte dell'intonaco di finitura che ricopriva la facciata (di colore bianco-giallo), di cui si notano ancora alcuni dei segni del dilavamento. Non è possibile però dire se il rivestimento fosse esteso anche alle partizioni architettoniche. Su tutta la facciata (tranne alcune sezioni sfogliate) è stato steso uno strato di malta rossastra (forse di pozzolana o tufo), probabilmente utile a regolarizzare ulteriormente la superficie del fronte.

In generale, si notano mancanze e fenomeni di dilavamento soprattutto sugli spigoli della porta<sup>13</sup>, possibile conseguenza di urti e crolli di piccole parti.

Il vano ipogeo, con sezione a botte, è stato realizzato scavando nella roccia e regolarizzando la superficie [fig.2] con piccone (i segni si notano nella parte bassa delle pareti). La volta è stata anch'essa regolarizzata e rivestita di una malta rossastra (in alcuni punti ingiallita) su cui si notano i segni della gradina, forse per realizzare il supporto di un successivo strato di finitura.





[fig.2]
Pareti interne. Segni della gradina [sinistra] sulla malta di rivestimento della volta, e del piccone [destra] nella porzione più in basso della parete

Sul lato sinistro rispetto all'ingresso è stata realizzata una nicchia di forma irregolare comunicante con l'esterno mediante la feritoia sopra citata, rialzata rispetto al pavimento.

Sulle pareti laterali sono state realizzate sette piccole nicchie (quattro sul lato destro e tre sul sinistro) a circa 1.80m dalla quota di calpestio; sotto le nicchie di destra si nota inoltre una cavità orizzontale molto estesa, al cui interno si riconoscono i segni delle picconate.

Riguardo la parete di fondo, la calotta dell'abside è stata scavata con uno scanso rispetto alla sezione del vano, in modo da mantenere uno spessore costante lungo tutto il perimetro. Nella parte centrale si riconosce la rimozione di un elemento sopra l'altare (forse il tabernacolo) da cui sembrano affiorare blocchetti di tufo di dimensioni ridotte allettati con malta. <sup>14</sup> Una ulteriore lacuna si riconosce sopra l'ingombro del tabernacolo, direttamente nella roccia. Al contrario, l'altare sembra scolpito nella roccia come il resto delle superfici dell'abside.

Il rivestimento a intonaco interessa tutta la superficie, compreso l'altare e lo spessore realizzato dallo scanso.

Sull'abside [fig.3] sono rappresentati (dall'alto in basso) un Crocifisso sormontato da una colomba, tradizionalmente associata allo Spirito Santo (da qui forse la denominazione tradizionale di Cappella "del Santo Spirito") e due santi ai lati, indicati dalle iscrizioni come Sant'Agostino, Vescovo (indicato come S. AVG, con mitra, pastorale e libro nelle mani), e San Liberato, Vescovo e Martire (si legge LIBER S AB, con abito monastico, palma del martirio e pastorale in mano, mentre la mitra è poggiata su un libro accanto). <sup>15</sup>

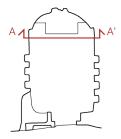
Accanto alla lacuna lasciata dalla rimozione del tabernacolo si riconoscono due volute,

<sup>13</sup> Sulla soglia della porta sono riconoscibili due croci incise: una croce di Lorena sullo spigolo destro e un Tau su quello sinistro. La croce di Lorena, o croce a doppie braccia, potrebbe far riferimento all'Ospedale Romano del Santo Spirito, anche ospizio per pellegrini. Giuseppe Maria Loreti (Lorett, 2002) riporta anche la presenza delle incisioni delle date giubilari 1300 e 1400. non rilevate però sulla soglia di ineresso alla cappella

<sup>14</sup> La zona è fortemente interessata da fenomeni di colonizzazione di muffe e muschi. È dunque difficile distinguere gli elementi interessati dalla patina formatasi

<sup>15</sup> Notoriamente San Liberato viene assunto come discepolo di Sant'Agostino, tradizionalmente assunto come fondatore dell'ordine Agostiniano. Dalla costituzione di tale ordine, organizzato dall'unione di numerose comunità eremitiche sotto la re-

probabilmente collegate alla composizione del tabernacolo ormai rimosso, mentre la parte bassa è decorata con cornici su mensole e specchiature. Si notano due scudi ai lati dell'altare. Sull'altare è dipinta una croce greca con fiamme.





[fig.3]
Rilievo del disegno sull'abside.

SEZIONE AA'

լ 1m

Nella parte alta della parete absidale, sulla destra, si nota una mano [fig.4], apparentemente aggiunta sopra lo strato pittorico, accostata a quella del crocefisso, appartenente a una figura ormai compromessa da un forte annerimento. La mano, a sostegno di quella del Cristo e della croce, sembra suggerire la composizione tipica del "trono di grazia", rappresentazione della Trinità in cui il crocefisso, sormontato dalla colomba dello Spirito Santo, è sorretto dalle mani Dio.







[fig.4]
La mano a destra sembra realizzata in seguito, applicando la pittura sullo strato sottostante (nella parte mancante si nota una porzione gialla della croce)

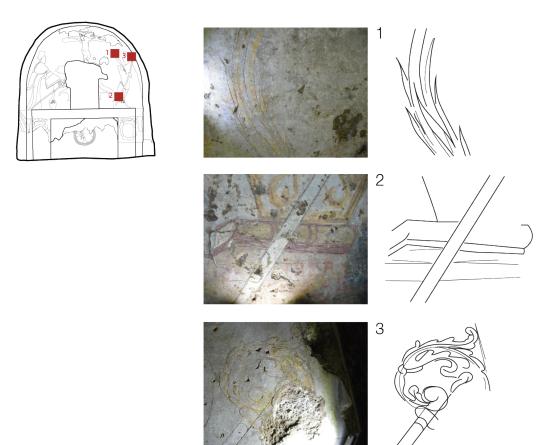
Il riconoscimento della tecnica di realizzazione della decorazione sulla superficie è ipo-

tizzato su alcuni elementi e tracce visibili soprattutto esaminando la parete con luce radente. Si riconoscono infatti alcune incisioni corrispondenti ai contorni degli elementi del disegno, forse necessari a riportare la composizione e contenere la distribuzione del colore sulla parete. È probabile che il colore sia stato steso a calce sullo strato di intonaco asciutto, mediante una scialbatura di latte di calce e successiva applicazione del colore, o mescolando le due componenti. Il graffito serviva dunque a trattenere il colore e impedire il mescolamento sui bordi (non tracciati da linee nere).

L'osservazione a luce radente ha permesso di individuare facilmente la presenza di incisioni sulla parte destra del disegno [fig.5] e sul crocefisso, sulla zona centrale si riconoscono dei contorni di nuvole, mentre appaiono meno profonde sulla figura di Sant'Agostino e sulla parte bassa.

Sull'altare, invece, i contorni del disegno appaiono più marcati e spessi e, in generale, i colori più intensi. Questo ha alimentato l'ipotesi che il rivestimento e il colore impiegato sull'altare sia diverso da quello della parete retrostante.

Riguardo le incisioni, se ne riconoscono di tue tipi: alcune più profonde, che rispettano i contorni del disegno e la gerarchia degli elementi, forse utilizzate per riportare la composizione sullo strato di rivestimento e realizzare dunque le coloriture; altre, in minor quantità, più leggere e sottili, utilizzate come riferimento per collocare le iscrizioni.



[fig.5]
Esempi delle incisioni sul disegno individuate sulla palma [1], il libro [2] e il pastorale [3] di San Liberato.

La probabile presenza del tabernacolo suggerisce che, dunque, la chiesa abbia vissuto un periodo in cui in essa venivano officiate le celebrazioni. Il fatto che intorno ad esso siano presenti due volute nel disegno lascia supporre che la decorazione a tema architettonico fosse contestuale e relativa alla presenza di un elemento centrale e, dunque, che le parti siano state progettate e realizzate nella stessa fase.

La presenza di malta e tufelli nella lacuna permette di ipotizzare che l'elemento rimosso fosse in muratura (di cui sarebbero rimasti solo gli ammorsamenti nella parete), e la lacuna più profonda superiore suggerisce la presenza di un elemento infisso direttamente nella roccia.

L'analisi dei documenti di archivio non ha fornito informazioni riguardo le fasi del manufatto, né riguardo possibili lavorazioni sull'abside o sull'altare.

Alcune indicazioni sul vano ipogeo si ritrovano in una relazione del 1637<sup>16</sup> redatta da Andrea Carone per il Cardinale Ludovico Colonna con lo scopo di descrivere le proprietà del Principe.<sup>17</sup>

Nella trascrizione si legge:

Vicino alla Terra di Zagarolo, per dar passo commodo a quella antica via, han tagliato doi colli, et abbassato la strada poco inferiore alla valle che sta tra l'uno et l'altro, et hanno fatto una stanza cavata a scarpello o a ponta di piccone nella propria pietra così a filo di essa via, per servizio di quelli che lavoravano.

E, come segno mutabile et fermo, ha servito per riporre tesori in tempo delle guerre, et di alcune zifare [segni cifrati di riconoscimento] in quelle spagliere del monte tagliato, dovevan dar segno del nascosto tesoro; et non molto tempo, che capitorno alcuni francesi in abito grave che spassegiorno et alloggiorno nella Terra, et poco di poi fu visto scannati in doi lochi di qua e di là della detta stantia, et non si videro più questi homini. Et circa 18 anni sono, essendo un tempo strano di diluvio di acqua, et poco distante di detto loco si allamò [franò] un pezzo di terra a quella ripa dove stava un vaso di terra cotta pieno di monete di argento antico, che essendo trovata dal vetturiere [postiglione] come fù spezzato il vaso le monete dovettero essere sparse, o nell'alba, fosse, o di notte, o pur sopraggiunto da gente che furno di Zagarolo, non ebbe il tempo di raccogliere il tutto et ne rimasero molte, quali furno riportate quello che parse al Duca Pietro Francesco Colonna, delle quali ne venne anco una nelle mani mie, et son con l'impronta et iscrittione di Adriano Imperatore di un Giulio di argento l'una e piccola forma. Chiamasi questo loco il terreno chiuso.

La camera ipogea sarebbe dunque stata utilizzata come ricovero per i lavoratori, forse come magazzino, nei pressi del quale sarebbero stati nascosti o rinvenuti tesori: gli scavi «di qua e di là della detta stantia» potrebbero riferirsi alle asportazioni visibili sulla parete di destra e sull'altare.<sup>18</sup>

L'accurata descrizione delle vicende riportata da Carone non contiene però alcuna informazione riguardo la parete absidale sul fondo della stanza, e non fornisce dunque informazioni utili riguardo l'impiego del vano come cappella.

L'analisi della cartografia prodotta sul territorio comunale, ridotta alle sole mappe del Catasto Gregoriano del 1819 e ai brogliardi dei catasti dello Stato Pontificio<sup>19</sup>, non mostra evidenze utili all'analisi del manufatto, se non la posizione della già citata Chiesa della Visitazione<sup>20</sup> e il tracciato della strada di attraversamento della valle.

La sovrapposizione con la cartografia attuale ha invece permesso di localizzare la posizione della Chiesa del Santo Spirito all'interno della mappa del Catasto Gregoriano. Secondo quanto osservato, il vano ipogeo è posto sotto un terreno agricolo di proprietà privata<sup>21</sup>, e il terreno da cui la cappella avrebbe accesso (n.93) appartiene al medesimo proprietario.<sup>22</sup>

Si nota, però, che la posizione della Cappella rupestre, benchè posta all'interno di un terreno privato, non è segnalata da alcuna annotazione nella mappa. Ciò sarebbe imputabile, nel caso la Chiesa del Santo Spirito non avesse obblighi di versamenti o fosse già abbandonata, alla

18 Quaranta, 2015

<sup>16</sup> Roma, Biblioteca Casanatense, DESCRITTIONE DEL TERRITORIO DI ZAGAROLO, COLONNA, GALLICANO E PASSERANO [...] e delle cose più notabili contenute in esso. FATTA PER ANDREA CARONE IN ZAGAROLO l'anno 1637, trascrizione a cura dell'Associazione Amici di Zagarolo. Il testo fa riferimento a una pianta mai pervenuta, ricostruita interpretando il testo in Scotoni, 1999

<sup>17</sup> Scotoni, 1999

<sup>19</sup> ASR, Catasti dello Stato Pontificio, Zagarolo, registri da 3179 a 3203

<sup>20</sup> ASR, Presidenza Generale del Censo, Catasto Gregoriano, Mappe e Broliardi, Comarca, mappa 150, Zagarolo, sezione 1-I, indicata sulla mappa con la lettera O. Al contrario, la Chiesa del Santo Spirito non viene segnalata.

<sup>21</sup> ASR, Presidenza Generale del Censo, Catasto Gregoriano, Mappe e Broliardi, Comarca, mappa 150, Zagarolo, brogliardi, f. 6v. La cappella rientra nel perimetro del terreno n.92, di proprietà di Del Cavalier Luigi ed Antonio quondam Domenico

<sup>22</sup> Va qui indicato che l'archivio notarile di Zagarolo precedente alla Repubblica Romana (occupazione francese) non si è conservato. Non si hanno dunque notizie sui proprietari e gli eventuali passaggi di proprietà registrati prima della preparazione del Catasto Gregoriano

mancata rilevanza ai fini amministrativi e fiscali del catasto.

Il fronte scolpito della cappella è riconoscibile in una fotografia delle sorelle Agnes e Dora Bulwer del 1890 [fig.6].<sup>23</sup> Nell'immagine si può meglio osservare la parete rocciosa su cui è stato scolpito il fronte, libera dalla vegetazione, la cui superficie sembra "regolarizzata" anche ai lati del tempietto. Si riconoscono inoltre tre scalini di accesso di fronte alla porta, oggi probabilmente collocati sotto il piano di calpestio della salita di ingresso alla cappella.



[fig.6]
Zagarolo (Italy), Church
excavated in a tufa bank
near Zagarolo station Agnes e Dora Bulwer
- 1890 (stampa fotografi-

Giuseppe Maria Loreti, nella sua opera manoscritta, riconosce nella cappella una delle poche permanenze del predio di Cesare, identificandola come tomba di età antica poi convertita in cappella cristiana. <sup>24</sup> L'identificazione del vano come tomba monumentale non è giustificata dall'autore, né vengono forniti altri dettagli sull'interpretazione del manufatto.

Tomassetti, descrivendo la strada di avvicinamento a Zagarolo, che si dirama dalla strada tra San Cesareo e Palestrina, definisce la Chiesa del Santo Spirito come una «cappelletta moderna, ora deserta, con porta a cornice rettilinea, pilastri e timpano, il tutto rilevato sulla roccia».<sup>25</sup>

La scarsità e l'ambiguità della documentazione sul manufatto non consente dunque di formulare alcuna ipotesi sull'origine della Chiesa e le relative vicissitudini.

<sup>23</sup> Roma, British School at Rome, Archivio Fotografico, Bulwer Collection, Bulwer(a).XI.54, Bulwer A., Bulwer D.E., Zagarolo (Italy), Church excavated in a tufa bank near Zagarolo station, stampa fotografica in bianco e nero, 19x24cm, 1890

<sup>24</sup> Loreti, 2002

<sup>25</sup> Tomassetti, 1913

# Bibliografia

Ashby T., Classical topography of the Roman campagna, in "Papers of the British School at Rome", vol.I, Macmillan & Co., London (UK), 1902

Tomassetti G., La campagna romana antica, medioevale e moderna., vol. III: Vie Cassia e Clodia, Flaminia e Tiberina, Labicana e Prenestina, Loescher & Co., Roma, 1913 (ed. aggiornata 1976)

KAFTAL G., Iconography of the Saints in central and southern italian schools of paintings, in Saints in italian art, vol. II, Sansoni, Firenze, 1965

Scotoni L., Lo Stato di Zagarolo secondo un inedito del 1637. Aspetti geografici ed economici, in Lazio tra antichità e Medioevo. Studi in memoria di Jean Coste, Mari Z., Petrara M. T., Sperandio M. (a cura di), Quasar, Roma, 1999

LORETI G.M., Brevi cenni su la storia di Zagarolo. Origini e periodo colonnese, opera manoscritta pubblicata da Provincia di Roma, Città di Zagarolo, Associazione Lauretana di Zagarolo, Roma, 2002

Mari Z., De Loof A., Fileri P., Torri C., Interventi di scavo e valorizzazione sulla Via Prenestina nei comuni di Gallicano nel Lazio e Zagarolo (Roma), in "Lazio e Sabina 8. Atti del convegno – Ottavo incontro di studi sul Lazio e la Sabina. Roma, 30-31 Marzo, 1 Aprile 2011", Ghini G., Mari Z. (a cura di), Soprintendenza per i beni archeologici del Lazio, Roma, 2012

FISCHETTI A.L., DEL FERRO S., La torre di S. Marina ad Ardea (Roma). Contesto topografico e analisi della struttura, in "Lazio e Sabina 9. Atti del convegno – Nono incontro di studi sul Lazio e la Sabina. Roma, 27-29 Marzo 2012", GHINI G., MARI Z. (a cura di), Soprintendenza per i beni archeologici del Lazio, Roma, 2013

Quaranta G., Chiese extraurbane e viabilità nella Zagarolo pre-novecentesca: note preliminari sul settore di Valle della Foresta, in "Atti della Terza giornata di studi in onore di Irene Lombardo", Zagarolo – Palazzo Rospigliosi, 12 Dicembre 2015

LIBERA R., Lo Speco di San Michele Arcangelo a Nemi, in "Archeologia Sotterranea", vol. XIII (2016), pp. 34-41

#### 3. CAMPIONAMENTO E INDAGINE SUL MANUFATTO

# 3.1. Campionamento

Il piano di campionamento sulla parete absidale è stato redatto sui risultati del rilievo e dell'osservazione dell'area di interesse, oltre che sull'ipotesi di verifica delle forme di degrado presenti.

I campioni sono stati differenziati in base alla zona di prelievo (intonaco absidale, altare e pareti laterali) con lo scopo di raccogliere in modo più efficace e diffuso le informazioni utili alla caratterizzazione della composizione delle malte di rivestimento nei diversi punti del manufatto e permettere, in alcuni casi, il confronto tra campioni apparentemente simili (per colore, per consistenza o per area di prelievo).

I campionamenti sono stati raccolti mediante le modalità riportate nelle raccomandazioni Normal di riferimento,<sup>1</sup> in particolare la Normale-2/80 "Archiviazione dei materiali lapidei. Schema di scheda" per la selezione delle informazioni riportate nelle schede di campionamento (alcune informazioni sono state omesse in relazione al manufatto o perché ripetitive) e la Normal-3/80 ("Materiali lapidei. Campionamento") per la redazione del piano di campionamento e la selezione delle modalità di intervento.

I campioni sono stati prelevati quindi con l'obbiettivo di:

- Analizzare la stratigrafia del rivestimento in relazione alla composizione del substrato, al numero degli strati e all'eventuale presenza di strati di protezione;
- Caratterizzare la composizione della malta di base e dell'intonaco di rivestimento rispetto al legante, l'aggregato e i pigmenti utilizzati per le coloriture;
- Individuare le tecniche di realizzazione dello strato di rivestimento;
- Verificare l'omogeneità dello strato di rivestimento o, eventualmente, individuarne le diverse fasi di realizzazione;
- Disporre di informazioni aggiuntive per la caratterizzazione del degrado e l'individuazione delle cause.

Sulla base del piano di campionamento sono state ipotizzate preventivamente delle analisi, in alcuni casi successivamente escluse a causa della consistenza dei campioni o dello stato di conservazione.

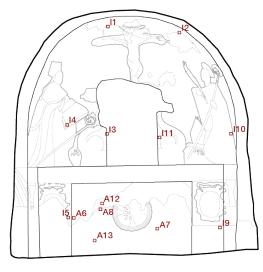
Il campionamento [fig.1] ha riguardato in particolare:

- 1. l'intonaco della parete absidale (I), per il prelievo dello strato pittorico e dei differenti colori, oltre che della malta di base:
- I1 e I2 sulla zona superiore, per l'indagine sul colore di fondo e gli annerimenti sulla calotta della volta;
- I3 (sui resti di intonaco del tabernacolo), I4, I11 e I10 nella fascia centrale, per l'identificazione dei colori e di eventuali strati di protezione;
- I5 e I9 nella fascia inferiore, a destra e sinistra dell'altare, per verificarne l'omogeneità con le porzioni di intonaco superiori, sia nella composizione che nei pigmenti;
- 2. il rivestimento dell'altare (A), per il confronto con l'intonaco della parete e l'osservazione dello strato di base, nell'ipotesi che appartenga a una diversa fase di realizzazione, sulla base delle differenze rilevate nel disegno:
- A6, A7, A8 e A13 sulle superfici verticali dell'altare, per l'analisi e il confronto dei pigmenti e eventuali strati di protezione;
- A12 sullo strato di supporto esposto dal dilavamento;
- 3. la malta della volta e delle pareti (P) in prossimità dell'ingresso, per la caratterizzazione delle componenti del rivestimento:

<sup>1</sup> CNR-ICR, Raccomandazioni Normal, Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-1/80, Normal-2/80 e Normal-3/80

- P14 sull'ultima nicchia della parete destra, in prossimità dell'accesso, per l'indagine sulla zona ingiallita della volta e l'eventuale presenza di film organici degradati (con conseguente produzione di ossalati o solfati in caso di reazione con agenti inquinanti);
- P15 sulla soglia della porta, per la caratterizzazione della malta rossastra sulle pareti.





[fig.1]
Piano di campionamento
- localizzazione dei tasselli prelevati dall'intonaco
absidale

I campioni sono stati prelevati con scalpellino e bisturi (dimensioni scalpello e lama 15mm ca.) incidendo lo strato di rivestimento e cercando di raggiungere lo stato più solido, oltre il quale la lama non sembra penetrare.<sup>2</sup>

I campioni ottenuti hanno dimensione variabile soprattutto a causa della diversa reazione dell'intonaco rispetto alle sollecitazioni del bisturi: in alcuni punti, lo strato appare più sottile e tenace (soprattutto nella parte alta della parete), mentre in alcuni punti dell'altare e della fascia inferiore della parete il materiale appariva più spesso e meno coeso, con fenomeni di sfarinamento sui bordi del taglio.

I campioni etichettati sono stati conservati all'interno di bustine portacampione e, successivamente, lavorati in base alle modalità di analisi previste.

CAMPIONI						
intonaco abside	A intonaco altare	P malta pareti	DIMENSIONI (mm)	NOTE		
1			16x15 (taglio)	intonaco sommità absidale (sottile, tenace)		
2			13x12	intonaco sommità absidale (sottile, alcuni strati pittorici sembrano aggiunti		
3			21x21	intonaco tabernacolo		
4			16x12 (taglio)	intonaco abside, analisi colori rosso / bianco		
5			31x20	strato di preparazione, analisi colore giallo		
	6		202x22	strato di preparazione altare (spessore meno uniforme)		
	7		21x23	intonaco altare, analisi colore rosso		
	8		24x29	zona interessata da patina		
9			31x29			
10			23x15 (taglio)	intonaco abside, analisi colore grigio		
11			20x22 (taglio)	intonaco abside, analisi colore giallo		
	12		-	substrato altare (apparentemente blocco di tufo)		
	13		20x24			
		14	13x18	malta sulle pareti del vano (tenace)		
		15	19x16	malta sulle pareti del vano (tenace)		

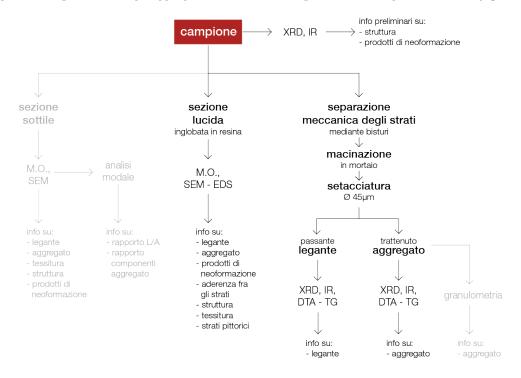
Tabella dei dati preliminari raccolti in fase di campionamento

<sup>2</sup> ICR, Corso sulla manutenzione dei Dipinti Murali - Mosaici - Stucchi, 1986

# 3.2. Caratterizzazione e analisi dei campioni

I campioni prelevati sono stati destinati a diverse analisi, in base alla consistenza e alle ipotesi emerse dal rilievo, allo scopo di raccogliere dati relativi a diversi aspetti (composizione, modalità di realizzazione, presenza di materiale organico, stato di conservazione) che possano fornire chiarimenti rispetto alle fasi di realizzazione del manufatto, in particolar modo della parete absidale.

Come già osservato, non è stato possibile eseguire tutte le analisi su tutti i campioni raccolti: in generale, i campioni contenenti lo strato pittorico sono stati destinati a analisi stratigrafica, sulla composizione e sullo stato di conservazione della superficie (presenza di sali, formazione di composti secondari dovuti alla reazione con agenti inquinanti); i campioni di substrato e malta di base sono stati utilizzati per caratterizzarne la composizione (tipo di legante, composizione degli aggregati, informazioni su porosimetria e granulometria)[fig.2].<sup>3</sup>



[fig.2]
Normal 27/88 - schema della sequenza analitica per la caratterizzazione di una malta, appllicata al caso studio.

In grigio le analisi previste e non effettuate sui campioni

L'incrocio dei dati ha poi fornito indicazioni riguardo le differenze di composizione e stesura degli strati di rivestimento tra le diverse porzioni della parete, e tra la parete e l'altare.

In alcuni casi, la separazione delle componenti della malta è stata necessaria per facilitare l'interpretazione delle analisi e il confronto tra i diversi campioni.

Per l'analisi dei campioni è stato necessario considerare in modo particolare le modalità di realizzazione e i materiali impiegati per le coloriture dello strato di rivestimento. Le analisi qualitative per l'identificazione dei pigmenti, oltre a chiarire i dubbi sull'interpretazione di alcuni spettri, hanno permesso di acquisire informazioni riguardo l'identificazione e la stratificazione di alcune fasi, e la formazione di composti secondari derivanti dall'interazione con l'ambiente (umidità, agenti inquinanti) e con il legante (incompatibilità con il medium).<sup>4</sup>

### 3.2.1. Diffrattometria ai Raggi X - XRD

L'analisi al diffrattometro<sup>5</sup> consiste principalmente nel rilevamento dell'intensità di un fa-

<sup>3</sup> CNR-ICR. Raccomandazioni Normal, *Caratterizzazione di una malt*a, Normal-27/88. La Normal fornisce uno schema della sequenza analitica per la caratterizzazione utile alla comprensione del processo di lavorazione e preparazione dei campioni.

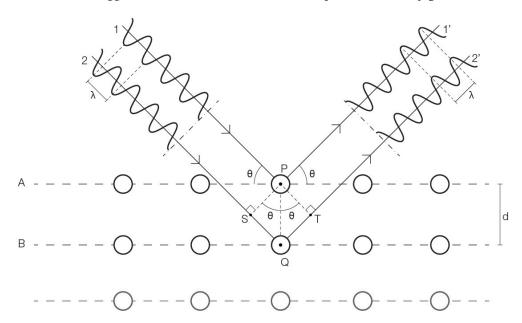
<sup>4</sup> Cagnana, 2000; Matteini, Moles, 1989. Nell'ipotesi che il colore sia steso a calce (sullo strato di intonaco asciutto mediante l'uso di latte di calce), l'alcalinità del medium comporta la degradazione dei pigmenti più sensibili

<sup>5</sup> Analisi eseguite con diffrattometro Panalytical X'PERT PRO, con range 5°-70° 20, step size 0.05°, time per step 5s, presso i laboratori del Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino. I composti sono stati riconosciuti dal software mediante il caricamento del database Powder Diffraction File 2000

scio monocromatico di radiazioni X diffratto dal campione.

Nei materiali cristallini, infatti, gli atomi sono disposti nello spazio secondo parametri geometrici, che permettono l'individuazione di una cella elementare ripetuta nelle tre direzioni dello spazio, a formare il reticolo cristallino caratteristico di ogni sostanza. All'interno del reticolo sono quindi riconoscibili dei piani, composti da filari complanari di atomi, la cui distanza d è misurabile nell'ordine di grandezza degli Angstrom ( $1\text{\AA} = 0,0001\mu$ ), la medesima con cui si misurano le lunghezze d'onda della radiazione X.

Ogni cella, in particolare, è caratterizzata dalla dimensione dei lati della cella e dagli angoli che i lati formano tra loro. Al suo interno, ogni piano cristallino si comporta come un piano di diffrazione dei raggi X, determinata dall'intervallo tra i piani successivi [fig.3].



[fig.3]

XRD - Schema della diffrazione

Quando un fascio monocromatico di una data lunghezza d'onda  $\lambda$  incide sulla superficie del cristallo, i raggi vengono diffratti: il massimo di riflessione si realizza ad un angolo  $\theta$  rispetto al piano se la differenza di cammino (SQ+QT) è uguale a un numero intero  $n\lambda$  di lunghezze d'onda. Le condizioni per la diffrazione sono espresse dall'equazione di Bragg, per cui:

$$n\lambda = dsen\theta + dsen\theta = 2 dsen\theta$$

All'aumentare dell'angolo  $\theta$  si troveranno una serie di posizioni per le quali si verificano i massimi di diffrazione, separati da regioni in cui i raggi non sono in fase e, dunque, si annullano. Su questa base è possibile elaborare uno spettro di diffrazione e calcolare, mediante l'equazione di Bragg, la distanza e gli angoli tra i piani reticolari, tipica per ogni materiale cristallino.

Il diffrattometro consente di determinare gli angoli ai quali si verificano i massimi di diffrazione.

Il campione viene alloggiato in posizione centrale su un contenitore rotante (sull'asse O, perpendicolare al disegno). La sorgente e il contatore che registra le informazioni sono ad esso complanari.

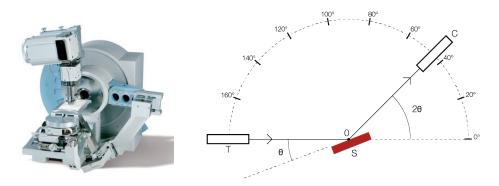
Dalla sorgente viene emesso un fascio di raggi X (prodotto scaldando un filamento metallico e accelerando il fascio di elettroni emesso in direzione di un anodo) che incide sul campione e viene rifratto verso il contatore. Il contenitore portacampione e il contatore ruotano in modo solidale: per ogni angolo  $\theta$  di rotazione del contenitore, il contatore ruota di  $2\theta$  (angolo di diffrazione) [fig.4]. I segnali sono poi elaborati in un diffrattogramma che traccia l'intensità dei raggi diffratti in funzione di  $2\theta$ .

L'intensità dei picchi rilevati viene elaborata in proporzione a quella del picco più alto (posto uguale a 100). In questo modo, è possibile identificare i composti analizzati confrontando i picchi dello spettro di risposta con i dati presenti in letteratura.

Lo spettro analizzato risulterà dunque composto dalla sovrapposizione degli spettri relativi ai composti rilevati dallo strumento, riconoscibili confrontando i segnali emessi dal campione con i pattern di diffrazione dei materiali ipotizzati o, eventualmente, riconosciuti dal software [fig.5].

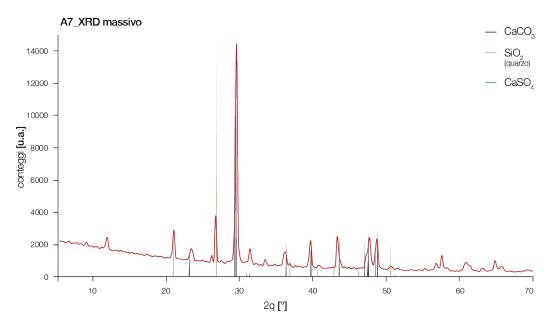
Le analisi XRD sono state utilizzate, in questo caso, sia per indagare la superficie dei campioni, sia per acquisire informazioni preliminari riguardo la composizione della malta.

Prima di frantumare il campione per l'analisi delle polveri, la superficie è stata regolarizzata (mediante un leggero sfregamento su carta vetrata fine) e analizzata al diffrattometro.



[fig.4] XRD - modello Panalytical X'PERT PRO (sinistra) e schema di funzionamento (destra)

L'obbiettivo dell'analisi preliminare è quello di identificare il medium di dispersione del pigmento e, nel caso siano emersi in superficie, i minerali che lo compongono: le principali caratteristiche dei pigmenti di origine inorganica risiedono infatti nell'insolubilità nel medium e nella loro stabilità chimica; questo, oltre alla possibile presenza di film protettivi (solitamente non rilevabili dall'XRD perché di origine organica e, dunque, amorfi), permette la conservazione del materiale e la sua rilevabilità dallo strumento. Le informazioni raccolte sono state poi confrontate con quelle rilevate dall'analisi stratigrafica al microscopio elettronico.



[fig.5] XRD - spettro di diffrazione eseguito sulla superficie del campione A7, confrontato con i pattern di diffrazione dei composti rilevati

Il campione presenta tracce di quarzo (SiO) e gesso (CaSO) sulla superficie, probabilmente prodotti di inquinamento dei pigmenti o di fenomeni di solfatazione dello strato superficiale.

Data la consistenza di alcuni campioni, non tutti sono stati sottoposti all'analisi superficiale: alcuni, infatti, presentavano una porzione troppo ridotta di strato superficiale rispetto alla malta di base (che avrebbe interferito nell'elaborazione del diffrattogramma), mentre per altri risultava impossibile regolarizzarne la superficie.

I risultati delle analisi sono stati poi confrontati per confermare o meno l'omogeneità nell'esecuzione dello strato pittorico superficiale.

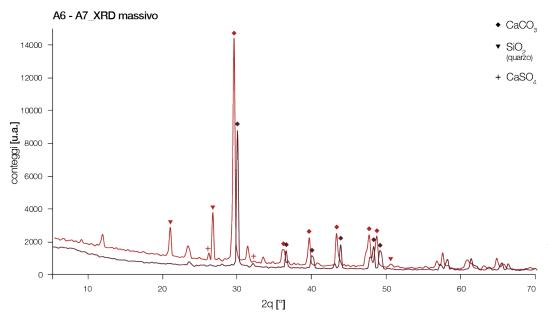
Dai campioni massivi sono dunque state raccolte informazioni relative unicamente allo

strato più superficiale, utili alla formulazione di ipotesi riguardo le tecniche di realizzazione.

Considerando inoltre che i dati riguardano lo strato più esterno e, dunque, più esposto all'aria e alle forme di degrado superficiale, le informazioni sono state utilizzate anche per l'identificazione delle cause e l'entità del degrado. Nell'interpretazione dei dati è stato quindi necessario individuare negli spettri di risposta [fig.6] i segnali derivanti dalla diffrazione dei composti prodotti dai fenomeni di degrado. Per la stessa ragione, sono stati esclusi dall'analisi XRD superficiale i campioni che presentavano patine organiche sopra lo strato esterno, poiché il materiale amorfo e non cristallino avrebbe compromesso la risposta del segnale.

Terminate le analisi superficiali, dai campioni è stata rimosso lo strato pittorico superficiale. La malta di preparazione è stata divisa nelle sue componenti, legante e aggregato, per frantumazione e setacciatura: il campione di legante comprende il materiale passante per un setaccio con fori  $\emptyset = 45\mu$ ; l'aggregato è stato ulteriormente setacciato in fori  $\emptyset = 1$ mm per facilitare la preparazione del campione, vista la necessità di realizzare una superficie piana, impossibile con dei grani di dimensione maggiore.

I composti sono stati riconosciuti principalmente mediante ipotesi sul legante (carbonatico) e attraverso l'identificazione automatica operata dal programma, soprattutto nel caso dell'aggregato: l'analisi dell'inerte è infatti più utile a riferire geograficamente la provenienza del materiale piuttosto che a identificare la sovrapposizione delle fasi di realizzazione.<sup>7</sup>



[fig.6] XRD - sovrapposizione degli spettri di diffrazione eseguiti sulla superficie dei campioni A6 e A7

Il confronto mostra la presenza di composti secondari (gesso) derivato da fenomeni di degrado nel campione A6, costituito da solo carbonato di calcio.

Nonostante si tratti di un'analisi principalmente qualitativa dei composti, va osservato che la tecnica non permette il riconoscimento di composti con concentrazione inferiore all'1%. Inoltre, altre considerazioni di tipo quantitativo possono essere proposte in base all'osservazione dell'intensità relativa dei picchi.

Anche in questo caso, i dati relativi a campioni simili o vicini tra loro sono stati confrontati per avere conferma dell'omogeneità del materiale utilizzato per la malta.

Come nel caso dell'analisi sui campioni massivi, la diffrattometria sulle componenti isolate della malta permette di acquisire ulteriori dati sul suo stato di conservazione e su eventuali fenomeni di degrado di natura chimica che possono aver compromesso la stabilità del materiale.

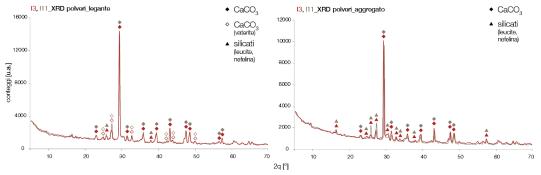
In seguito alle analisi massive, e viste le informazioni raccolte dal rilievo, sono stati selezionati in tutto sette campioni per le analisi XRD sulle polveri, con lo scopo di indagare le diverse porzioni della parete absidale e confrontarne gli spettri di risposta. In particolare, i campioni analizzati sono quelli prelevati nella zona centrale della parete (I3, I11) [fig.7], nella parte bassa ai lati dell'altare (I5, I9) e sulle superfici frontale e laterale dell'altare stesso (A6, A13); è stato inoltre analizzato il campione P15 prelevato sulla malta di rivestimento delle pareti e della

<sup>7</sup> Chiari, Santarelli, Torraca, 1992

volta a botte.

L'interpretazione degli spettri ha dovuto inoltre tener conto della presenza di composti estranei alla composizione del legante e dell'aggregato derivati dall'inquinamento reciproco tra le componenti isolate.

In questo caso, l'interpretazione del diffrattogramma ha fornito dati utili al confronto con le analisi stratigrafiche e termiche, per ottenere informazioni qualitative e quantitative riguar-do l'identificazione dei composti e la loro concentrazione.



[fig.7] XRD - esempi degli spettri di diffrazione eseguiti sulle componenti delle malte separate meccanicamente della coppia di campioni 13 - 111.

I risultati sulla caratterizzazione delle malte sono discussi nel capitolo 4.

# 3.2.2. Microscopia ottica – Sezioni lucide

Il microscopio ottico<sup>8</sup> consente una visione ingrandita del campione per evidenziarne la microstruttura. In particolare, nella microscopia per riflessione il campione viene investito da un fascio di luce riflesso da lenti e inviato all'oculare, mediante il quale è possibile avere visione dell'immagine.

Un secondo sistema di lenti permette di ottenere un'immagine virtuale ulteriormente ingrandita, che può essere acquisita da una macchina fotografica [fig.8].

Le immagini a basso ingrandimento (da 10x a 40x) risultano utili per un'acquisizione preliminare dell'immagine, da utilizzare come riferimento per indagini a ingrandimenti maggiori. Immagini a forte ingrandimento (da 150x a 500x) permettono l'analisi della microstruttura del campione. In questo caso, è necessario che il campione sia piano e quindi, nel caso sia necessario, trattato. Un ulteriore campo di ingrandimento (oltre i 600x) può essere utile per indagini puntuali nel caso si richiedano elevati gradi di definizione dell'immagine.

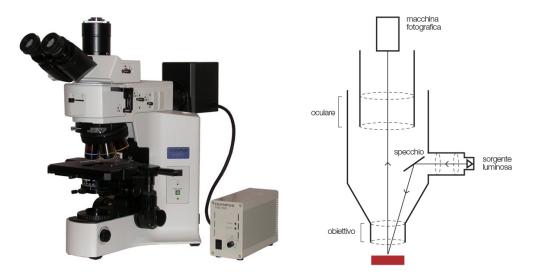
Per ottenere un campione spianato e dalla superficie regolare si ricorre all'inglobamento del materiale. In questo caso, dai campioni sono stati estratti dei frammenti localizzati nelle aree di indagine (strato pittorico e di rivestimento) che sono stati successivamente inglobati in resina poliestere: i frammenti dei campioni sono stati inseriti in pozzetti già riempiti per metà di resina poliestere indurita; dopo l'inserimento sono stati a loro volta inglobati con un secondo versamento di resina, in modo da assicurare l'aderenza su tutto il campione e tenerlo in posizione centrale rispetto al blocchetto.

L'inglobamento è dunque necessario per fornire supporto al materiale durante la fase di preparazione del campione, per evitare che si sfaldi e per permettere la regolarizzazione della superficie da indagare. Il blocchetto di resina viene infatti assottigliato su carta abrasiva (grana 180, mediante un piatto rotante). L'ultimo passaggio avviene su carta fine (grana 2400 e 4000, con l'ausilio di pasta di diamante spray policristallino), e serve a spianare e lucidare la superficie esposta.

I campioni ottenuti permettono l'osservazione sia alla luce visibile che l'indagine agli UV ( $\lambda$  compresa tra 100nm e 400nm ca.) mediante specifici filtri per verificare la fluorescenza dei composti, in particolare quelli organici, in grado di assorbire la radiazione ultravioletta e riemettere, oltre che parte degli UV, anche radiazioni nel campo del visibile. La fluorescenza è inoltre utile all'individuazione di strati protettivi organici (vernici, oli, materiale vinilico) e di

<sup>8</sup> Analisi eseguite con microscopio ottico Olympus BX-41, con sistema illuminante a fibre ottiche Optika Microscopes, lampada UV Olympus U-RFL-T, filter cube Olympus U-MWU (330-385 nm), presso i laboratori dell'Incubatore d'Imprese dell'Università di Torino

patine secondarie prodotte da fenomeni di colonizzazione e biodeterioramento.



[fig.8] Microscopio ottico - modello Olympus BX-41 (sinistra) e schema di funzionamento (destra)

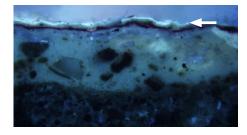
Il confronto tra l'immagine a luce visibile e quella agli ultravioletti consente inoltre la distinzione e localizzazione di strati che potrebbero indicare la sovrapposizione di fasi.

Le immagini prodotte al microscopio ottico sono utili innanzitutto alla valutazione dello spessore degli strati della malta di rivestimento, oltre che all'osservazione della loro omogeneità e distribuzione sulla superficie.

L'osservazione combinata alle immagini prodotte agli ultravioletti hanno meglio consentito di definire spessore e natura degli strati, e permesso di localizzare sul manufatto le zone di impiego di film organici protettivi e le aree di proliferazione delle patine biologiche, anche all'interno della sezione del campione.

I campioni analizzati sono generalmente omogenei riguardo numero e spessore degli strati; in alcuni casi però sono state rilevate tracce di film organici sulla superficie [fig.9] riconducibili o all'utilizzo di vernici protettive, o alla formazione di patine organiche secondarie derivanti dall'azione di biodeteriogeni.





[fig.9]
M.O. - confronto tra le immagini fotografate a luce visibile e con filtro UV di un frammento del campione A13 in sezione, inglobato nella resina

Il campione mostra un sottile film organico fluorescente agli UV sulla superficie.

200µm

Inoltre, in alcuni (I3, A7, I9, I11, A13) si riconosce del materiale polverulento depositato nel secondo strato sotto la superficie, l'intonachino [fig.10].

I campioni analizzati hanno fornito importanti informazioni riguardo il numero di strati di preparazione e rivestimento stesi sulla parete, e permesso di effettuare considerazioni circa la sovrapposizione di colori, l'aspetto dello strato di fondo e la dimensione e distribuzione degli inerti all'interno del campione prelevato.





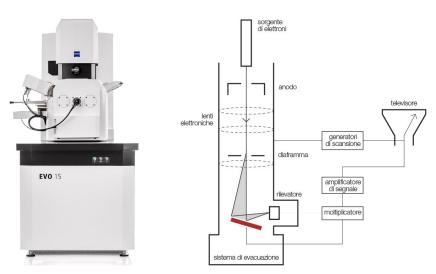
[fig.10] M.O. - particolato rilevato nello strato di intonachino dei campioni A6 e I9

200µm

# 3.2.3. Microscopia elettronica - SEM-EDX

Il microscopio elettronico<sup>9</sup> a scansione per riflessione (SEM) si basa sul medesimo principio della microscopia ottica, con la differenza che il campione viene investito da un fascio di elettroni invece che da un fascio di luce visibile. L'analisi SEM permette di ottenere un'immagine riflessa realistica, che richiama la forma tridimensionale del campione.

Il fascio di elettroni generato dal filamento di tungsteno all'interno della sorgente viene convogliato verso un anodo forato che provvede a accelerarlo. Un diaframma definisce l'apertura angolare del fascio (o pennello elettronico, focalizzato mediante tre lenti) sul campione [fig.11].



[fig.11]
Microscopio elettronico - modello XVP-SEM
ZEISS EVO50 (sinistra) e
schema di funzionamento
(destra)

L'impatto del fascio di elettroni genera dei segnali determinati dall'interazione tra il pennello e gli strati del materiale a diversa profondità [fig.12]. In particolare, vengono riemessi diversi tipi di elettroni dal campione:

- *Elettroni secondari*: a bassa energia, provengono dallo strato superficiale del campione (10nm ca.) e consentono di elaborarne un'immagine superficiale;
- Elettroni retrodiffusi: emessi dal campione con elevata energia da un volume di 1nm3 ca. intorno al punto di impatto. L'immagine prodotta permette di evidenziare la natura chimica delle microzone del campione. La riflessione degli elettroni retrodiffusi dipende dal numero atomico degli elementi investiti: quelli con più alto numero atomico riflettono maggiormente il fascio e, di conseguenza, appaiono più chiari nell'immagine:
- *Elettroni assorbiti*: possono essere utilizzati come segnale complementare a quello degli elettroni retrodiffusi;
- Raggi X: possono essere analizzati da uno spettrometro contenuto in una microsonda EDX. Ogni punto del campione può quindi essere rilevato come una sorgente puntuale di raggi X, con lunghezza d'onda caratteristica degli elementi interessati. Le informazioni ottenute vengono elaborate da un calcolatore, che le trasforma in un grafico in cui i picchi corrispondono agli elementi presenti (e alla loro concentrazione). Un secondo rilevatore consente di raccogliere i raggi emessi da ogni determinato elemento e elaborarne una mappa di distribuzione.

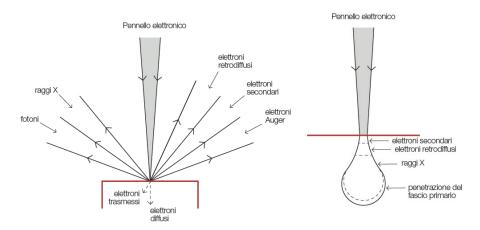
L'analisi al microscopio elettronico è stata eseguita sia sulla superficie di alcuni campioni che sulle sezioni stratigrafiche della quasi totalità di essi. In entrambi i casi è stato necessario separare un frammento dal campione originale per non comprometterlo completamente

Nel caso della scansione sulla superficie del campione (I11) non è stato necessario alterare

<sup>9</sup> Analisi eseguite con XVP-SEM ZEISS EVO50 operante con filamento in esaboruro di lantanio (LaB6), lavorando a pressione variabile, presso i laboratori dell'Incubatore d'Imprese dell'Università di Torino

il campione<sup>10</sup>. Ciò ha permesso di indagare la morfologia e la compattezza dello strato superficiale e l'omogeneità del medium di dispersione delle coloriture, in modo da confermare l'appartenenza dei campioni in esame a una fase specifica della realizzazione del manufatto.

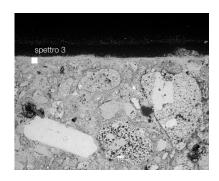
La scansione al microscopio elettronico delle sezioni stratigrafiche ha permesso innanzitutto di integrare le informazioni acquisite dalla microscopia ottica effettuata sulle stesse. L'immagine prodotta ha permesso di identificare diverse stratificazioni anche all'interno di strati apparentemente compatti o, al contrario, di verificare l'omogeneità riguardo la composizione di strati cromaticamente diversi all'analisi ottica.

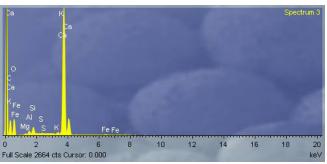


[fig.12]
Microscopia elettronica
- riflessione del pennello
[sinistra] e area di penetrazione [destra]

Sono state realizzate sia analisi puntuali, rivolte all'identificazione dei composti degli strati pittorici o di elementi anomali o inaspettati nella sezione, sia analisi di aree più ampie per quanto riguarda l'identificazione delle componenti della malta di preparazione.

La microscoppia elettronica ha permesso di raccogliere dati circa la composizione chimica degli strati precedentemente riconosciuti nelle immagini del microscopio ottico: va osservato però che, al contrario della diffrattometria ai Raggi X, la scansione al microscopio elettronico non fornisce informazioni circa i composti cristallini presenti nel campione, ma segnala solo gli elementi chimici che li costituiscono e la loro relativa concentrazione [fig.13]. Per l'interpretazione dei dati è stato dunque necessario confrontare le informazioni raccolte dalle diverse analisi.





[fig.13]
SEM - scansione e spettro
di risposta eseguiti sulla
sezione stratigrafica del
campione A6

1mm

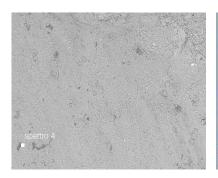
In questo caso, la presenza della resina ha costituito un forte fattore di inquinamento, sia nell'osservazione dell'immagine prodotta dalla riflessione degli elettroni retrodiffusi, in cui i vuoti del materiale sono riempiti dalla resina, sia nell'interpretazione del segnale che deve tener conto della presenza di tracce di inquinamento sul campione stesso.

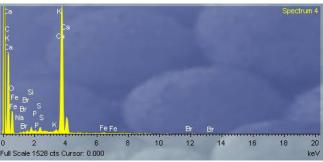
Nel caso del campione I11, infatti, è stato necessario eseguire una ulteriore scansione puntuale su una porzione del campione parzialmente intatto (a cui è sto rimosso solo in parte lo strato pittorico superficiale) per indagare la natura dell'intonachino e del materiale in esso

<sup>10</sup> Solitamente, la scansione al microscopio elettronico di campioni di materiali lapidei e ceramici viene eseguita metallizzando la superficie del campione per renderlo più conduttivo e reattivo al pennello elettronico. In questo caso, l'analisi sulla superficie di I11 è stata eseguita in un SEM a pressione variabile (low vacuum) che permette di caricare di ioni lo strato più esterno del campione mediante piccoli aumenti di pressione della camera

depositato [fig.14], che nelle sezioni stratigrafiche non era individuabile a causa delle tracce di resina sul campione inglobato.

Gli spettri di risposta sono poi stati confrontati con quelli prodotti dalle analisi XRD dei campioni massivi e polverizzati, per integrare le informazioni e facilitare l'interpretazione dei risultati.

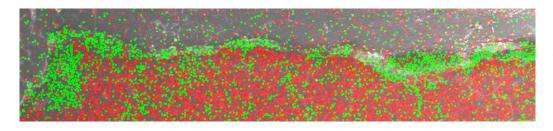




[fig.14]
SEM - scansione e spettro
di risposta eseguiti sulla
superficie del campione
II1

400µm

A seguito delle analisi, sono state acquisite delle mappe di distribuzione di elementi considerati rilevanti o anomali per la caratterizzazione dei campioni, utili soprattutto a interpretare alcuni fenomeni di degrado mediante il confronto con i risultati delle altre analisi eseguite [fig.15].



[fig.15]
SEM - mappatura del contenuto di zolfo (in verde) nella malta silicatica (in rosso) del campione P15.

250µm

# 3.2.4. Spettrometria infrarossa - FT-IR

La spettrometria infrarossa (IR) fornisce informazioni riguardo i gruppi funzionali presenti nella molecola, mediante l'elaborazione di segnali:

- ad alta frequenza (4000 cm-1 ≤ v ≤ 1300 cm-1), legati alla presenza di particolari gruppi funzionali, riconoscibili sempre alla stessa frequenza, indipendentemente dalla struttura della molecola;
- a bassa frequenza (1300 cm-1  $\leq v \leq$  400 cm-1), segnali di fingerprint caratteristici della struttura della molecola.

Quando il raggio IR investe la molecola, questa passa dallo stato fondamentale a uno stato vibrazionale eccitato, che determina l'assorbimento di energia.

Lo spettro di risposta viene ottenuto diagrammando l'intensità dell'assorbimento: sebbene sia riferito all'intera molecola, il diagramma è caratterizzato da picchi riferibili a gruppi funzionali specifici. Grazie ai valori caratteristici di assorbimento, è possibile quindi risalire alla struttura del materiale in esame.

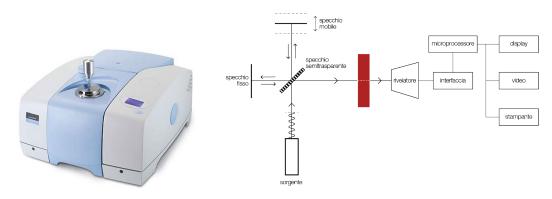
Le bande di assorbimento IR sono caratterizzate da alcuni parametri:

- Posizione: indicata con la sua  $\lambda_{max}$  (in  $\mu$ ) o in numero d'onda  $\nu$ max (in cm<sup>-1</sup>), dipende dalla rigidità dei legami e, dunque, dall'energia necessaria per introdurre e amplificare la vibrazione;
- Intensità: espressa dall'altezza del picco, richiama la transizione energetica dallo stato fondamentale a quello vibrazionale eccitato;
- Forma: i picchi possono presentarsi più stretti e netti (*sharp*, caratteristici dei gruppi funzionali) o più larghi (*broad*).

La maggior parte degli spettrometri<sup>11</sup> utilizzati lavora a dispersione: la radiazione continua emessa dalla sorgente viene divisa in due fasci di uguale intensità; uno viene utilizzato come riferimento, mentre l'altro viene indirizzato verso il campione e riflesso indietro. Le componenti della radiazione vengono analizzate da un rilevatore, nel quale avviene la scansione della radiazione monocromatica, che riceve in maniera alternata i due raggi [fig.16]. L'intensità del raggio di riferimento a seguito della variazione viene registrata come percentuale rispetto all'intensità dell'iniziale, e rappresenta la trasmittanza T% del campione; in uno spettro ad assorbimento si misura l'assorbanza del campione (A=-log<sub>10</sub>T) in relazione al numero d'onda v.

Nella spettrometria in trasformata di Fourier (FT-IR) l'assorbimento viene espresso non in funzione della frequenza ma del tempo, trasformando la radiazione in un interferogramma, poi tradotto in un normale spettro IR da un calcolatore mediante la trasformata di Fourier.

Il fascio IR viene diviso verso uno specchio fisso e uno mobile: i due raggi eseguono quindi un cammino ottico diverso, a causa del quale si creano delle interferenze nel segnale, proporzionale alla posizione dello specchio mobile (interferogramma).

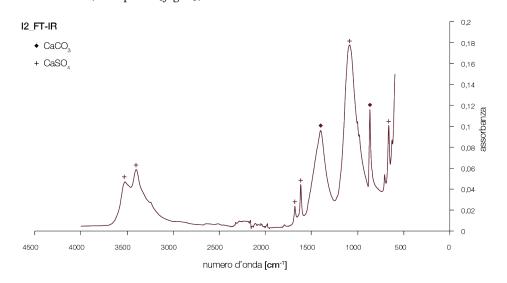


[fig.16]
Spettrometria infrarossa modello PERKIN-ELMER
Spectrum 100 FT-IR (sinistra) e schema di funzionamento (destra)

L'analisi FT-IR risulta particolarmente efficace nell'individuazione dei gruppi funzionali riconducibili a composti organici. Inoltre, i campioni non necessitano di eccessiva preparazione e lo spettrometro permette l'analisi della sola superficie a contatto con la l'occhiello della lente.

Per l'IR sono stati estratti dei frammenti dai campioni interi, in particolare quelli sospetti di contenere film protettivi di natura organica o affetti da colonizzazione biologica.

Il campione alloggiato sull'occhiello viene parzialmente o totalmente polverizzato a causa della compressione esercitata da un piccolo pistone. In questo modo, si ritrovano nello spettro di risposta anche gruppi riconducibili alle zone più interne del campione che si depositano con la frantumazione (esempio in [fig.17]).



[fig.17] FT-IR - interferogramma prodotta dall'analisi del campione I2

<sup>11</sup> Analisi eseguite con PERKIN-ELMER Spectrum 100 FT-IR, fornito di accessorio per riflettanza totale attenuata (ATR), presso i laboratori del Dipartimento di Chimica dell'Università di Torino

L'analisi IR è stata utilizzata sia per la caratterizzazione dei campioni esclusi dalla diffrattometria perché interessati da patina biologica che per il riconoscimento della natura degli strati di alcuni campioni che mostravano fluorescenza ai raggi UV. Anche in questo caso, gli interferogrammi sono stati confrontati tra loro per rilevare le differenze tra gli spettri di risposta e poter fornire maggiori informazioni circa le cause e l'estensione dei fenomeni di degrado.

I dati estratti dall'IR sono stati confrontati con le immagini ricavate dalla microscopia UV e gli spettri prodotti dalla diffrattometria superficiale dei campioni per risalire alla natura dei composti organici rilevati tra gli strati.

#### 3.2.5. Analisi termiche - DTA-TG

Le analisi termiche consentono di misurare le variazioni di una grandezza fisica di una sostanza in funzione della temperatura, sottoponendo il campione ad un ciclo termico controllato.

I parametri principalmente indagati riguardano calore (reazioni esotermiche e endotermiche), massa e dimensione.

L'analisi termica differenziale (DTA) consiste nell'osservazione e registrazione delle reazioni che avvengono sottoponendo il campione a un ciclo termico (disidratazione, decomposizione, ossidazione, transizioni di struttura cristallina, combustione di sostanze organiche, etc.).

La tecnica permette la registrazione delle reazioni esotermiche e endotermiche in funzione della differenza di temperatura  $\Delta T$  tra la sostanza in esame e una sostanza inerte di riferimento, entrambi sottoposti a un regime termico in un forno riscaldato a velocità costante: durante il riscaldamento, la temperatura del campione di riferimento aumenta in maniera proporzionale alla quantità di calore fornita dal forno; per la sostanza in esame, invece, ciò avviene solo finche non si verificano delle trasformazioni, che possono comportare assorbimento o cessione di calore. La temperatura del campione subisce quindi delle variazioni rispetto a quella di riferimento.

L'andamento della differenza  $\Delta T$  viene registrata in una curva, con andamento più o meno retto in funzione delle reazioni in corso: i picchi verso l'alto indicano una cessione di calore (reazione esotermica, come la cristallizzazione e la decomposizione in aria di sostanze organiche), mentre quelli verso il basso un assorbimento (reazione endotermica, come la disidratazione, la fusione e la decomposizione della maggior parte delle sostanze inorganiche).

La termogravimetria (TG) si basa sulla misurazione del peso del campione posto nel forno (riscaldato a velocità costante) in funzione della temperatura. Va considerato che la variazione del peso presa singolarmente non si presta a identificare le componenti interessate dalle trasfomazioni, ma va analizzata anche e soprattutto sulla base delle informazioni precedentemente raccolte sul campione.

L'apparecchiatura<sup>12</sup> è costituita da un forno con programmatore di temperatura, un registratore e una bilancia elettronica altamente sensibile. Insieme alle trasformazioni, nel campione si verificano delle variazioni di peso dovute ai processi di t rasformazione che si verificano nel campione.

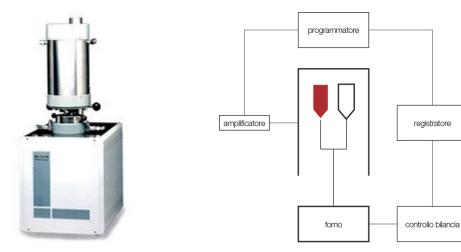
Il segnale inviato dalla bilancia, opportunamente convertito e amplificato, viene registrato contemporaneamente a quello di una termocoppia posta a contatto con il campione.

Registrando il peso del campione in funzione della temperatura, si ottiene una curva a gradini dalla quale possono essere valutate le variazioni di peso del campione [fig.18].

L'analisi termica differenziale e la termogravimetria, nonostante forniscano informazioni principalmente quantitative, possono essere combinate per il riconoscimento di trasformazioni tipiche e ricorrenti dei componenti noti in letteratura.

Le tecniche termoanalitiche presentano il vantaggio di utilizzare minime quantità di campione (ca. 150mg), ma a seguito dell'analisi il campione decomposto non è più utilizzabile.

<sup>12</sup> Analisi eseguite con analizzatore termico Netzsch STA 409, ciclo termico da 5°C a 1000°C, aumento di 5°C al minuto, presso i laboratori del Dipartimento di Scienza Applicata e Tecnologia del Politecnico di Torino

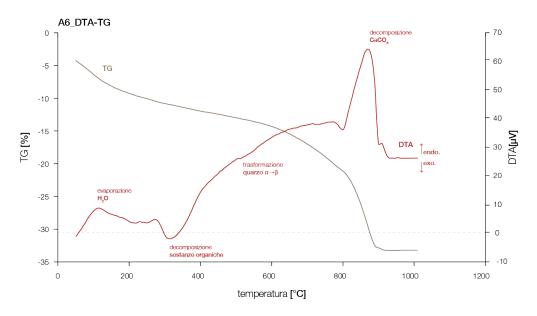


[fig.18] DTA-TG - Modello Netzsch STA 409 (sinistra) e schema di funzionamento (destra)

L'analisi DTA-TG è stata eseguita, come ultima analisi, unicamente sui campioni di legante preventivamente polverizzato per la diffrattometria sulle componenti delle malte. I campioni sosno stati sopposti a un ciclo termico controllato fino a 1075°C con aumento di temperatura di 10°C/min. Come riferimento è stato utilizzato un campione di polvere di allumina.

Le informazioni sugli inerti non sono state raccolte perchè, come nel caso dell'XRD, non servono a caratterizzare la malta ma a fornire unicamente indicazioni riguardo la presenza di composti da giacimenti di rocce locali.

L'abbinamento dei grafici DTA e TG (in alcuni casi utilizzando anche la derivata della curva TG in funzione della temperatura) ha permesso di correlare i fenomeni termici registrati alla perdita di peso del campione e, dunque, poter quantificare in parte la concentrazione dei suddetti composti [fig.19].



[fig.19]
DTA-TG - grafico prodotto dall'analisi del legante del campione A6 (0,1483g)

Il grafico prodotto dalla termogravimetria è stato interpretato mediante il confronto con i dati sperimentali presenti in letteratura, individuando la natura dei segnali e le relative temperature di trasformazione dei composti.

Le curve di risposta sono quindi state confrontate con lo spettro prodotto dal diffrattometro per avere conferma della natura della malta e della composizione del legante.

# Bibliografia

ICR, Tecnica delle Sezioni Stratigrafiche, in "Corso sulla manutenzione dei Dipinti Murali - Mosaici - Stucchi", parte I, modulo 4, Istituto Centrale per il Restauro, Roma, 1986 (prima edizione 1978)

Matteini M., Moles A., La chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica, Nardini Editore, Firenze, 1989

Chiari G., Santarelli M.L., Torraca G., Caratterizzazione delle malte antiche mediante l'analisi di campioni non frazionati, in "Materiali e Strutture", 1992, III, pp. 111-137

Cagnana A., Archeologia dei materiali da costruzione, Manuali per l'archeologia, vol. I, Società Archeologica Padana, Mantova, 2000

CNR-ICR, Raccomandazioni Normal. Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-1/80, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: Lessico; Normal-2/80, Archiviazione dei materiali lapidei: Schema di scheda; Normal-3/80, Materiali lapidei: Campionamento; Normal 27/88, Caratterizzazione di una malta

## 4. RISULTATI E CONCLUSIONI

## 4.1. Discussione dei risultati

I risultati di seguito riportati sono estratti dall'interpretazione degli output e dei grafici prodotti dai software per la gestione dei dati delle anilisi, e dal confronto con i dati sperimentali presenti in letteratura. In particolare, la lettura dei dati proposti dai software è stata guidata soprattutto dal rilievo e dall'analisi preliminare delle forme di degrado, per escludere il riconoscimento di composti estranei sia alla zona geografica di riferimento che ai possibili materiali utilizzati nel manufatto.

		ANALISI				
		XRD		M.O. +	FT-IR	DTA-TG leganti
		superfici	polveri	SEM-EDX	1 1-111	DIA-TO legarii
CAMPIONI	l1				•	
	12			● + map	•	
	13	•	•	•		-> <b>●</b>
	14	•		•		I I
	15	•	•	•		• < ¬
	A6	•	•	•		• <- - ¬
	A7	•		•		
	A8				•	
	19		•	•	•	• < -
	l10	•		•		
	l11	•	•	◆ + superficie		->•
A12 utilizzato per p		per prove su grar	nulometria			
	A13	•	•	•		• < 1
	P14		ri	sultato inutilizzab	ile	
	P15		•	● + map	•	•

Tabella riassuntiva delle analisi eseguite sui cam-

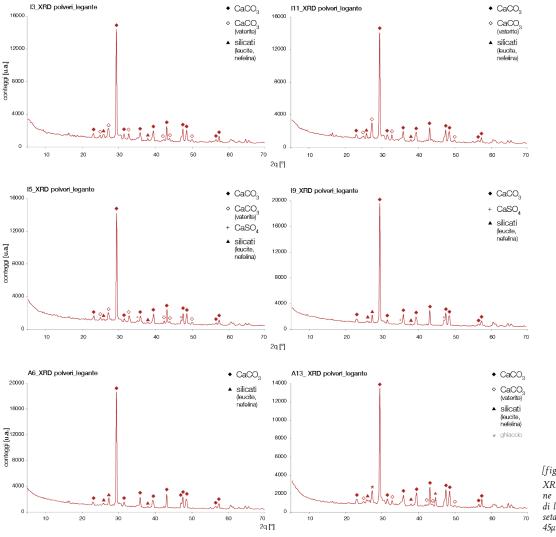
## 4.1.1. Malta carbonatica

In generale, la malta stesa sulla parete absidale consiste in una malta di calce aerea a base carbonatica (CaCO<sub>3</sub>). La presenza di carbonato di calcio, in alcuni casi combinato con altri elementi, è rilevabile in tutti i campioni della parete absidale (I) e dell'altare (A).

Le considerazioni sulla caratterizzazione della malta tengono conto principalmente delle analisi stratigrafiche, della diffrattometria sui componenti separati meccanicamente e delle analisi termiche eseguite sui campioni di legante: gli spettri ottenuti, confrontati con il materiale e i database presenti in letteratura, confermano la composizione a base di calce (rilevabile sottoforma di calcite o vaterite – CaCO<sub>3</sub> in cristalli esagonali) e inerti derivati dalla frantumazione di rocce locali. Negli spettri degli aggregati sono infatti riconoscibili minerali tipici della regione vulcanica locale: rocce effusive ad alto contenuto di potassio, con limitato contenuto di silicati (leucite, nefelina, phillipsite) corrispondenti alle colate costitutive del territorio di

## Zagarolo.1

Il confronto tra i risultati delle analisi XRD e DTA-TG ottenuti dalle coppie di campioni I3-I11, I5-I9 e A6-A13 risultano sovrapponibili e confermano l'omogeneità della composizione della malta su tutta la parete dell'abside e sull'altare: i diffrattogrammi prodotti dai campioni di legante mostrano segnali caratteristici della presenza di carbonato di calcio e vaterite (cristalli di CaCO<sub>3</sub> in forma esagonale) e delle relative trasformazioni durante il processo termico [figg. 1a, 1b]. Il campione I9 mostra anche tracce di dolomite (MgCO<sub>3</sub>) rilevabili nel grafico della termogravimetria. In base ai dati semiquantitativi rilevabili dal grafico TG, il contenuto medio di carbonato di calcio contenuto nei campioni è circa il 33%.<sup>2</sup>



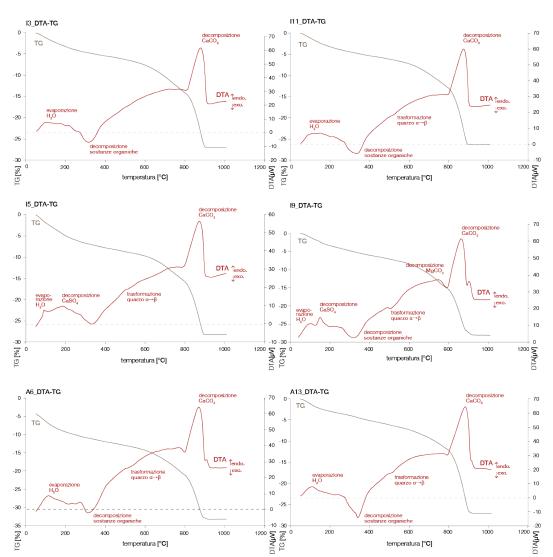
[fig.1a] XRD - spettri di diffrazione eseguiti sui campioni di legante separati tramite setacciatura (passante in O 45µm)

Le sezioni stratigrafiche hanno presentato risultati generalmente omogenei riguardo il numero e la consistenza degli strati. Dai campioni prelevati penetrando con il bisturi all'interno del rivestimento, nonostante non sia possibile affermare se vi siano altri strati oltre quelli prelevati (per i quali sarebbe stato necessario un microcarotaggio) emergono tre soli strati [fig.2]:

1. uno strato di malta poco raffinata (*arriccio*), di colore grigio, con inerti disomogenei e spessore maggiore, utile all'adesione sulla roccia e con lo strato successivo. Dai

<sup>1</sup> Bakos et all., 1994

<sup>2</sup> Gunasekaran, Anbalagan, 2007. Il calcolo sommario è stato effettuato sulla perdita di massa rilevata nella curva TG in corrispondenza del segnale endotermico di decomposizione del CaCO<sub>3</sub>. La perdita di massa in percentuale è stata poi proporzionata alla normale perdita di massa del carbonato di calcio (circa il 44% in relazione al picco endotermico rilevabile intorno agli 800°C)

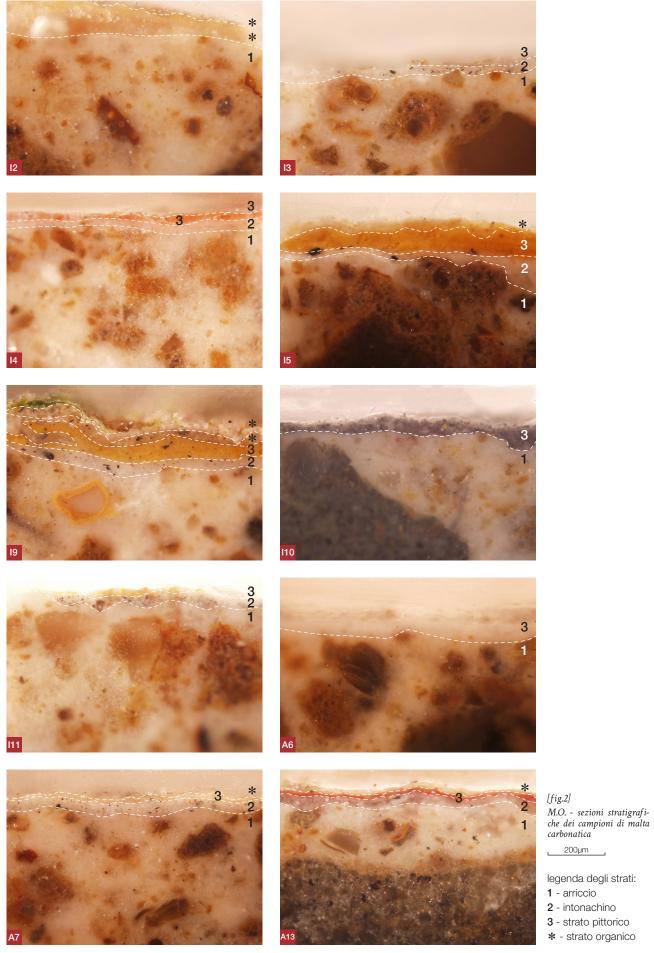


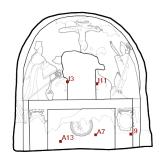
[fig.1b]
DTA-TG - grafici prodotti
dall'analisi dei campioni
di legante separati tramite
setacciatura (passante in O
45um)

campioni prelevati, o spessore non è misurabile: nei campioni I1, I2 (nella parte alta della parete) e I4, il tassello estratto conserva solo uno strato sottile di arriccio; negli altri non è possibile considerare se lo strato di arriccio ne rispecchi l'intero spessore. Lo strato di arriccio tende a disgregarsi durante il maneggiamento e perdere porzioni inerti. Trattandosi di uno strato di supporto, quindi esteticamente poco rilevante, il colore più scuro potrebbe volontariamente derivare dalla mancata selezione delle rocce calcaree;

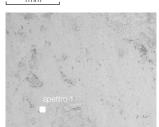
2. uno strato più sottile di malta più omogenea, quasi completamente priva di inerti (o comunque con aggregati fini) e di colore chiaro, identificabile con lo strato di *intonachino* tradizionalmente posto sotto lo strato pittorico e utile sia per regolarizzare la superficie, sia per fornire una base bianca per il disegno e la stesura del colore. Nei campioni I3, I11³ (porzione centrale dell'abside), I9, A7 e A13 [figg. 3a, 3b] si è riconosciuto, mediante l'osservazione delle sezioni stratigrafiche, la presenza di particolato nero depositato in questo strato: esclusa l'ipotesi che si tratti di un pigmento per scurire lo strato sotto la pittura, nel cui caso sarebbe stato rinvenuto anche in altri campioni vicini a quelli citati, si può supporre che si tratti di particolato e polvere depositati sullo strato di intonachino prima della stesura dei colori. In questo caso, avrebbe senso an-

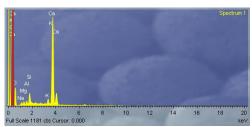
<sup>3</sup> Durante la preparazione del campione I11, una porzione dello strato contenente il particolato (riconosciuto perché più scuro) è emersa rimuovendo lo strato giallo superiore per l'analisi XRD. È quindi stata effettuata una seconda scansione SEM sulla superficie orizzontale del campione, dalla quale è emerso che le particelle contenute nello strato di intonachino sono costituite principalmente da C (alta concentrazione rilevata nel grafico in [fig.] nel paragrafo 3.2.3.











[fig.3a]
SEM - scansione delle particelle carboniose rilevate sulla superficie del campione II1 (zona grigia).
In rosso il picco relativo all'alta concentrazione di Crilevata











[fig.3b] M.O. - sezioni stratigrafi-che dei campioni di malta carbonatica

Dettaglio degli strati di intonachino in cui è stato rilevato il particolato car-bonioso

80µm

che pensare che il colore sia stato steso a calce, e quindi successivamente alla parziale asciugatura dello strato di intonachino;

3. uno strato pittorico superficiale (assente nei campioni bianchi in cui l'intonachino costituisce l'ultimo strato di finitura) composto dalla miscela di un medium di matrice carbonatica e il pigmento. Come già proposto, il medium utilizzato potrebbe essere costituito da latte di calce (idrossido di calcio, Ca(OH)<sub>2</sub>), una sospensione di particelle carbonatiche in acqua, che asciugando all'aria subisce un processo di carbonatazione identico a quello delle malte di calce aerea, con formazione di

$$CaCO_3$$
.  $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O_3$ 

Per questo motivo, nelle sezioni stratigrafiche analizzate al SEM lo strato pittorico risulta uguale alla malta carbonatica sottostante, nonostante contenga il pigmento in esso disperso.

Ulteriori strati organici sono stati riconosciuti dall'osservazione agli UV e dagli spettri FT-IR.

In particolare, i campioni I5, I9, A7, A13 mostrano evidenze alla microscopia ottica: in tutti i campioni è presente uno strato superficiale fluorescente [fig.4a], spesso apparentemente omogeneo con lo strato pittorico; a questi si aggiungono i campioni I1 e A8 [fig.4b] che presentano nello spettro IR segnali tipici dei materiali proteici, in questo caso interpretabili come colle o vernici protettive.

I campioni interessati dalla presenza di film organici protettivi si concentrano nella zona dell'altare e ai lati di questo. Ciò potrebbe spiegare la diversa resa cromatica che aveva condotto all'ipotesi di una fase successiva rispetto alla parete absidale. La malta e la composizione dei pigmenti sembrano infatti omogenei tra le diverse aree e, nonostante non si abbiano dati sufficienti a confermare o meno le ipotesi sulle fasi del manufatto, la presenza di film organici risulta l'unica differenza rilevata nella stratigrafia e nella composizione degli intonaci in esame.

# 4.1.2. Malta pozzolanica

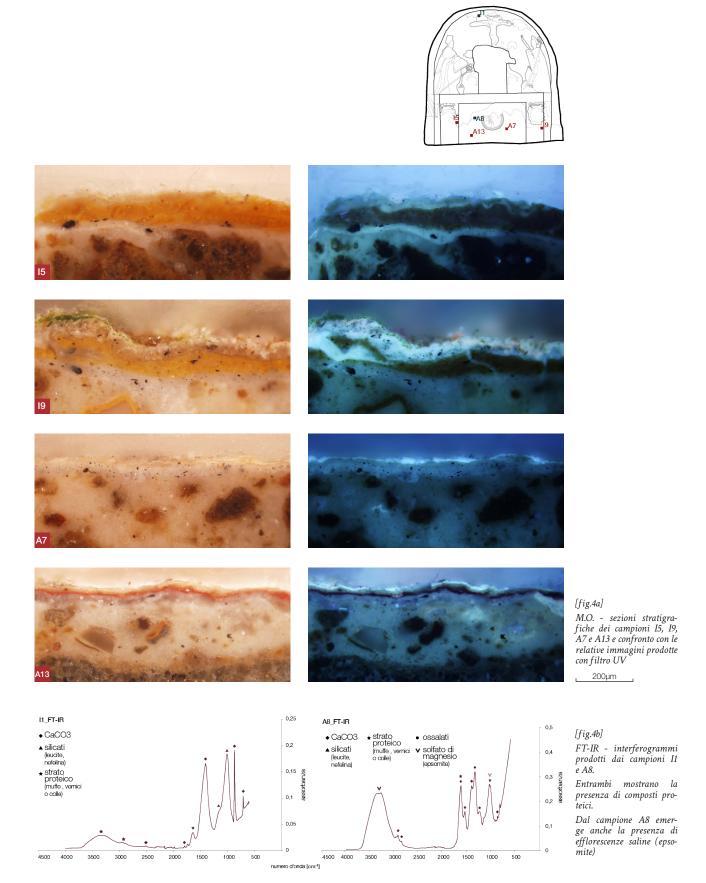
Il campione P15 prelevato dalla volta della camera appare composto da una malta rossa, probabilmente di origine pozzolanica. Le pozzolane albane sono principalmente costituite da deiezioni vulcaniche e tufi granulari o incoerenti, inclusi in una massa amorfa di natura leucitica. Dalle indagini sul legante, infatti, emergono segnali caratteristici della presenza di minerali di origine vulcanica: oltre a leucite e nefelina, riconosciuti nell'aggregato di tutti i campioni in cui è stata eseguita la separazione meccanica delle componenti, nel campione P15 gli spettri XRD e FT-IR [figg.5a, 5b] hanno rilevato la presenza phillipsite, una zeolite derivante dall'alterazione della massa amorfa (phillipsite-K, (K,Na,Ca) $_1$ -2(Si,Al) $_8O_{16} \cdot 6(H_2O)$ , tipica delle rocce magmatiche potassiche e ultrapotassiche albane).

Tali rocce, ricche di silicati e alluminati attivi, possono essere utilizzate nel legante della malta insieme a una ridotta componente di calce (solitamente grassello derivato dallo spegnimento di calce viva:  $CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ ), La reazione tra la calce e gli additivi provoca dunque la formazione di silicati e alluminati di calcio idrati (C-A-S-H) e dei relativi composti amorfi<sup>4</sup>, e permette la formazione di malte più resistenti all'umidità e praticamente idrauliche. L'attività pozzolanica può essere dunque espressa mediante le reazioni che intercorrono tra le componenti attive della pozzolana, la calce idrata e l'acqua:

$$Ca(OH)_{2} + H_{2}O + SiO_{2},Al_{2}O_{3} \rightarrow (C-S-H) + (C-A-H);$$

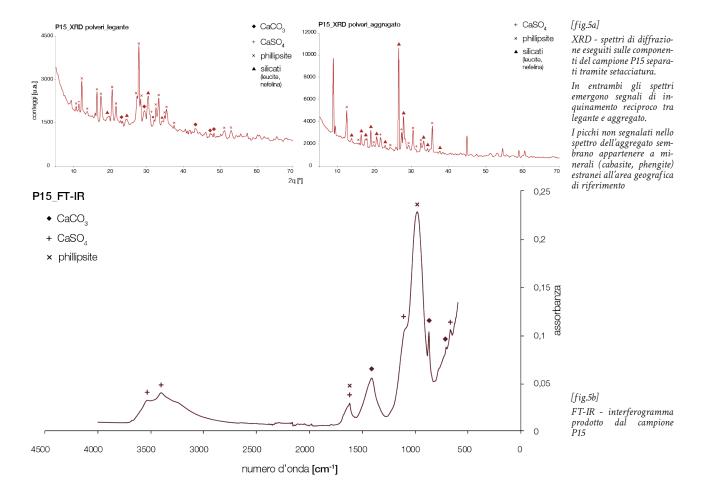
<sup>4</sup> Jackson et all., 2017

<sup>5</sup> Cagnana, 2000



da cui dipendono i parametri di diminuzione di calce libera (cioè non partecipe alla formazione di silicati e alluminati idrati) e velocità di combinazione.<sup>6</sup>

6 SALA, 2008



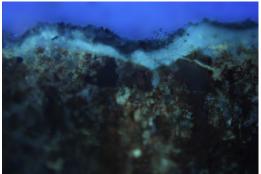
La sezione stratigrafiche del campione P15 [figg.6a, 6b, 6c] mostra una malta omogenea e compatta, con pochi inerti visibili inglobati al suo interno.

Mediante la comparazione con le immagini agli UV e gli spettri di risposta della microscopia elettronica, è stato possibile individuare all'interno dello spessore visivamente omogeneo diversi strati:

- 1. uno strato di base confrontabile con l'arriccio, compatto e con inerti grossolani, probabilmente utile alla regolarizzazione della superficie della volta. Il colore rosso appare più scuro nella porzione vicina alla superficie (fino a circa 40μm di profondità), nonostante il SEM mostri una stratigrafia compatta. La differenza di colore è dunque imputabile a forme di degrado superficiali che possono aver compromesso la consistenza dello strato di supporto. L'analisi della sezione al SEM, gli spettri XRD e FT-IR e i grafici estratti dalle analisi termiche [fig.7] appaiono differenti da quelli prodotti dai campioni della parete absidale e confermano la natura silicatica della malta<sup>7</sup>: nonostante alcuni picchi relativi a una bassa concentrazione di CaCO<sub>3</sub> (comunque necessaria per la formazione dei C-A-S-H), tutti i dati rilevano la presenza di phillipsite e dei relativi composti nella malta, suggerendo l'ipotesi già prevedibile riguardo l'impiego di materiale locale, forse addirittura proveniente dallo sfruttamento del medesimo banco di roccia della cappella (Colle Villa Palazzola della Noce), per la produzione della malta di rivestimento e regolarizzazione della volta;
- 2. uno strato fluorescente agli ultravioletti, di colore chiaro e traslucido, apparentemente simile allo strato superficiale nelle fotografie estratte dal microscopio ottico. A un'osservazione più approfondita, lo strato appare più compatto, anche se non si nota un'interfaccia ben definita con lo strato superiore, come invece avviene nell'immagine prodotta agli ultravioletti. In questo strato non si nota la presenza di inerti, ed è quindi assumibile come strato di finitura. Il fatto che lo strato fluorescente (normalmente im-

Moropoulou et all., 2004



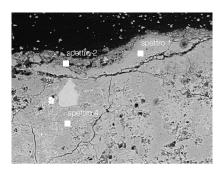


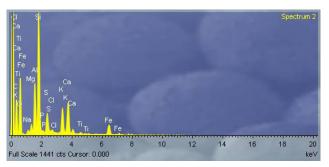
[fig.6a] M.O. - sezioni stratigrafiche dei campioni di malta carbonatica

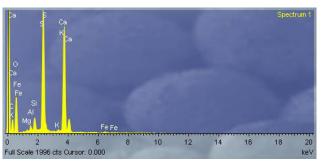
200µm

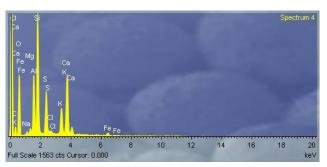
legenda degli strati:

- 1 malta di base
- 2 strato fluorescente
- 3 strato superficiale









[fig.6b]

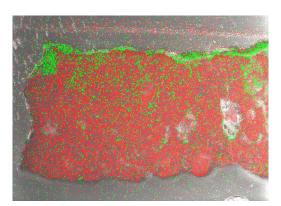
SEM - scansioni eseguite sugli strati del campione P15

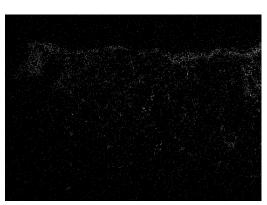
In particolare, lo spettro 2 è stato eseguito sullo strato superficiale; lo spettro 1 sullo strato intermedio fluorescente; lo spettro 4 sulla malta di base.

Gli spettri 2 e 4 risultano simili e mostrano entrambi un contenuto anomalo di Cl e Na

Lo spettro 1 mostra un contenuto confrontabile di S e Ca, indice della presenza di gesso (CaSO<sub>2</sub>)

200µm





[fig.6c]

SEM - mappature eseguite sulla sezione stratigrafica del campione P15

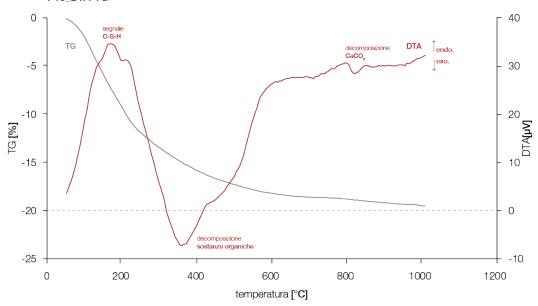
A sinistra, mappatura della concentrazione di S (in verde, isolata nell'immagine a destra) e Si (in rosso) come componente principale della malta

500µm

putabile a vernici organiche protettive) sia collocato sotto lo strato superficiale lascia supporre che uno dei due strati sia il prodotto secondario di un'alterazione dovuta a fenomeni di degrado che interessano la calotta della volta. Lo spessore costante dello strato suggerisce che lo strato fluorescente agli UV sia uno strato volontariamente steso sulla malta di regolarizzazione della superficie;

3. uno strato superficiale meno compatto del precedente, traslucido in sezione e in cui si nota del particolato inglobato all'interno. Lo strato non appare fluorescente alla luce UV ma, al contrario del precedente, è di spessore disomogeneo sulla superficie del campione. La stratigrafia, dunque, suggerisce che si tratti di una patina secondaria prodotta dall'alterazione e dal degrado dello strato sottostante. Sull'ultimo strato si riconoscono infatti delle porzioni interessate da macchie e patine ingiallite. Inoltre, su tale strato è stata eseguita la lavorazione a gradina, che lascia supporre la presenza di un ulteriore strato di finitura, o comunque la volontà di porne in opera un altro.





[fig.7]
DTA-TG - grafico prodotto dall'analisi del legante
del campione P15 separato
tramite setacciatura (passante in 0 45µm)

Non avendo trovato confronto in letteratura con i dati relativi alle trasformazioni della phillipsite durante il processo termico non è stato possibile indicarne i segnali sul grafico. L'ipotesi è dunque formulata sulla base delle altre indagini eseguite in precedenza sul legante

La scansione elettronica eseguita sul campione ha confermato, come già indicato, la natura silicatica del legante e, inoltre, ha rilevato la presenza anomala di cloro e zolfo all'interno del campione, a sostegno dell'ipotesi che gli strati superficiali siano oggetto di fenomeni di degrado.

Non è chiaro perché l'abside e la volta a botte siano state intonacate con malte di origine e composizione così diversa. Va segnalato che, nonostante non si ha certezza dello spessore totale degli strati stesi per l'intonaco dell'abside, dall'osservazione delle aree prive di intonaco a causa del distacco di materiale (sull'altare e ai lati di questo) non emergono altri strati sottostanti la malta carbonatica, ma solo la roccia del banco di tufo. Dato il trattamento a gradina eseguito sulla malta della volta a botte, è dunque possibile che fosse previsto un ulteriore strato, forse per rendere il rivestimento omogeneo a quello della parete di fondo. L'ipotesi non trova però conferma nel fatto che la malta pozzolanica è stata stesa da una quota

## 4.1.3. Pigmenti e colori

Lo strato pittorico superficiale risulta, come già indicato, costituito da un medium carbonatico trasparente, necessario a fissare e stendere il pigmento sulla superficie, e il pigmento stesso.

I diversi pigmenti utilizzati sono stati riconosciuti mediante il confronto delle analisi XRD sui campioni massivi con le immagini prodotte dalla microscopia ottica e i dati SEM sulle sezioni stratigrafiche dei campioni.

L'utilizzo di un medium di dispersione carbonatico per i pigmenti lascia supporre che si-

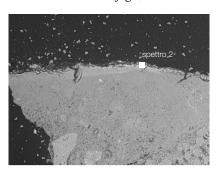
ano stati utilizzati principalmente minorali inorganici (terre e ocre con contenuto variabile di ferro), che si caratterizzano per le la loro insolubilità nel medium e per la loro stabilità e inerzia chimica, e si rendono adatti soprattutto in presenza di un medium alcalino che, come in questo caso, potrebbe compromettere la struttura e la resa di pigmenti meno stabili. Inoltre, la presenza rilevata di quarzo (SiO<sub>2</sub>) sulla superficie dei pigmenti potrebbe essere ascrivibile al suo normale contenuto nelle terre.

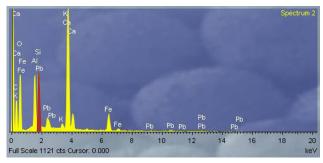
I pigmenti minerali (*terre* se il contenuto di Fe=10%÷12%, *ocre* se il contenuto è >12%) costituiti da metalli sono tradizionalmente i più utilizzati le coloriture dei muri: il colore percepito, cioè il prodotto delle radiazioni non assorbite e riflesse dalla struttura molecolare dei granuli del pigmento, può variare notevolmente anche tra minerali con composizione estremamente simile a causa della loro notevole mobilità elettronica, che favorisce lo spostamento degli elettroni liberi sugli orbitali esterni mediante l'assorbimento e la riflessione di onde elettromagnetiche con specifiche lunghezze  $\lambda$  che corrispondono a precisi colori.<sup>8</sup>

La resa cromatica, oltre che dalla composizione del pigmento, può variare anche in base alla consistenza dello strato di preparazione e dall'eventuale presenza di vernici protettive, che tendono a alterare le proprietà di rifrazione dello strato pittorico. Il colore percepito è inoltre condizionato dall'interazione del pigmento con l'aria e l'ossigeno atmosferico (ossidazione) e con le sorgenti luminose e i relativi fenomeni di fotodeterioramento (alterazione e ingiallimento).<sup>9</sup>

La gamma cromatica della decorazione pittorica è limitata a pochi colori, di cui è stato possibile ricavarne la natura mediante il confronto tra le immagini delle sezioni stratigrafiche e la scansione di punti sullo strato pittorico al microscopio elettronico. I pigmenti rilevati sono stati confrontati per colore:

Rossi, rosa e gialli (I4, I5, I9, A13): la gamma dei rossi e gialli è costituita principalmente da ossidi di ferro con contenuto di silicio derivante dalla normale presenza di quarzo (ossido di silicio) nelle terre. <sup>10</sup> Il campione I4, contenente sia una porzione di bianco che una di rosso, è stato utilizzato per caratterizzare entrambi i colori: la scansione elettronica ha rilevato la presenza di piombo che, se appartenente al pigmento rosso (minio, un ossido di piombo), spiegherebbe la differenza cromatica con il campione rosso A13 [fig.8].





[fig.8]
SEM - scansione dello strato pittorico superficiale del campione 14
In rosso il picco relativo all'alta concentrazione di Pb rilevata

\_\_\_150µm

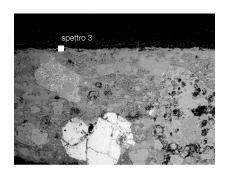
- Grigio scuro (I10): Il pigmento grigio scuro utilizzato per la veste di San Liberato non mostra segnali nè alla diffrattometria ai raggi X, né alla scansione SEM. In base a quanto rilevato sul particolato analizzato dal campione I11, che, come in questo caso, non mostrava segnali nelle prime analisi a causa dell'inquinamento prodotto dalla resina poliestere, il pigmento grigio potrebbe essere anch'esso costituito da particelle carboniose, in questo caso quindi nero di carbone o nero fumo [fig.9].
- Bianco (I2, I3, I4, A6, A7): l'analisi dei campioni del colore di fondo (bianco, leggermente ingiallito) mostra la sola presenza di carbonato di calcio. Nonostante la malta carbonatica utilizzata per l'intonachino sia omogenea per colore e composizione, nelle

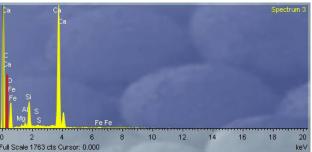
<sup>8</sup> Cagnana, 2000

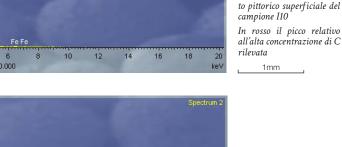
<sup>9</sup> MATTEINI, MOLES, 1989

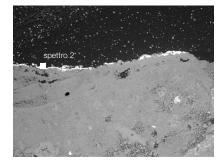
<sup>10</sup> Ibidem

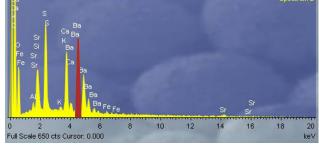
sezioni stratigrafiche si nota comunque la stesura di uno strato pittorico superficiale ormai ingiallito, denunciando quindi anche l'utilizzo di un pigmento bianco di natura carbonatica (*bianco di calce*): nella sezione stratigrafica del campione I4, contenente anche del rosso, si nota come il bianco sia steso sopra il rosso, confermando l'utilizzo di un ulteriore strato pittorico per il bianco. Alcune tracce di gesso rilevate in superficie nel campione A7 possono derivare sia dall'utilizzo del gesso stesso come pigmento, caso anomalo rispetto al resto della parete, sia a fenomeni di solfatazione della malta dell'altare. Il campione I2 prelevato in alto in prossimità degli annerimenti presenta invece tracce di bario: il *bianco di bario* (solfato di bario, BaSO<sub>4</sub>) è un pigmento introdotto nelle pitture murali dal XIX sec. 11 con tracce di zinco e titanio. La presenza di bario sullo strato pittorico, nella zona in cui sembra essere stata dipinta la mano a destra del crocefisso, sembra suggerire quindi che la figura sia stata inserita o ridipinta 12 non prima dell'inizio del periodo di utilizzo di tale pigmento [*figg.10a, 10b*].











[fig.10a]
SEM - scansione dello strato pittorico superficiale del campione 12
In rosso il picco relativo all'alta concentrazione di Ba rilevata

SEM - scansione dello stra-

250µm

[fig.9]





[fig.10b]
SEM - mappatura eseguite sulla sezione stratigrafica del campione l2
A sinistra, mappatura della concentrazione di Ba (in verde, isolata nell'immagine a destra) e Ca (in rosso) come componente principa-

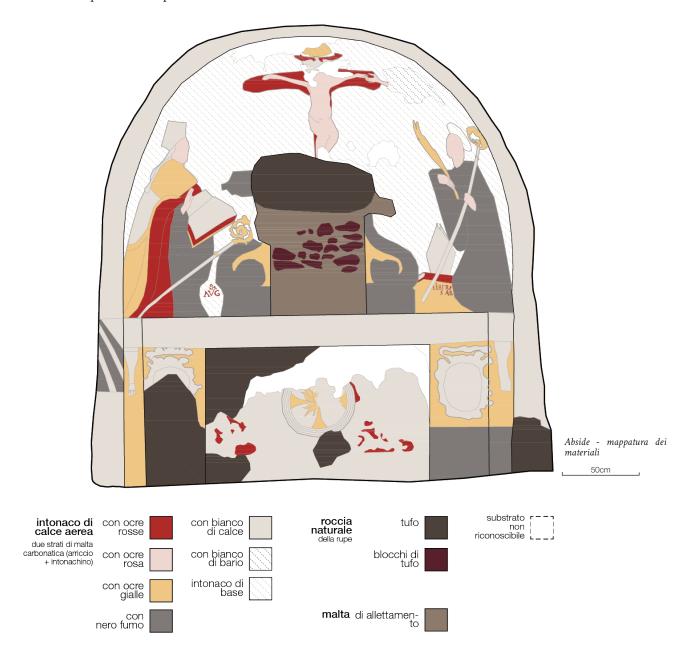
le della malta 200µm

La posizione dello strato pittorico nelle sezioni stratigrafiche dei campioni suggerisce che questo sia stato steso quando lo strato di intonachino sottostante fosse già parzialmente asciutto. Il colore non sembra essere penetrato all'interno dello strato di calce sottostante e si nota con chiarezza l'interfaccia tra i due strati sovrapposti. Le analisi sugli strati pittorici superficiali rilevano comunque la presenza di CaCO<sub>3</sub>: da qui, l'ipotesi che sia stato utilizzato del

<sup>11</sup> Ibidem

<sup>12</sup> Appare inusuale che la figura relativa alla mano di Dio venga aggiunta successivamente in una composizione che già suggerisce la soluzione del "trono di grazia" discussa nel paragrafo 2.3.; è forse più probabile che la figura fosse già presente e che sia stata ritoccata con l'uso di bianco di bario successivamente al periodo di introduzione del pigmento

latte di calce come medium di dispersione, che avrebbe dunque permesso la carbonatazione dello strato pittorico su quello di intonachino.



# 4.2 Analisi del degrado

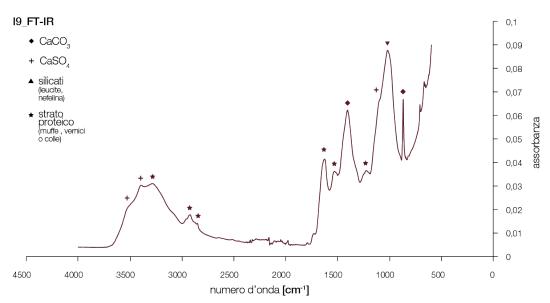
Lo stato di conservazione della cappella risente di numerosi fattori, sia fisici che costruttivi e topografici, che hanno favorito lo sviluppo di diverse forme di degrado.<sup>13</sup>

La posizione all'interno della rupe tufacea, nascosta dalla vegetazione e con poca possibilità di illuminazione (limitata alle zone in prossimità dell'accesso) ha favorito l'umidificazione della parete absidale con conseguente innalzamento del fronte di risalita, a cui sono associate tenui efflorescenze saline e formazione di patine biologiche, anche molto estese, forse anche a causa di fenomeni di gocciolamento e ristagno delle infiltrazioni.

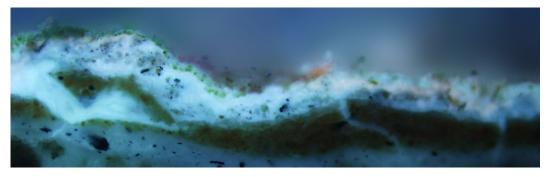
Dilavamento: quasi tutta la parete sembra interessata dal dilavamento dello strato di finitura, che sembra sbiadito e in alcuni punti consumato. È possibile che

<sup>13</sup> Per l'analisi dei fenomeni di degrado si è fatto riferimento a: CNR-ICR, Raccomandazioni Normal, Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-1/80

il fenomeno sia riconducibile al percolamento dell'umidità che si accumula sulla parete: la porosità del substrato di tufo favorisce l'accumulo di acqua nei pori, proveniente sia dall'esterno che dalle infiltrazioni nel terreno sovrastante. Tale fenomeno sembra inoltre circoscritto alla sommità dell'abside (fino a circa 2m di quota dal pavimento), cioè la zona in cui l'umidità accumulata sulla calotta scivola verso il basso, asportando le particelle del pigmento. All'esterno, il dilavamento della parete rocciosa esposta agli agenti atmosferici ha provocato la perdita del rivestimento a intonaco, di cui resta solo un lacerto limitato all'angolo in alto a destra della facciata. Colonizzazione biologica: sulla sommità della volta si nota una porzione abbastanza estesa di patina biologica verde: la zona potrebbe essere interessata dall'accumulo di acqua proveniente dal terreno superiore e dalla condensazione dell'umidità interna del vano, che avrebbe alimentato la colonizzazione biologica e la formazione delle efflorescenze saline. È inoltre probabile che dalla chiave della volta si verifichino fenomeni di gocciolamento che tendono a dilavare le aree sottostanti, in particolar modo la superficie superiore dell'altare. La parte inferiore della parete risente invece della risalita capillare di umidità dal terreno, e l'assenza di una pavimentazione ha favorito l'estensione del fenomeno anche alle superfici verticali dell'altare. Ai lati dell'altare, in particolare, si nota maggiormente il distacco dello strato superficiale, con conseguente esposizione del substrato. Il fronte di risalita non sembra però regolare, e le conseguenti efflorescenze saline sono concentrate solo nella porzione centrale del fronte della mensa (ai lati la superficie dell'altare appare sbiadita ma abbastanza integra). Non è dunque chiaro perché il fenomeno interessi in modo così differenziale la medesima superficie. Gli spigoli superiori della mensa sono inoltre interessati da un visibile fenomeno di erosione (forse provocato dal gocciolamento sopra descritto) e da mancanze, conseguenza di urti e asportazioni. Sulla superficie levigata dal dilavamento vi è una consistente patina biologica. La formazione di patina organica, anche invasiva, è riscontrabile anche nelle porzioni della parete absidale ai lati dell'altare: la sezione lucida del campione I9 sottoposta al filtro UV mostra una stratificazione complessa di strati fluorescenti: un primo film organico mescolato in parte allo strato pittorico degradato, più compatto, forse costituito da una vernice protettiva; e un secondo strato più superficiale localizzato appena sotto la patina verde, con inclusioni di particolato e fluorescenze più significative, che potrebbero costituire il prodotto secondario di fenomeni di biodeterioramento. Lo spessore variabile e la diversa fluorescenza suggeriscono infatti che la patina superficiale differisca da quella posta a contatto con lo strato pittorico, e che possa quindi essere frutto dell'interazione tra lo strato protettivo e gli agenti di degrado [fig.11a, 11b].



[fig.11a] FT-IR - interferogramma prodotto dal campione I9



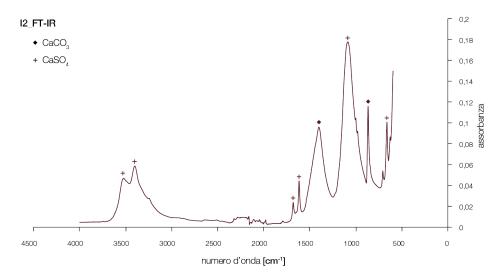
[fig.11b] M.O.- sezione stratigrafica del campione I9 osservata con filtro UV

Si nota la fluorescenzarossa dello strato più superficiale

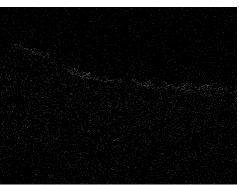
80µm

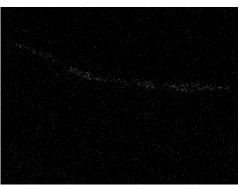
Patine e croste: le zone annerite in prossimità delle efflorescenze sopra citate possono essere imputabili alla formazione di croste nere a causa della solfatazione dello strato di intonaco. L'analisi SEM-EDX del campione di riferimento (I2) ha infatti mostrato la presenza di zolfo nello strato superficiale, forse relativo alla composizione del solfato di bario (BaSO<sub>4</sub>) utilizzato come pigmento, che spiegherebbe l'anneri-

mento localizzato alla sola area in cui tale pigmento è stato utilizzato [figg.12a, 12b].



[fig.12a] FT-IR - interferogramma prodotto dal campione I2





[fig.12b] SEM - mappatura

SEM - mappatura eseguite sulla sezione stratigrafica del campione I2

A sinistra, distribuzione del contenuto di S, a destra distribuzione del contenuto di Ra

La crosta nera identificata in prossimità del campione 12 corrisponde quindi alla porzione di superficie su cui è stato utilizzato il solfato di bario (BaSO)

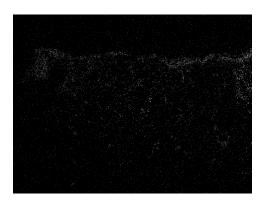
200µm

La presenza di croste sarebbe inoltre imputabile alle infiltrazioni di acque da piogge acide contenenti solfati dal terreno sovrastante, e l'accumulo di particolato dalla prossimità della strada all'ingresso della cappella. Sul tratto di volta a botte rivestito dalla malta rossastra si riconoscono, sulla sommità, fenomeni di dilavamento che tendono a scoprire la calotta rocciosa, oltre a efflorescenze bianche sviluppate in lunghezza lungo la chiave della volta (forse riconducibili allo stesso fenomeno di accumulo di umidità e infiltrazioni che interessa l'abside). A quota inferiore si notano patine ingiallite, su entrambi i lati della camera, che interessano tutta la porzione di volta lavorata a gradina. La presenza di un film organico sotto la superficie emersa dall'osservazione agli UV della sezione del campione P15 giustificherebbe

l'ipotesi di ossalati derivanti dall'ossidazione di materiale proteico (vernice o colla). La formazione di patina può essere interpretata come conseguenza della formazione di ossalati di calcio derivanti dalla salificazione della componente carbonatica della malta, comunque presente anche nelle malte silicatiche: tracce di Na e Cl sono state rilevate dalle analisi SEM, e sarebbero imputabili a infiltrazioni dal terreno agricolo superiore. Gli spettri di risposta di XRD e IR non rivelano però segnali caratteristici della presenza di ossalati, ma emerge un significativo contenuto di solfati che, data la consistenza tenace e porosa dello strato superficiale osservata nella sezione stratigrafica, suggerisce la presenza di croste nere, forse estese a tutta la volta della camera [fig.13]. La solubilizzazione dello strato carbonatico con formazione di gesso è imputabile, in assenza di ossalati che possano reagire con gli acidi inquinanti, alla reazione del carbonato con gli stessi acidi in ambiente umido: il processo è quindi possibile solo in presenza di acqua, in questo caso costituita dall'umidità che può condensare nel periodo invernale sulla calotta della volta e dalle infiltrazioni all'interno del banco di tufo:

$$CaCO_3 + H_2SO_4 + H_2O \rightarrow CaSO_4 \cdot 2H_2O \cdot CO_2$$

Ciò giustificherebbe inoltre la presenza della crosta circoscritta solo alla calotta della volta, cioè la zona in cui l'umidità tende inizialmente a accumularsi (sia per condensa che per infiltrazione dall'alto).





[fig.13] SEM - mappatura eseguite sulla sezione stratigrafica del campione P15

A sinistra, distribuzione del contenuto di S, a destra distribuzione del contenuto di Cl.

Come appare dalla distribuzione degli elementi, la presenza di zolfo è concentrata negli strati superficiali, mentre il contenuto di Cl sembra disperso uniformemente all'interno della sezione

500µm

Lacune e mancanze: La presenza diffusa di fori ciechi su tutta la parete, escludendo l'ipotesi di fenomeni di pitting e alveolizzazione che necessiterebbero di forte ventilazione, è riconducibile alla formazione di calcinaroli nella malta di rivestimento: nel caso fossero stati presenti grumi di calce non spenta durante la fase di posa dell'intonaco, il successivo aumento di volume avrebbe causato l'espulsione del materiale e la formazione dei fori sullo strato di rivestimento. La sezione variabile dei pori potrebbe essere dovuta alla variegata granulometria degli inerti utilizzati nell'impasto. Sopra l'altare, si nota con evidenza l'asportazione di un elemento al centro della parete (30x80cm ca.), probabilmente il tabernacolo, su cui era alloggiato un ulteriore elemento orizzontale (si nota un incavo più profondo, più o meno della stessa larghezza). Dall'asportazione emergono gli elementi costruttivi del blocco centrale, blocchetti di tufo di dimensioni ridotte allettati con malta; la lacuna superiore sembra invece realizzata direttamente all'interno della parete rocciosa. Sulla superficie esposta, oltre a fenomeni di deposito di particolato e polvere, sono presenti in alcuni punti tracce di patina biologica. Nella zona inferiore delle pareti della camera la roccia è scoperta e mostra, come già indicato, i segni del piccone: non è possibile quindi dire se il rivestimento con malta pozzolanica fosse esteso a tutta la camera o interessasse solo la volta.

## 4.3. Conclusioni e proposta di intervento

Il confronto dei dati ottenuti dalle analisi per la caratterizzazione microstrutturale e morfologica eseguite sui campioni con le informazioni rilevate sul manufatto e sul materiale bi-

Abside - immagini dei fenomeni di degrado



Alterazione cromatica causata dall'asportazionee il degrado del pigmento



Dilavamento della superficie dell'altare



Patina biologica



Crosta nera in prossimità dell'area di utilizzo del biacno di bario

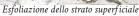


Patina giallo-grigia della volta



Efflorescenze saline sul fronte di risalita

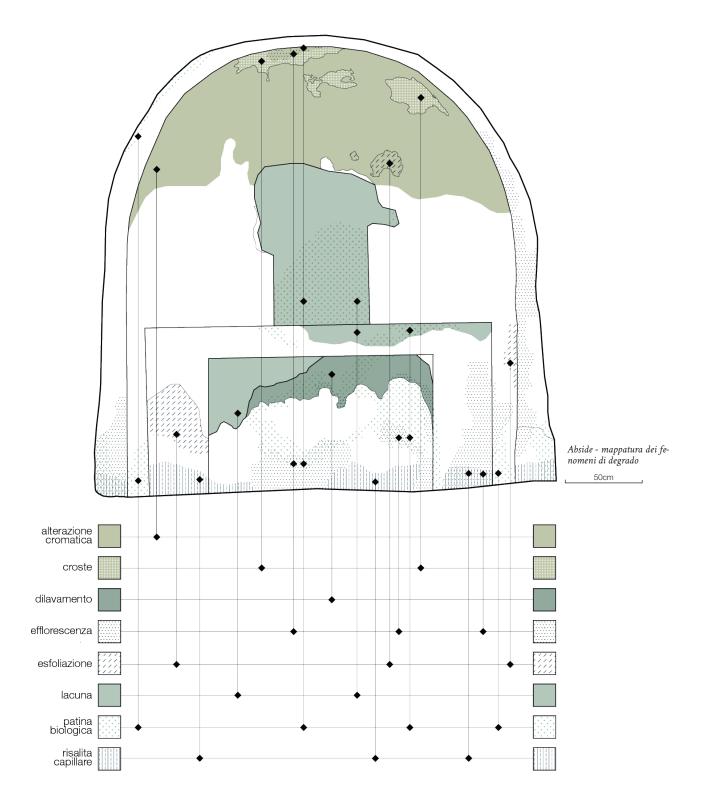






Abside - stato della parete nel periodo invernale





bliografico e archivistico, hanno permesso di acquisire dati certi e documentati riguardo i materiali, le tecniche costruttive del manufatto e il suo stato, di formulare ipotesi riguardo la stratificazione delle fasi e le cause dei fenomeni macroscopici di degrado, e di proporre considerazioni su un possibile intervento di conservazione.

L'utilizzo di tecniche diagnostiche volte alla caratterizzazione dei materiali ha fornito ulteriori indicazioni da integrare alle limitate informazioni storiche, e ha permesso l'analisi e la comprensione di elementi e segnali che sarebbero stati altrimenti difficili da interpretare.

In tal senso, l'approccio bidirezionale condotto sia verso l'approfondimento delle caratteristiche artistiche e storiche, sia verso l'analisi compositiva e tecnica dei materiali, ha consentito di acquisire informazioni utili alla formulazione di ipotesi a verifica di quanto già scritto sul

manufatto.

Tale approccio, con il confronto continuo sul manufatto delle informazioni acquisite dai campioni, è stato dunque utile alla documentazione del bene e, soprattutto, all'integrazione di risultati verificabili alle conoscenze principalmente orali sull'oggetto di studio.

## 4.3.1. Conclusioni e interpretazione dei risultati

In primo luogo, nonostante non si abbiano periodi certi di riferimento, è stato possibile circoscrivere cronologicamente alcune fasi di lavorazione del manufatto, relativamente al periodo di realizzazione del disegno e delle tecniche impiegate o all'utilizzo dei materiali rilevati.

L'osservazione della composizione del disegno, in particolare alcuni elementi (le volute del tabernacolo, la croce greca a raggi sull'altare, il graffito) e la composizione dei soggetti rappresentati suggeriscono un'epoca di realizzazione più tarda di quella proposta dalla bibliografia storica sul luogo (Loreti 2002, Tomassetti 1913): il periodo giottesco e pre-rinascimentale tradizionalmente indicato non sembra infatti corrispondere alla conformazione della composizione.

Altro dato da valutare è la qualità della realizzazione del rivestimento a intonaco e la tecnica pittorica del disegno: la scarsa cura riservata alla selezione del materiale, alla granulometria degli inerti e alla stratigrafia del rivestimento, come pure la tecnica della pittura a calce su graffito, possono essere indicativi sia di un periodo di realizzazione più antico, sia di una "arretratezza" delle tecnologie tipica delle zone rurali e della campagna, in cui le tecniche edilizie sopravvivevano più a lungo e in parallelo con l'avanzamento dei centri maggiori. In questo caso l'ipotesi di tecniche costruttive datate sembra la più plausibile, vista soprattutto la funzione agricola dell'area e l'assenza di altri manufatti nei dintorni, fatta eccezione per la vicina Chiesa della Visitazione.

Alcuni elementi più elaborati del disegno, come i pastorali, le vesti o il partito architettonico rappresentato per inquadrare i soggetti del disegno, sembrano suggerire un'attenzione maggiore nella decorazione del rivestimento dell'abside. Non è da escludere che questo sia stato ritoccato o ridipinto, (come nel caso della mano di Dio a destra del crocefisso), e che possa dunque essere posteriore alla realizzazione del vano all'interno della rupe, come nel caso di altri manufatti già citati riconvertiti in cappelle votive in cui il rivestimento, spesso circoscritto alla sola parete absidale, è stato realizzato in epoca più tarda.

La parete absidale sembra omogenea sia dal punto di visto compositivo che tecnologico. Il riconoscimento della malta confermato dalle analisi eseguite sulle sezioni stratigrafiche e sulle componenti dei campioni separate meccanicamente permette di affermare che non ci sono differenze nei materiali e nelle tecniche di realizzazione: il numero di strati di malta (esclusi quindi quelli organici e protettivi) è costante, come pure il medium di dispersione del pigmento e la natura del pigmento stesso.

A tale proposito fanno eccezione due soli campioni tra quelli analizzati: il campione I2 in cui è stato rilevato l'utilizzo di bianco di bario per ridipingere sulla mano di Dio in alto a destra; e il campione I4, in cui compare un contenuto anomalo di piombo forse dovuto all'utilizzo di bianco di piombo o, più probabilmente, di minio per il rosso. L'utilizzo di minio, per quanto anomalo dato il vasto utilizzo di ocre per gli altri colori, potrebbe giustificare la diversa resa cromatica del rosso tra l'altare e l'abside, dovuta forse anche alla presenza di un film organico sui campioni dell'altare. È però difficile concludere che l'altare corrisponda a una fase di lavorazione diversa, dato che gli spettri prodotti dall'analisi delle componenti della malta risultano sovrapponibili a quelli degli altri campioni.

Riguardo le osservazioni sul rivestimento, appare strano che l'abside e la camera siano state intonacate con malte di così diversa natura e resa, sia nel trattamento della superficie che nell'aspetto.

Ipotizzando che la volta della camera fosse destinata a un successivo strato di rivestimento e finitura, che giustificherebbe il trattamento a gradina della malta pozzolanica, si può supporre che l'impasto di malta pozzolanica e carbonato di calcio sia stato utilizzato anche sotto

il rivestimento a intonaco dell'abside, anche se nelle lacune lasciate dal distacco in prossimità dell'altare si riconosce la parete di roccia e, dunque, nessuno strato di rivestimento intermedio.

Immaginando un rivestimento della camera simile a quello dell'abside, è possibile che la crosta nera estesa sul rivestimento della volta sia prodotta dalla trasformazione di una scialbatura o uno strato carbonatico steso su quello silicatico, che però non giustificherebbe né i segni della gradina tipici degli strati di preparazione e di arriccio, né il sottile strato fluorescente posto sotto la superficie rilevato nella sezione stratigrafica: nel caso si tratti di uno strato protettivo sarebbe stato posto prima della scialbatura con materiale carbonatico; nel caso si tratti di prodotti secondari della salificazione dello strato carbonatico (ossalati e acidi ossalici) sarebbero stati visibili nella spettrometria IR e nella diffrattometria ai raggi X con i caratteristici picchi.

All'interfaccia tra i due rivestimenti, cioè sulla linea di contatto tra la sezione della volta a botte e lo scanso realizzato intorno l'abside, la malta carbonatica della parete di fondo sembra sovrapporsi alla volta, anche se il riconoscimento delle reciproche posizioni è difficile vista la presenza di muffe verdi lungo tutta l'interfaccia.

Va indicato che le ipotesi proposte sono state effettuate principalmente sulla base dei risultati riconosciuti dai software e dell'interpretazione degli output sulla base dei dati presenti in letteratura.

Seppur prevedibili e, in parte, incompleti, tali risultati forniscono un quadro più ampio di conoscenze e informazioni tecnologiche, morfologiche e diagnostiche solitamente indagate solo in previsione del restauro, e meno spesso in fase di documentazione. Il riscontro tra le fonti bibliografiche e storiche e i dati ottenuti permette soprattutto di compensare alcune lacune documentarie che, come nel caso della Chiesa del Santo Spirito, non permettono una completa comprensione delle caratteristiche e della storia del manufatto.

Le stesse fasi di rilievo, campionamento e diagnosi preliminare si sono dimostrate utili alla formulazione di prime ipotesi-guida per la successiva fase di analisi e hanno permesso l'acquisizione di informazioni tattili, visive e fisiche che hanno facilitato l'impostazione delle indagini e l'interpretazione degli output.

#### 4.3.2. Criticità e limiti

I principali limiti riscontrati durante la ricerca hanno riguardato l'impossibilità di eseguire analisi specifiche su porosimetria e granulometria degli inerti, che avrebbero potuto fornire ulteriori informazioni sull'impasto della malta (rapporto acqua/legante, dimensione degli aggregati, dimensione e natura dei pori). La mancanza di campioni sufficientemente grandi ha infatti limitato le possibilità di indagine alla sola osservazione degli inerti, e alla sola formulazione di considerazioni preliminari che necessiterebbero di approfondimento.

In particolare, il peso ridotto dei campioni e la granulometria grossolana rilevata durante la fase di separazione meccanica delle componenti della malta hanno escluso l'utilizzo sia di metodi di vagliatura meccanica in setaccio, sia l'utilizzo di granulometri laser con range di misurazione ridotto (da  $0.1\mu m$  a  $1000\mu m$  in assenza di uno strumento di dispersione in aria compressa della componente inerte) che avrebbero escluso tutti i granuli inerti con dimensioni >1mm.

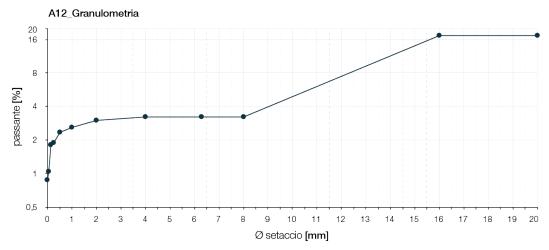
Un unico tentativo è stato effettuato sul campione A12 estratto dal substrato dell'altare. Riconosciuto come frammento di pietra naturale (il suddetto substrato era stato riconosciuto come roccia tufacea) il campione è stato sottoposto a vagliatura mediante setacci $^{14}$  per osservare la curva granulometrica prodotta dalla disgregazione del materiale [fig.14].

Negli altri campioni l'impossibilità di eseguire le analisi granulometriche è data anche dalla difficoltà di separazione delle componenti della malta: come è possibile osservare dagli spettri XRD prodotti dai campioni di legante, si riconosce ancora una parte di inerti (leucite, nefeli-

<sup>14</sup> Analisi eseguite presso i laboratori del CNR-IGAG di Montelibretti (RM) – Area della ricerca Roma I, mediante vagliatura in setacci da 20mm a  $60\mu m$ , 5mm di oscillazione per 5min di vibrazione, su vibratore FRITSCH Analysette 3

na) mescolata alla porzione di legante analizzata. L'impossibilità di estrarre il contenuto inerte avrebbe quindi prodotto una curva granulometrica falsata.

Nel presente studio non è stato possibile individuare una serie sistematica di analisi a cui sottoporre i campioni: questi sono stati indirizzati in base agli scopi per cui sono stati raccolti (caratterizzazione della malta, natura e caratterizzazione del colore, indagine sulle forme di degrado) alle diverse metodologie di indagine, in modo da disporre di dati sufficienti alla caratterizzazione e al confronto dei composti, al riconoscimento delle cause del degrado e all'individuazione delle misure di conservazione. La possibilità di un processo standardizzato di analisi (limitato anche dalle dimensioni dei campioni e dalla disponibilità di materiale) avrebbe favorito la raccolta e l'incrocio dei dati estratti.



[fig.13]

Analisi granulometrica
- curva granulometrica
eseguita sul campione A12
per osservarne la disgregazione

## 4.3.3. Proposta di intervento

La raccolta dei dati, qui trattata come approccio alternativo all'acquisizione di informazioni per la documentazione del manufatto, ha inoltre permesso la formulazione di un piano di intervento rivolto alla conservazione della zona dell'abside, in base alle considerazioni fatte riguardo le cause del degrado e lo stato attuale dell'intonaco.

La caratterizzazione delle componenti della malta ha facilitato il direzionamento degli interventi verso specifiche soluzioni compatibili con la natura dei materiali tradizionali riconosciuti, con lo scopo di non alterare ulteriormente lo stato di conservazione dell'intonaco e della patina storica. <sup>15</sup>

Il primo ostacolo riscontrato, e già discusso, all'efficacia dell'intervento riguarda la posizione della cappella e la presenza di folta vegetazione all'esterno della facciata, che favorisce l'umidificazione della parete e limita l'ingresso di aria e luce che permetterebbero invece una minima ventilazione per l'asciugatura delle pareti interne.

La roccia, naturalmente porosa, tenderebbe infatti ad asciugarsi più velocemente in assenza di ostacoli all'ingresso di luce e ventilazione dall'unica parete aperta esposta a Sud.

Un ulteriore accorgimento dovrebbe riguardare la verifica dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque dal terreno superiore, in modo da limitare le infiltrazioni in profondità, soprattutto nel caso di utilizzo di prodotti agricoli.

L'accumulo di acqua e umidità è infatti causa di gocciolamento e dilavamento della parete intonacata; è dunque necessario che prima della pianificazione dell'intervento vengano assunte misure di controllo del contesto ambientale che sfavoriscano, per quanto possibile, l'accumulo di umidità nella camera ipogea.

Il monitoraggio delle condizioni ambientali sarebbe inoltre utile a una maggiore comprensione dei fenomeni di degrado intercorsi nelle diverse stagioni e, eventualmente, a una migliore pianificazione delle modalità e dei cicli di manutenzione del manufatto e dell'area

#### circostante.

Individuate le misure preliminari di controllo, l'intervento di recupero e conservazione può essere suddiviso in diverse fasi operative, le cui modalità sono state selezionate, tra quelle proposte dai manuali<sup>16</sup>, sulla base delle indagini effettuate sulle malte, sui pigmenti e sulle trasformazioni morfologiche e compositive avvenute a seguito dello sviluppo dei fenomeni di degrado.

L'intervento<sup>17</sup>, ipotizzato dall'osservazione dello stato attuale della parete absidale e sulla base delle cause e dei fenomeni di degrado riconosciuti<sup>18</sup>, prevede le seguenti fasi:

- 1. Preparazione preliminare della superficie, con asportazione dei depositi superficiali maggiormente incoerenti e non solidali con lo strato di rivestimento;
- Preconsolidamento della superficie esfoliata, allo scopo di proteggere le parti del rivestimento durante l'esecuzione delle successive fasi di ripristino e manutenzione della superficie;
- 3. Pulitura della superficie e delle incrostazioni rilevate, per garantire l'eliminazione dei prodotti secondari delle alterazioni causate dai diversi fenomeni intercorsi nella degradazione dell'intonaco;
- 4. Aggiunta di integrazioni volte alla sigillatura della superficie degradabile esposta e alla conservazione dello stato attuale del rivestimento

L'intervento è principalmente volto alla stabilizzazione dello strato superficiale della parete con lo scopo di evitare ulteriori distacchi e lacune che aumenterebbero la superficie disponibile alla proliferazione del degrado. Ulteriori interventi andrebbero poi pianificati per la reintegrazione delle parti mancanti o dilavate del disegno, e per la verifica di segnali di instabilità della rupe tufacea.

Il procedimento si compone dunque delle seguenti operazioni:

- 1. Asportazione dei depositi superficiali incoerenti e delle polveri [up.A], in preparazione della successiva fase di preconsolidamento. L'operazione avviene mediante spazzole e pennelli a setole morbide, avendo cura di non esercitare pressione sulle porzioni esfoliate, provocandone il distacco. La rimozione dei depositi superficiali si pone come misura preventiva all'efficacia delle seguenti fasi di preconsolidamento, pulitura e consolidamento
- 2. Preconsolidamento della superficie [UP.PR], con funzione conservativa, da ripetere anche in tempi più lunghi in base alle modalità di applicazione e presa dei prodotti. L'analisi dei campioni si rende qui necessaria per individuare la natura degli strati dell'intonaco e, dunque, la selezione di adesivi e composti ad essi compatibili. Il preconsolidamento può avvenire sia in presenza di pellicole e strati in fase di distacco, sia per la riadesione di parti o scaglie sollevate.
- Velinatura con garza o carta giapponese con applicazione di sospensione di Ca(OH)₂[UP.PR.1]: in presenza di sottili strati esfoliati, la velinatura con bendaggi provvisori può essere utile a preservarli da abrasioni o pressioni esercitate nelle fasi di pulitura. Si procede ponendo in opera sulla superficie dei fazzoletti di garza di cotone, tela o carta giapponese (utili anche come filtro per la pulitura di superfici delicate o a rischio di sfogliamento), sovrapposti di qualche centimetro, fermati con resina acrilica o con altre soluzioni acquose. Il bendaggio risulta funzionale all'applicazione di sospensione di idrossido di calcio (o latte di calce, Ca(OH)2) per garantire la riadesione degli strati pittorici esfoliati. La soluzione adottata risulta omogenea con il medium utilizzato per la stesura del pig-

<sup>16</sup> Arcolao, 1998; Torsello, Musso, 2003; Franceschi, Germani, 2005

<sup>17</sup> La procedura ipotizzata è compatibile con altri interventi di conservazione previsti per manufatti rupestri della stessa natura. Si veda come esempio il progetto di conservazione dell'ipogeo di Santa Marina presso Ardea (disponibile sulla piattaforma artbonus.gov.it)

<sup>18</sup> CNR-ICR, Raccomandazioni Normal, Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-1/80

mento, e la penetrazione delle particelle all'interno delle porosità dello strato di applicazione permette una nuova fase di presa all'interno della matrice. Il consolidamento corticale qui ipotizzato non può avvenire in presenza di depositi polverulenti, che dovranno quindi essere preventivamente asportati per evitare che si disperdano nella soluzione da applicare. L'utilizzo di acqua distillata per la soluzione, in concentrazioni variabili in base al supporto, permette di limitare la formazione di velature biancastre sulla superficie;

- Microiniezioni a bassa pressione [UP.PR.2]: l'iniezione di miscele a base di calce aerea in soluzione con un contenuto minimo (5-10%) di resina acrilica permette la stabilizzazione dei bordi della superficie pittorica in prossimità di fori, fessure o lacune, come nel caso delle porzioni estratte dalla formazione di calcinaroli. L'operazione può avvenire mediante l'iniezione del prodotto con siringhe in plastica, possibilmente procedendo attraverso i fori e le fessure dal basso verso l'alto. Preventivamente, è necessaria la pulitura dei microfori con una miscela di alcool e acqua deionizzata (in proporzione 1:5) allo scopo di creare ulteriori canali di ancoraggio dell'iniezione e verificare che non vi siano fuoriuscite del materiale;
- 3. Pulitura della superficie da deposizioni incoerenti [up.Pu] che potrebbero contribuire all'alterazione e alla degradazione del substrato. Le operazioni di pulitura necessitano di accorgimenti atti a conservare l'integrità del materiale e, possibilmente, non intaccare la patina storica. A tale scopo, si rendono essenziali le indagini sulla consistenza dei materiali e sulla loro composizione, le fasi di preconsolidamento e l'esecuzione di prove preliminari. L'operazione è necessaria per l'eliminazione di depositi estranei incoerenti, più o meno solidali con la superficie, e di incrostazioni o strati derivanti dall'interazione dello strato di finitura con sostanze esterne (infiltrazioni o particelle volatili), oltre che alla disinfestazione della microflora.
- Pulitura mediante apparecchi aeroabrasivi (sistema Jos) [UP.PU.1]: data il particolare ambiente umido in cui si opera, la sabbiatura controllata con l'impiego di polveri abrasive sospese in un getto d'aria a bassa pressione consente un'azione meno invasiva e rischiosa rispetto allo spray ad acqua, che tenderebbe a umidificare ulteriormente la parete anche con cicli di applicazione molto brevi. Il sistema Jos, sfruttando la dispersione in aria emessa in una spirale elicoidale a bassa pressione (0,1-1bar), permette di agire per abrasione in senso tangenziale alla parete per evitare alterazioni morfologiche della superficie. L'azione risulta dunque meno invasiva della tradizionale sabbiatura, e permette un intervento meno invasivo mediante appositi strumenti che consentono la regolazione dei diversi parametri a seconda dell'entità del deposito, quali raggio e pressione del getto, rapporto aria - abrasivo e tempi di applicazione, in modo da consentire all'operatore di controllare e direzionare il getto solo sulle zone interessate, senza coinvolgere parti troppo delicate o integre. Va inoltre valutata la natura dell'abrasivo, che deve risultare meno tenace e con durezza minore dello strato su cui si interviene: in questo caso risulta utile l'utilizzo di carbonato o bicarbonato di calcio. In tali condizioni risulta possibile l'intervento sullo strato carbonatico superficiale. In condizioni di elevata umidità, lo strumento dovrebbe inoltre essere provvisto di un deumidificatore che limiti l'addensamento delle particelle all'interno dell'ugello;
- Pulitura meccanica [up.Pu.2]: consente la rimozione di depositi, incrostazioni e colature anche più aderenti alla superficie, mediante l'impiego di appositi utensili quali microspazzolini, microfrese, mole abrasive (o carta abrasiva) e scalpellini, vibroincisori, spatole e bisturi. L'operazione deve avvenire in maniera graduale per non intaccare la consistenza del substrato, e la riuscita dell'intervento è strettamente connessa all'abilità dell'operatore nell'intervenire solo sulle patine da rimuovere. La riuscita dell'intervento di pulitura meccanica permette inoltre di conservare l'aspetto visivo e cromatico della superficie;
- Pulitura mediante impacchi assorbenti a base di acqua [UP.PU.3]: l'utilizzo di impacchi di fibre naturali o argille imbevute in acqua consente di esercitare sulla parete un'azione di assorbimento di liquidi proporzionale al peso del materia-



Abside - mappatura degli interventi

50cm

UP.A asportazione depositi superficiali up.Pr preconsolidamento

.1 velinatura

.2 microiniezioni

**up.Pu** pulitura

.1 sistema Jos

.3 impacchi assorbenti

.4 sostanze

**up.l** bordatura ••
integrazione

one

le steso. La pulitura mediante impacchi assorbenti consente l'assorbimento di sali solubili, la rimozione di strati idrosolubili sottili (croste nere fino a 1mm), macchie e strati di natura organica. Al fine di rendere meno traumatica la stesura, risulta necessaria l'apposizione preventiva di uno strato di carta giapponese. Anche in questo caso, in maniera preventiva è necessario testare il prodotto e la durata dell'applicazione su campioni, in modo da regolarne lo spessore e la concentrazione in funzione dell'area e dei fenomeni in essa riconosciuti. L'impacco applicato sulla superficie (generalmente umidificata con acqua distillata) può essere costituito da argille assorbenti quali seppiolite o attapulgite (silicati idrati di magnesio) con spessore di 2cm ca., o polpa di cellulosa con spessore di 1cm. Questo potrà essere protetto esternamente con strati di cotone o garza imbevuti, al fine di rallentare l'evaporazione troppo rapida del contenuto di acqua. La rimozione dell'impacco può avvenire quando questo, una volta asciutto, avrà formato una crosta incoerente e non più aderente alla superficie. Per garantire la completa asportazione del materiale è inoltre necessario un lavaggio con acqua demineralizzata nebulizzata a bassa pressione. In presenza di incrostazioni patogene particolarmente resistenti piccolo spessore (max 2mm), può essere utile l'utilizzo di composti a base di cellulosa, bicarbonato di sodio (NaHCO<sub>3</sub>) e sale bisodico con pH debolmente acido per patine di gesso (croste nere) o

- carbonatazioni secondarie, o alcalino per patine da ossalati di calcio.
- Rimozione della microflora mediante sostanze biocide [up.Pu.4]: lo sviluppo di patine organiche e biodeteriogeni è principalmente favorito dalle condizioni termoigrometriche di elevata umidità e ristagno e accumulo di acqua all'interno delle pareti, soprattutto in assenza di circolazione di aria. Le sostanze biocide utili alla rimozione della microflora possono essere applicate sia manualmente con pennello o spray, nel caso di materiali decoesi, sia con impacchi, preferibili per i materiali porosi perché consentono una maggiore penetrazione. Non devono inoltre risultare tossiche nè provocare reazioni fisico-chimiche con il substrato, poiché i cicli debbono essere ripetuti fino all'eliminazione di ogni residuo. Preventivamente, è possibile agire su patine spesse e aderenti mediante rimozione meccanica con spazzole e pennelli con setole rigide.
- Integrazione di intonaco per la bordatura delle lacune [UP.I] generate dall'esfoliazione del rivestimento. In questa fase, le indagini eseguite risultano essenziali per la proposta di prodotti compatibili che rispecchino le caratteristiche fisiche, chimiche e morfologiche del materiale da integrare. Il substrato di applicazione deve risultare pulito e privo di depositi incoerenti, va assicurata l'assenza di efflorescenze e subflorescenze saline e l'eventuale isolamento da fenomeni di risalita capillare per favorire un idoneo contatto in fase di presa. La bordatura si colloca infatti sull'interfaccia tra due superfici non complanari, costituendo dunque una zona particolarmente sensibile al deposito di materiale estraneo e alla formazione di fenomeni di degrado per ristagno di umidità. La malta da utilizzare deve innanzitutto rispettare la composizione dello strato di rivestimento. Il tradizionale impasto di calce e sabbia fluviale in rapporto 1:319, probabilmente utilizzato per la stesura del rivestimento, risulta però poco resistente alle sollecitazioni e non sufficientemente traspirante in presenza di un ambiente così umido, in cui è quasi impossibile deumidificare le pareti. A tale scopo è utile utilizzare un impasto con legante composto da idrossido di calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) e calce idraulica naturale in rapporto 2:120 eventualmente caricata con sabbia a granulometria fine. La malta andrà stesa con attenzione all'unione dei lembi mediante l'uso di utensili da stuccatura.

In assenza di metodi per l'eliminazione dell'umidità dalla camera, allo scopo di preservare lo stato di conservazione della parete absidale, è infine necessario prevedere un ciclo di manutenzione che, come già indicato, si riferisca sia all'ambiente interno che all'adeguamento del contesto ambientale, allo scopo di limitare le più onerose e rischiose operazioni di pulitura.

A tale scopo sarebbe utile inoltre sensibilizzare gli organismi di gestione del territorio e, più spesso, i privati proprietari alla salvaguardia di manufatti simili che, seppur posti in contesti ambientali complessi, costituiscono importanti testimonianze dello sviluppo architettonico e culturale delle aree rurali.

<sup>19</sup> Arcolao, 1998

<sup>20</sup> Franceschini, Germani, 2005

## Bibliografia

Matteini M., Moles A., La chimica nel restauro. I materiali dell'arte pittorica, Nardini Editore, Firenze, 1989

Bakos F., Cimitan L., Rossi P. P., Zaninetti A., Caratterizzazione petrologica e chimica di malte pozzolaniche antiche, in "Materiali e Strutture", 1994, IV, pp. 1-20

ARCOLAO C., Le ricette del restauro. Malte, intonaci, stucchi dal XV al XIX secolo, Marsilio Editori, Venezia, 1998

CAGNANA A., Archeologia dei materiali da costruzione, Manuali per l'archeologia, vol. I, Società Archeologica Padana, Mantova, 2000

TORIELLO B.P., Musso S.F., Tecniche di restauro architettonico, voll. I e II, Unione Tipografico – Editrice Torinese, Torino, 2003

MOROPOULOU A., BAKOLAS A., AGGELAKOPOULOU E., Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis, in "Thermochimica Acta", vol. CDXX (2004), pp. 135-140

Franceschi S., Germani L., Manuale operativo per il restauro architettonico. Metodologie di intervento per il restauro e la conservazione del patrimonio storico, DEI – Tipografia del Genio Civile, Roma, 2005 (prima edizione 2003)

Gunasekaran S., Anbalagan G., Thermical decomposition of natural dolomite, in "Bullettin of Materials Science", vol. XXX (2007), IV, pp. 339-344

SALA E., Calce e pozzolana naturale, un binomio antico e moderno. Caratterizzazione meccanica di miscele leganti desunte dalla trattatistica d'architettura (I sec. a.C.-1864), Dottorato di Ricerca in Ingegneria delle Strutture – Modellazione, Conservazione e Controllo dei Materiali e delle Strutture, Università degli Studi di Trento, XX ciclo, relatori Giuriani E., Giustina I., 2008.

Jackson M.D., Mulcahy S.R., Chen H., Li Y., Li Q., Cappelletti P., Wenk H.R., Phillipsite and Al-tobermorite mineral cements produced through low-temperature water-rock reaction in Roman marine concrete, in "American Mineralogist. Journal of Earth and Planetary Materials", vol. CII (2017), VIII, pp. 1435-1450

CNR-ICR, Raccomandazioni Normal. Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-1/80, Alterazioni macroscopiche dei materiali lapidei: Lessico

# Bibliografia supplementare

#### Per la ricerca storica e sul territorio:

Bruschi A., Introduzione alla storia dell'architettura. Considerazioni sul metodo e sulla storia degli studi, Mondadori, Milano, 2009

D'Ambrosio E., Giaccio B., Lombardi L., Marra F., Rolfo M.F., Sposato A., L'attività recente del centro eruttivo di Albano tra scienza e mito: un'analisi critica del rapporto tra il vulcano laziale e la storia dell'area albana, in "Lazio e Sabina 6. Atti del convegno –Sesto incontro di studi sul Lazio e la Sabina. Roma, 27-29 Marzo 2012", Ghini G. (a cura di), Soprintendenza per i beni archeologici del Lazio, Roma, 2009

CNR-ICR, Raccomandazioni Normal. Alterazioni dei materiali lapidei e trattamenti conservativi, Normal-36/92, Glossario per l'edilizia storica nei trattati dal XV al XIX secolo

## Per le metodologie di indagine:

Bakos F., Cimitan L., Saggi di caratterizzazione petrologica e chimica di pozzolane e malte pozzolaniche, in "Materiali e Strutture", 1992, I, pp. 1-12

CONTICELLI F., FRANCACELLI L., MANETTI P., CIONI R., SBRANA A., Petrology and geochemestry of the ultrapotassic rocks from the Sabatini Volcanic District, central Italy: the role of evolutionary process in the genesis of variably enriched alkaline magmas, in "Journal of volcanology and geothermal research", vol. LXXV(1997), pp. 107-136

Bianchini G., Marocchino E., Vaccaro C., Chemical and mineralogical characterisation of historic mortars in Ferrara (northeast Italy), in "Cement and Concrete Research", vol. XXXIV (2004), pp. 1471-1475

ELSEN J., *Microscopy of historic mortars - a review,* in "Cement and Concrete Research", vol. XXXVI (2006), pp. 1416-1424

PECCHIONI E., FRATINI F., CANTISANI E., The ancient mortars, an attestation of the material culture: the case of Florence, in "Periodico di mineralogia", vol. LXXV (2006), II-III, pp. 255-262

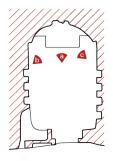
RAMPAZZI L., POZZI A., SANSONETTI A., TONIO-LO L., GIUSSANI B., A chemometric approach to the characterisation of historical mortars, in "Cement and Concrete Research", vol. XXXVI (2006), pp. 1108-1114

PALOMO A., BLANCO-VARELA M.T., MARTI-NEZ-RAMIREZ S., PUERTAS F., FORTES C., Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research, 2014 Tomasetti M., Marini F., Campanella L., Positano M., Marinucci F., Suitable classification of mortars from ancient Roman and Renaissance frescoes using thermal analysis and chemometrics, in "Chemistry Central Journal", vol. IX (2015), XXIII

# Appendice

I - Rilievo fotografico

II - Schede di campionamento e grafici

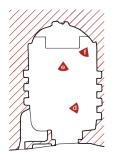








I - Rilievo fotografico

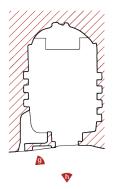




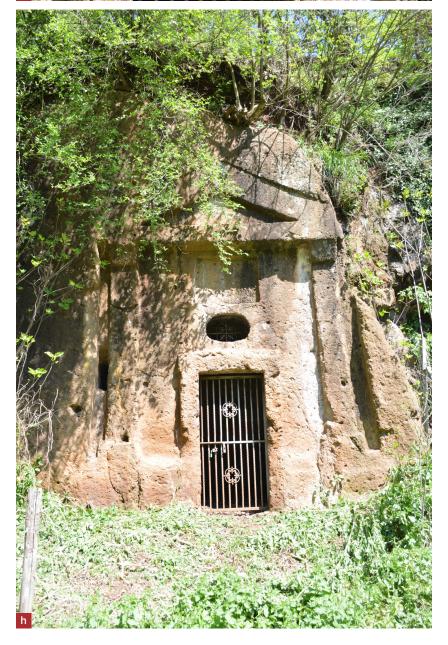




 $I-Rilievo\ fotografico$ 

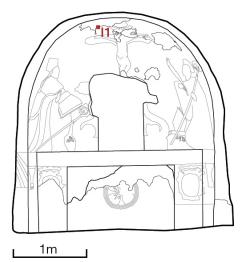






# **CAMPIONE I1**

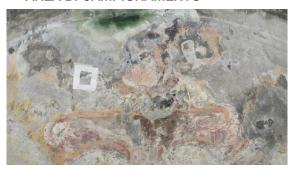




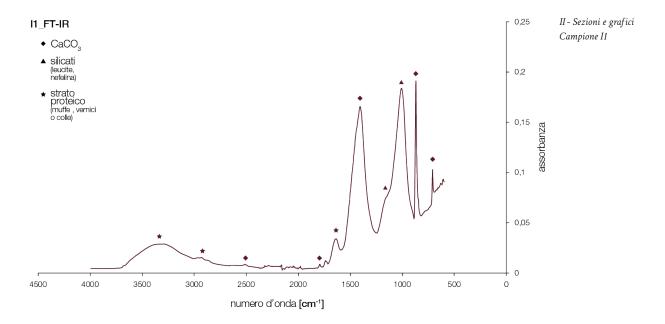
II - Schede di campionamento Campione I1

A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti - tassello diviso sulla diagonale
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	16 x 15mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, grigio
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	annerimento localizzato - crosta nera
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - in alto
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 2.76m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	crosta nera
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	12
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi degli annerimenti
	<b>c.2.</b> DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018

# AREA DI CAMPIONAMENTO

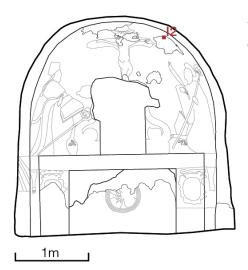






# **CAMPIONE 12**





II - Schede di campionamento Campione I2

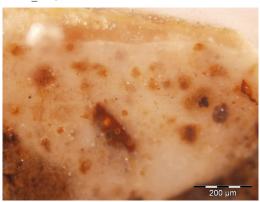
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello + frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	13 x 12mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido, grigio-bruno
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	annerimento localizzato - crosta nera
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - in alto
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 2.64m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	crosta nera
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	11
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi degli annerimenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018

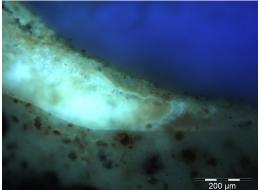
# AREA DI CAMPIONAMENTO



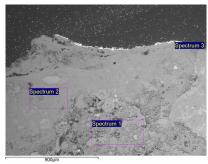


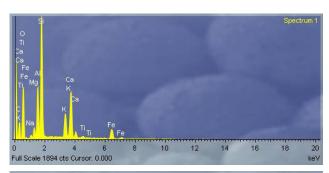
II - Sezioni e grafici
Campione I2

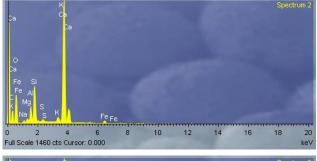


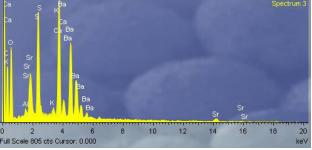


I2\_SEM

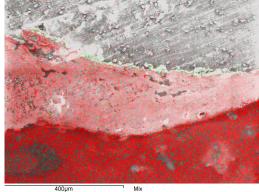




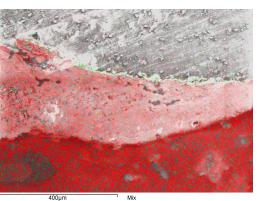




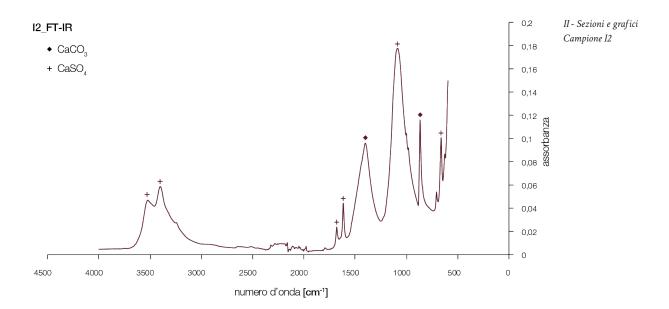
I2\_SEM\_mappe





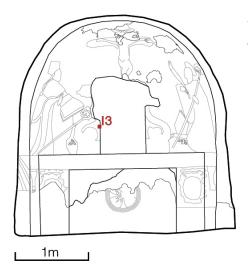


mappatura del contenuto di Ca (rosso) e S (verde)



## **CAMPIONE I3**





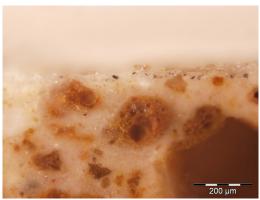
II - Schede di campionamento Campione I3

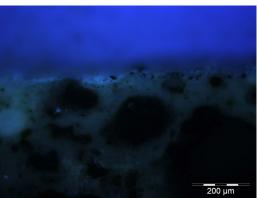
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello + frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	21 x 21mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, grigio
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	-
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - zona centrale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.43m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	I4, A6, A7 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	<b>c.2.</b> DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018



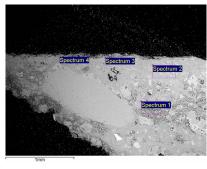


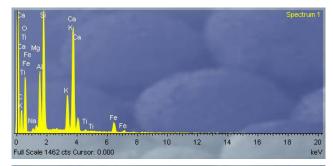
II - Sezioni e grafici
Campione I3

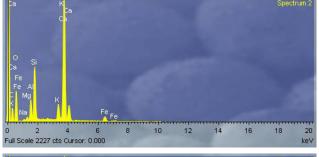




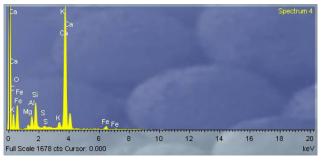
I3\_SEM

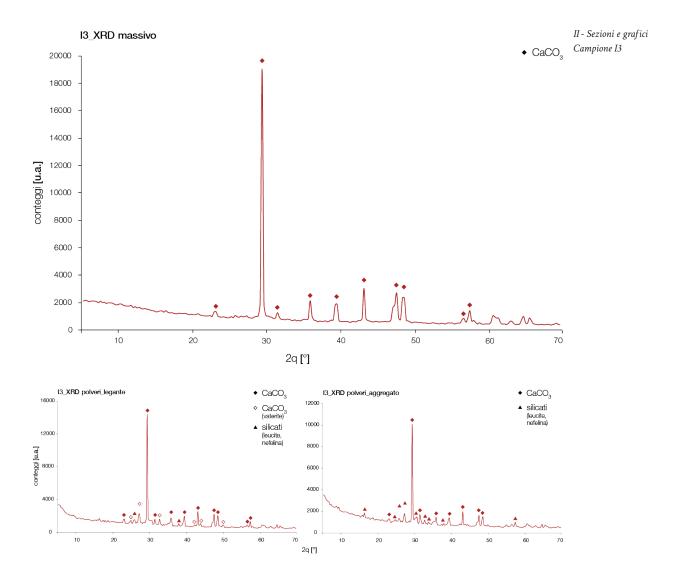


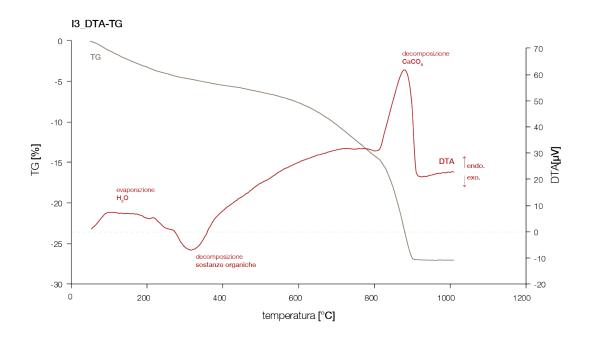




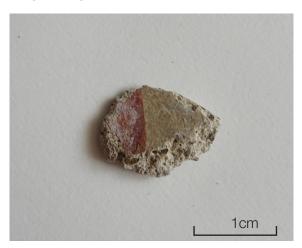


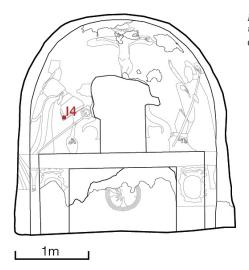






## **CAMPIONE 14**





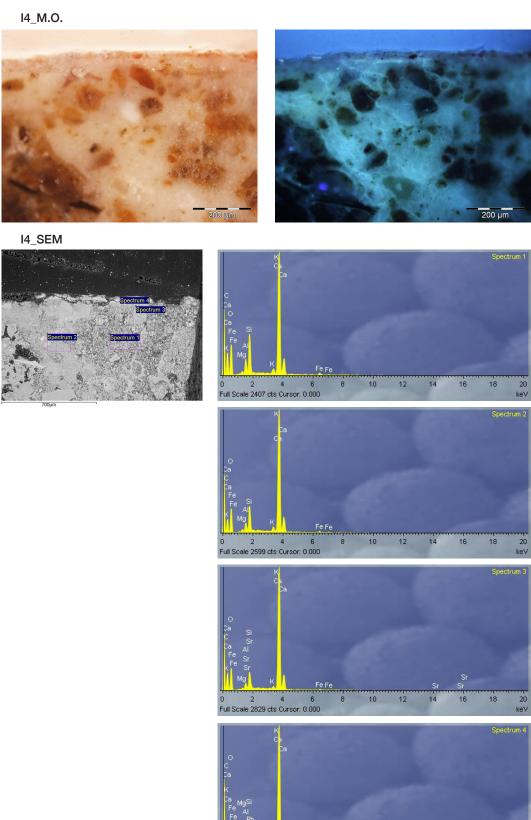
II - Schede di campionamento Campione I4

Δ	Caratteristiche del frammento	
Λ.	a.1. DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	16 x 12mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, rosso - bianco
	<b>a.5.</b> TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	-
B.	Provenienza del frammento	
	b.1. UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - zona centrale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.56m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	I3, A13 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	<b>c.2.</b> DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018

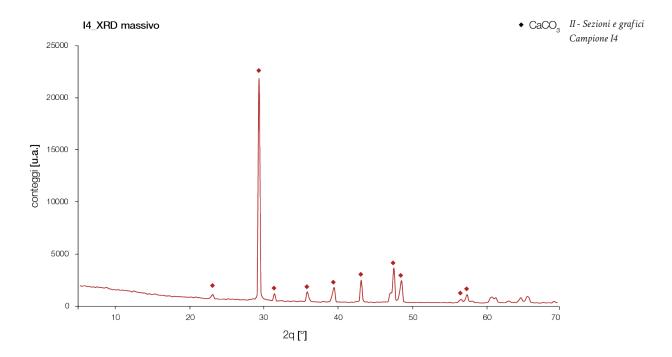




II - Sezioni e grafici Campione I4

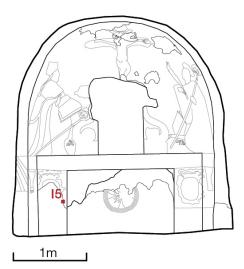


0 2 4 6 Full Scale 2274 cts Cursor: 0.000



# **CAMPIONE 15**





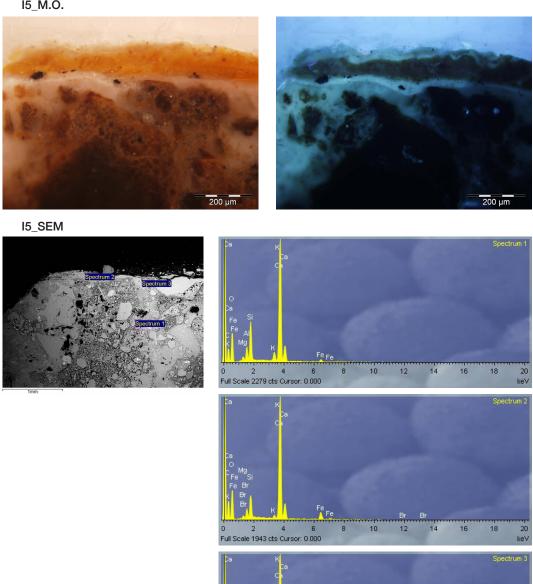
II - Schede di campionamento Campione I5

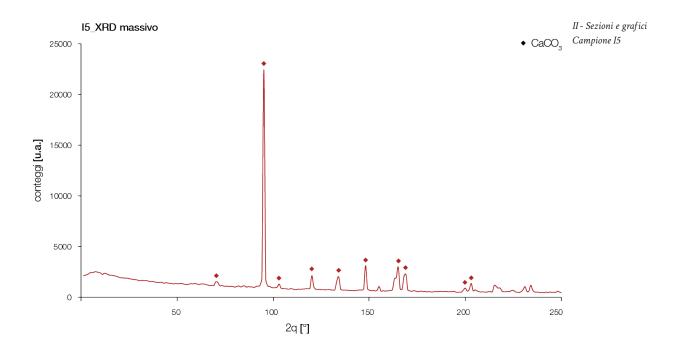
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti - tassello diviso sulla diagonale
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	31 x 20mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, giallo-bruno
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	-
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - lato sx dell'altare
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.45m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	19 111 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018

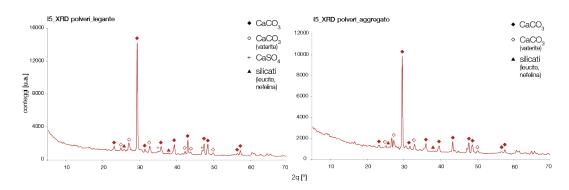


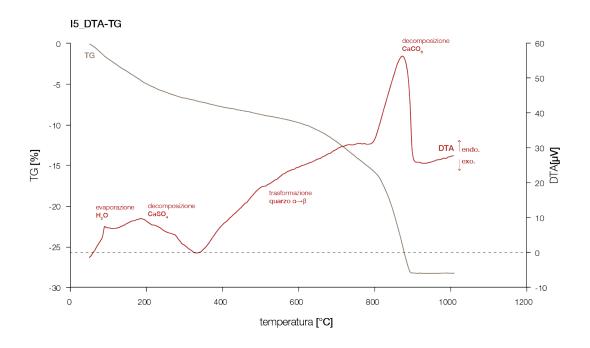


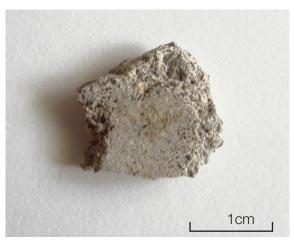
I5\_M.O. II - Sezioni e grafici Campione I5

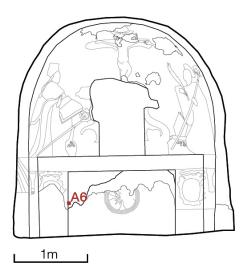












II - Schede di campionamento Campione A6

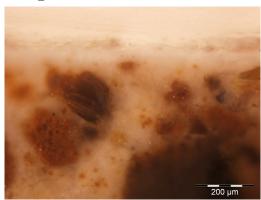
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	20 x 22mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, grigio-bruno
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	-
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	altare
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	superficie laterale sx
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Ovest
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.53m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	13, 14, A7 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018

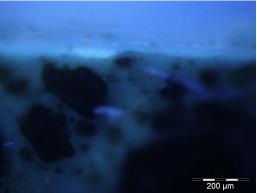




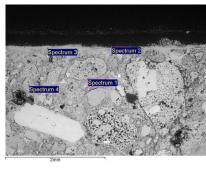
A6\_M.O.

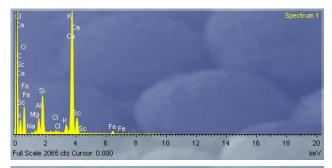
II - Sezioni e grafici
Campione A6

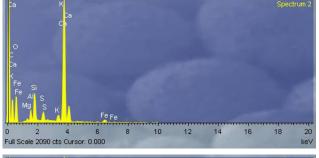


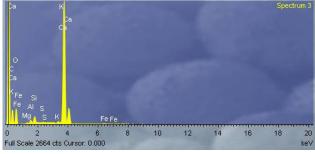


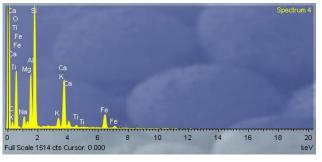
A6\_SEM

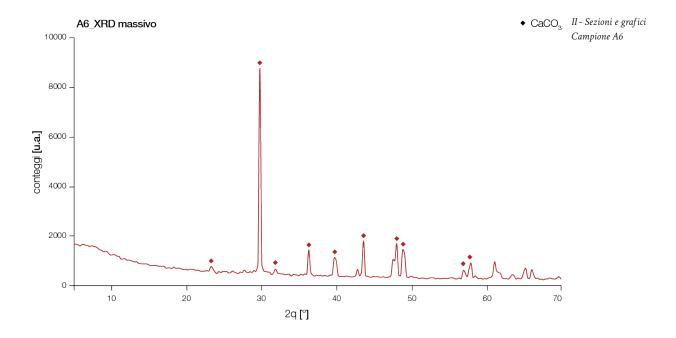


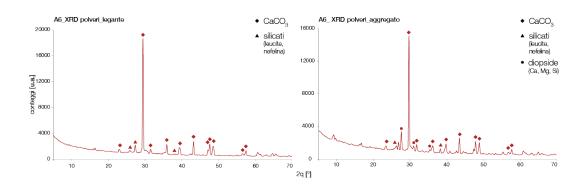


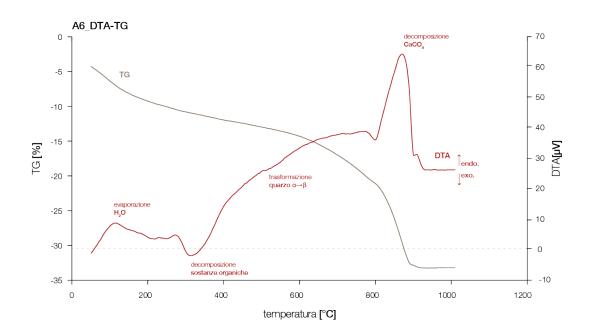




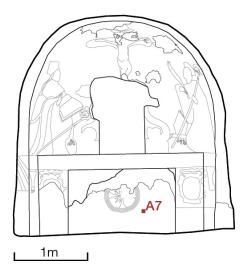












II - Schede di campionamento Campione A7

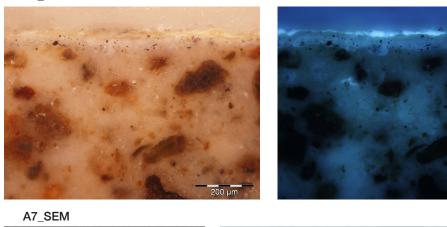
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	21 x 23mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, grigio-bruno
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	-
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	altare
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	superficie frontale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.29m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	I3, 14, a6 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018

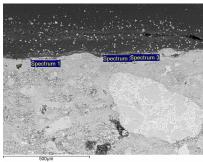


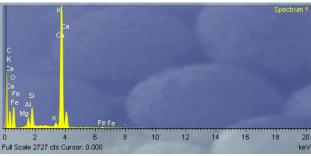


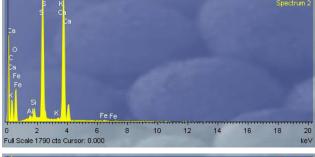
A7\_M.O.

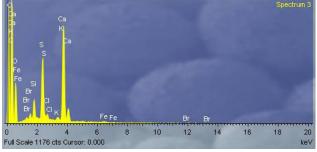
II - Sezioni e grafici
Campione A7

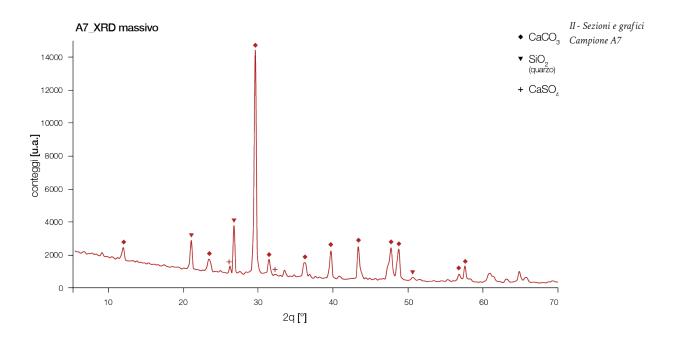




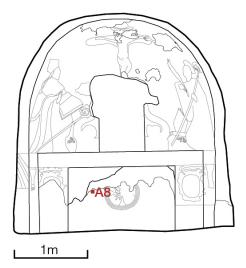










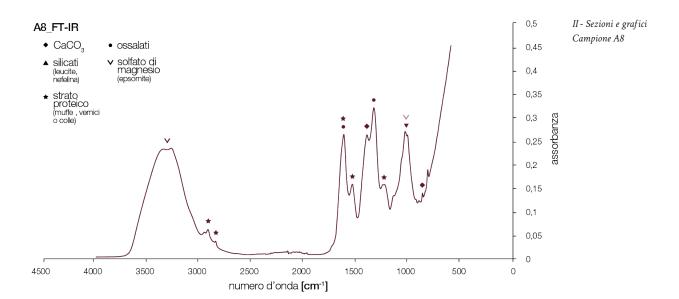


II - Schede di campionamento Campione A8

A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	24 x 29mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido, rosso-grigio
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	patina biologica
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	altare
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	superficie frontale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.53m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	strato biologico - muffe
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	19 (per il confronto sulle forme di degrado)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, osservazione della patina
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018

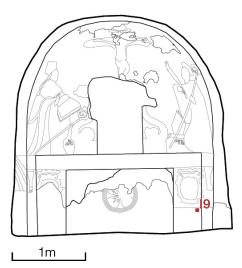






# **CAMPIONE 19**





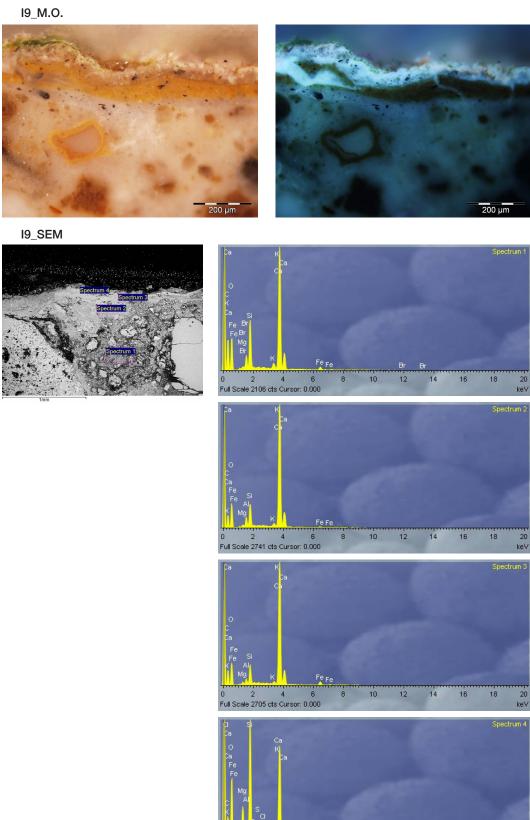
II - Schede di campionamento Campione I9

A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	31 x 29mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	patina biologica
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - lato dx dell'altare
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.27m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	strato biologico - muffe
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	A8 (per il confronto sulle forme di degrado)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, osservazione della patina
	<b>c.2.</b> DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018



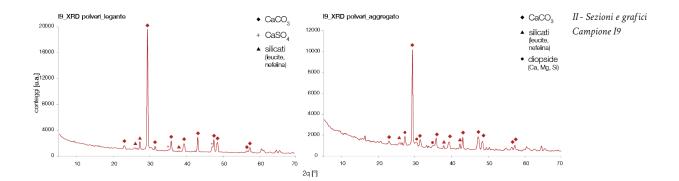


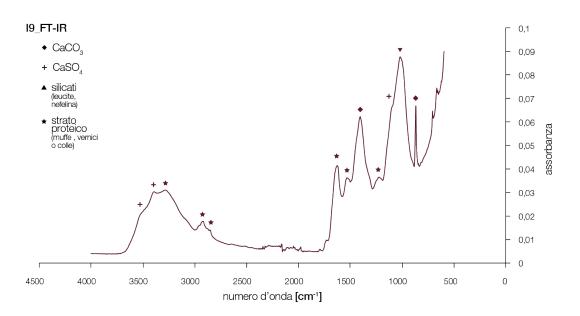
II - Sezioni e grafici Campione I9

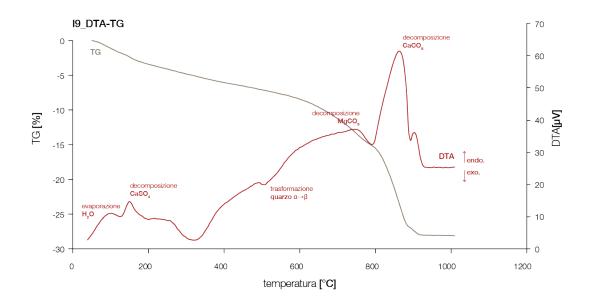


0 2 4 6 Full Scale 1438 cts Cursor: 0.000

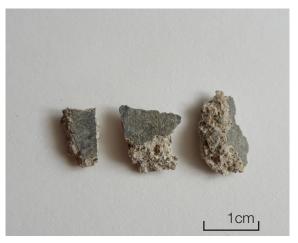
10

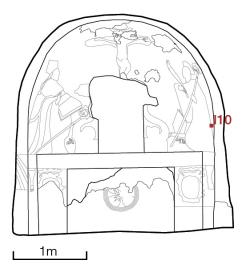






## **CAMPIONE I10**





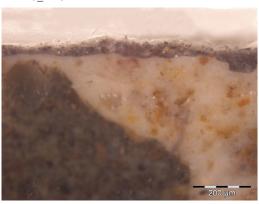
II - Schede di campionamento Campione I10

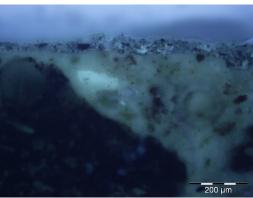
Δ	Caratteristiche del frammento	
Λ.	a.1. DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	23 x 15mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio, grigio scuro
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	-
B.	Provenienza del frammento	
	b.1. UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - zona centrale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.40m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	-
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018



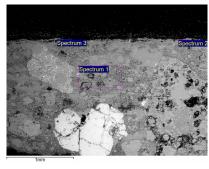


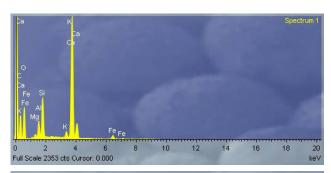
II - Sezioni e grafici
Campione II0



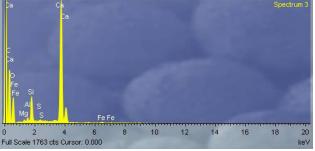


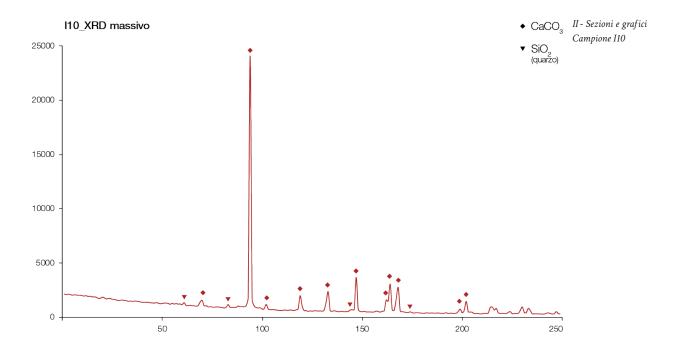
I10\_SEM





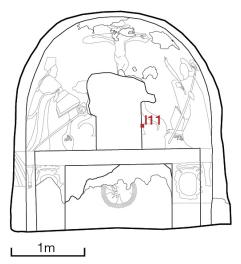






## **CAMPIONE I11**





II - Schede di campionamento Campione I11

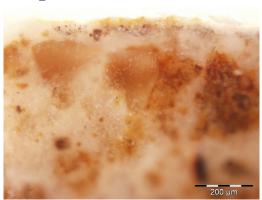
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	tassello
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	21 x 22mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	rasato liscio - giallo
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	-
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Nord
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	abside - zona centrale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.38m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	-
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	15 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	26 / 04 / 2018

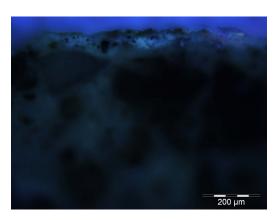




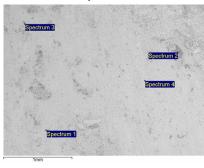
I11\_M.O.

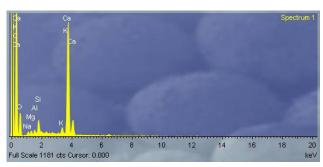
II - Sezioni e grafici Campione I11

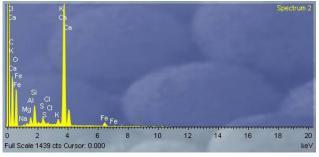


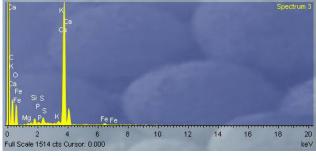


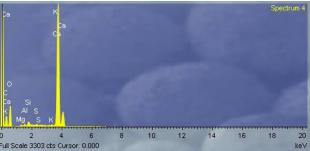
I11\_SEM superficie



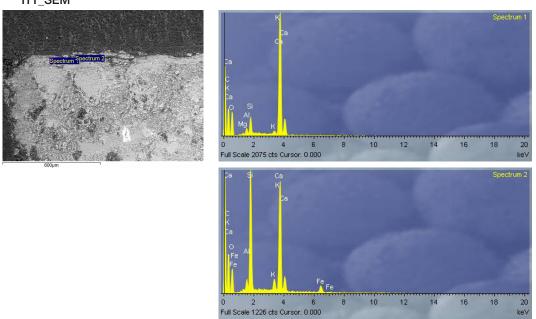


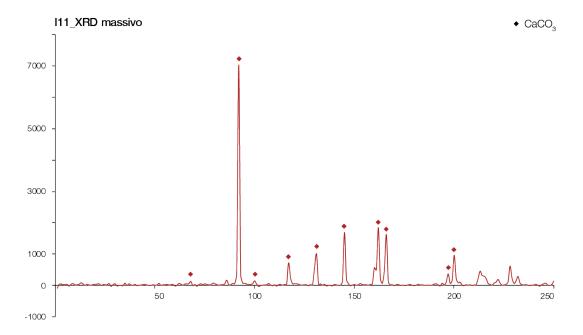


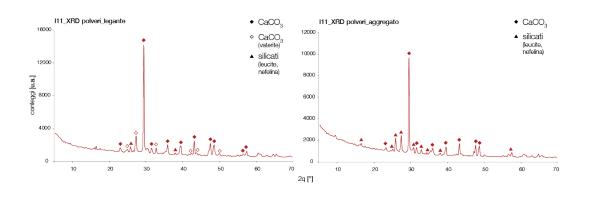


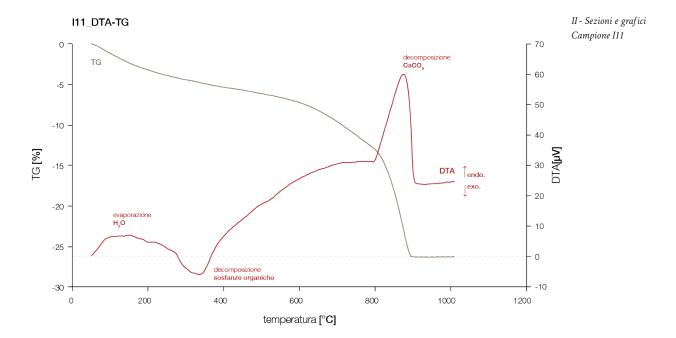


I11\_SEM II - Sezioni e grafici Campione I11

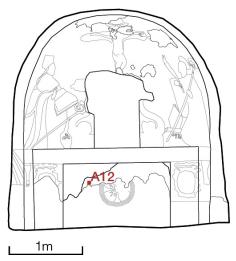










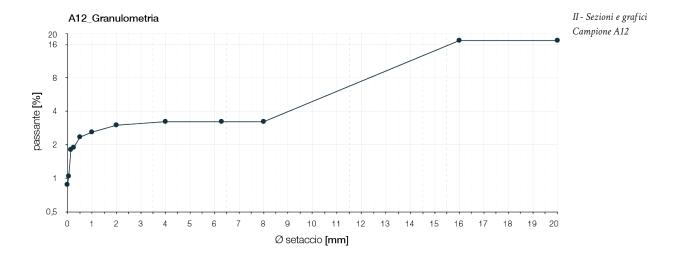


II - Schede di campionamento Campione A12

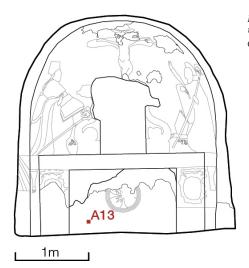
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	substrato in blocchi di tufo
	a.2. FORMA	scaglia
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	-
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	-
	<b>a.5.</b> TIPI DI ALTERAZIONE (rif. <i>NORMAL - 1/80</i> )	patina biologica
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	altare
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	superficie della mensa
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.60m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	strato biologico - muffe
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	-
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	osservazione del substrato
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018











II - Schede di campionamento Campione A13

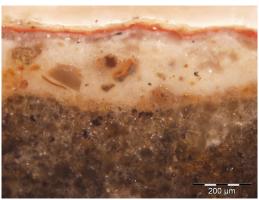
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	intonaco di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	20 x 24mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido - rosso
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	patina biologica
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	altare
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	superficie frontale
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Sud
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 0.15m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	strato organico - muffe
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	A4 (per confronto sul colore)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, analisi dei pigmenti
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018

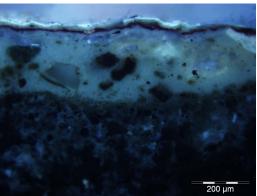




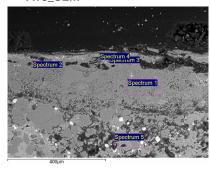
A13\_M.O.

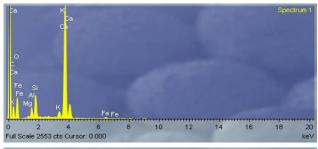
II - Sezioni e grafici
Campione A13

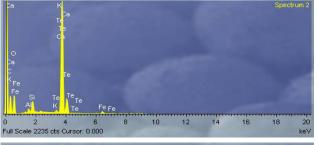


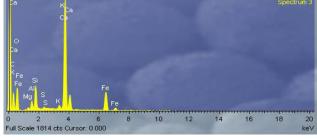


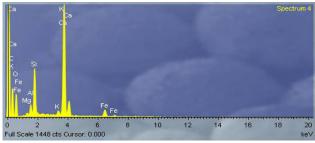
A13\_SEM

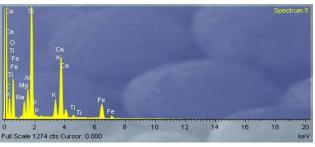


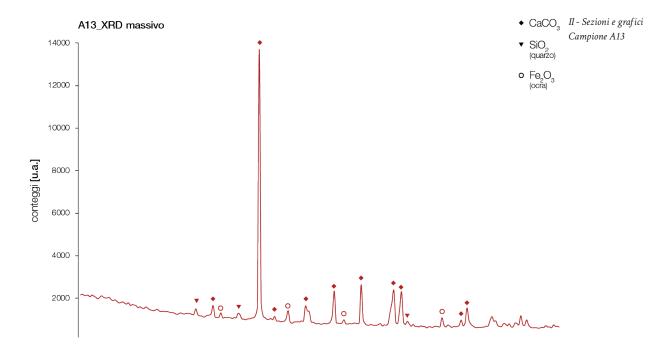


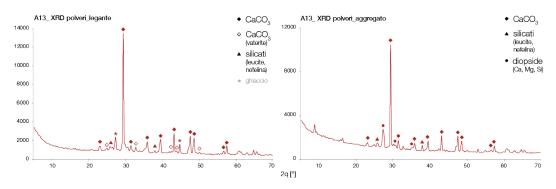


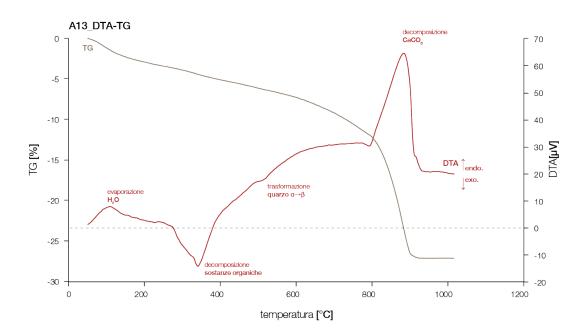






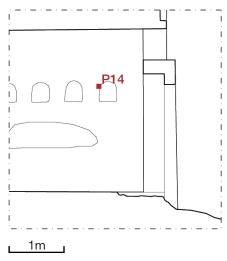






## **CAMPIONE P14**





II - Schede di campionamento Campione P14

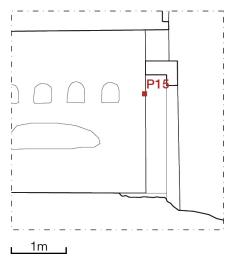
A.	Caratteristiche del frammento	
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	malta di rivestimento
	a.2. FORMA	frammenti
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	13 x 18mm
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	alterazione e croste
B.	Provenienza del frammento	
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO	
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Est
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	bordo della nicchia
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Ovest
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.87m
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	croste e patina gialla
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	P15 (composizione e forme di degrado)
C.	Recupero / Rimozione	
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, osservazione delle patine
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018





## **CAMPIONE P15**





II - Schede di campionamento Campione P15

A. Caratteristiche del frammento			
	<b>a.1.</b> DENOMINAZIONE D'USO DEL MATERIALE	malta di rivestimento	
	a.2. FORMA	frammenti	
	a.3. DIMENSIONI DEL TAGLIO	19 x 16mm	
	<b>a.4.</b> TIPO DI LAVORAZIONE o FINITURA DELLE SUPERFICI	ruvido	
	a.5. TIPI DI ALTERAZIONE (rif. NORMAL - 1/80)	alterazione e croste	
B.	B. Provenienza del frammento		
	<b>b.1.</b> UBICAZIONE DEL FRAMMENTO		
	b.1.1. Posizione rispetto all'ambiente	parete Sud	
	<b>b.1.2.</b> Collocazione rispetto all'elemento costruttivo	soglia della porta	
	b.1.3. Orientamento della faccia vista	Nord	
	b.1.4. Quota dal suolo	+ 1.87m	
	<b>b.2.</b> EVENTUALI MATERIALI DIVERSI A CONTATTO	croste e patina gialla	
	<b>b.3.</b> PRESENZA NELL'EDIFICIO DI ALTRO MATERIALE DELLA STESSA NATURA	P14 (composizione e forme di degrado)	
C.	C. Recupero / Rimozione		
	c.1. MOTIVO	caratterizzazione, osservazione delle patine	
	c.2. DESCRIZIONE DELLE MODALITÀ DI RECUPERO	taglio a bisturi e scalpellino	
	c.3. DATA	24 / 04 / 2018	

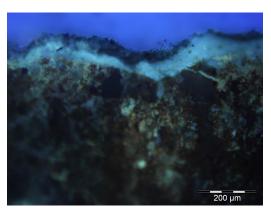




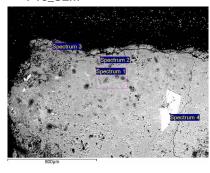
P15\_M.O.

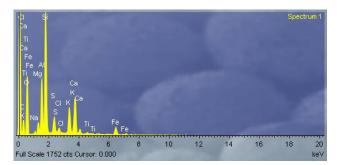
II - Sezioni e grafici Campione P15

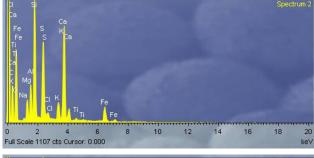


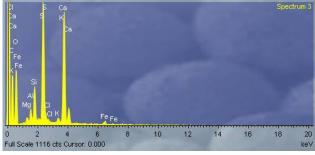


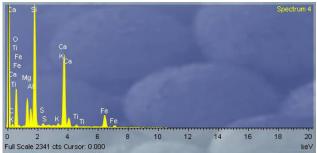
P15\_SEM



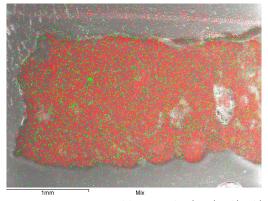








P15\_SEM\_mappe



II - Sezioni e grafici Campione P15

mappatura del contenuto di Si (rosso) e Cl (verde)

