



ATLANTI
DELLA CONSERVAZIONE
DEL PATRIMONIO CULTURALE

ATLASES
OF CONSERVATION
OF CULTURAL HERITAGE

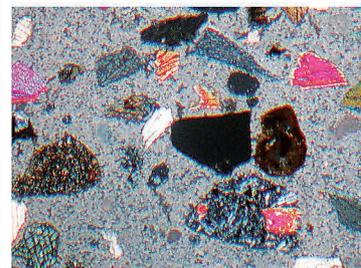
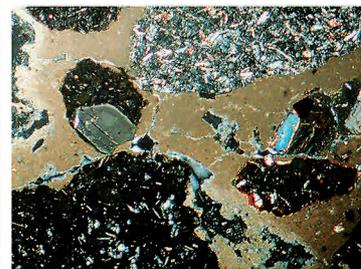
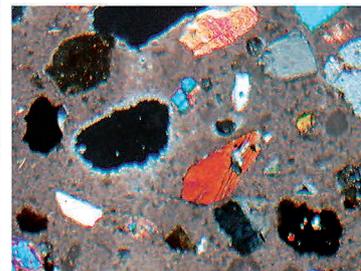
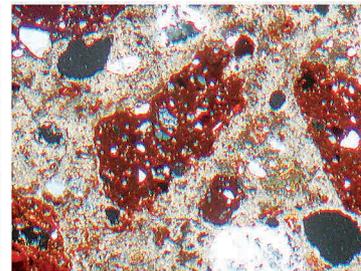
ATLANTE DELLE MALTE ANTICHE

IN SEZIONE SOTTILE AL MICROSCOPIO OTTICO

ATLAS OF THE ANCIENT MORTARS

IN THIN SECTION UNDER OPTICAL MICROSCOPE

Elena Pecchioni, Fabio Fratini, Emma Cantisani



NARDINI EDITORE



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE
DST
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE DELLA TERRA



Consiglio
Nazionale
delle Ricerche



ISTITUTO DI
SCIENZE DEL
PATRIMONIO CULTURALE

Si ringrazia



We make it visible.

ATLANTE DELLE MALTE ANTICHE
IN SEZIONE SOTTILE AL MICROSCOPIO OTTICO
*ATLAS OF THE ANCIENT MORTARS
IN THIN SECTION UNDER OPTICAL MICROSCOPE*

Elena Pecchioni, Fabio Fratini, Emma Cantisani

Da notare: tutti gli autori devono essere considerati
come principali autori

To be noted: *all the authors should be considered
as principal authors*

Coordinamento Andrea Galeazzi
Grafica Ennio Bazzoni
Redazione Sara de Cristofaro

© 2014-2020 Nardini Editore, Firenze
www.nardinieditore.it
info@nardinieditore.it

In copertina: particolare del dipinto murale del Sodoma *Come Benedetto appare in sogno a due monaci e disegna la costruzione del monastero*, Abbazia di Monte Oliveto Maggiore, Chiostro Grande; sezioni sottili pp. 33, 57.

Front page: Il Sodoma, *Come Benedetto appare in sogno a due monaci e disegna la costruzione del monastero*, wall painting, detail, Monte Oliveto Maggiore Abbey, Chiostro Grande; thin sections, pages 33, 57.

Prefazione

Esistono diversi modi di intraprendere lo studio della storia dell'uomo: attraverso i testi scritti, i resti trovati negli scavi archeologici come sepolture e ceramiche, oppure tramite lo studio di monumenti e strutture murarie. In particolar modo lo studio di alcuni materiali artificiali costituenti gli edifici storici, come le malte, si rivela particolarmente interessante in quanto queste mantengono e ci trasmettono non solo una forma, ma anche il materiale costitutivo la cui caratterizzazione ci permette di trarre informazioni sulle antiche tecnologie utilizzate per la loro realizzazione. Le informazioni che possiamo acquisire dallo studio di questi materiali contribuiscono quindi alla conoscenza del nostro passato e della nostra storia ed inoltre forniscono dati utili alla conservazione del Patrimonio Culturale.

Le malte sono materiali utilizzati in architettura con funzioni anche molto diverse tra loro, per allettamento degli elementi di una muratura (laterizi, conci lapidei), come riempimento del nucleo delle murature stesse, come rivestimento delle pareti (intonaci) o supporto per dipinti murali, fino a materiale per far aderire decorazioni ecc.

Scopo di questo atlante è quello di illustrare, attraverso un panorama di immagini in sezione sottile petrografica al microscopio ottico polarizzatore in luce trasmessa, varie tipologie di malte che si differenziano per tipo di legante (aereo, idraulico, ecc.) e per caratteristiche tessiturali e granulometriche non sempre di facile identificazione. L'idea di un atlante di immagini di malte in sezione sottile, realizzato analogamente agli atlanti dei minerali e delle rocce in sezione sottile, è sentita come un'esigenza fondamentale nella didattica della Petrografia Applicata perché le osservazioni in sezione sottile sono quelle che permettono di trarre il maggior numero di informazioni nello studio di questi "materiali lapidei artificiali".

Tutte le immagini fanno parte dell'archivio fotografico del CNR-ISPC di Firenze e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze. Alcune delle immagini sono state acquisite nell'ambito di progetti di collaborazione con i seguenti Enti:

- Provincia di Trento per lo studio delle malte di Torre Vanga;
- Soprintendenza Regionale per i Beni e le Attività Culturali della Valle d'Aosta per lo studio di malte di età romana presenti nella regione stessa e in Tunisia, e per lo studio di malte di età medievale;
- Istituto Svedese di Roma per lo studio degli intonaci dell'*Insula I 9* di Pompei;
- Istituto Papirologico G. Vitelli Firenze per lo studio

Foreword

There are several ways to undertake the study of human history: through the written texts, the remains found in archaeological excavations such as burials, ceramics, or the study of monuments and masonry structures. In particular, the study of some artificial materials constituting the historic buildings, such as mortars, is very interesting because they maintain and transmit to us, not only the aspect of an artifact, but also the constitutive material, whose study, allows us to draw information on the ancient technologies used to realize the artifact itself. The information we may obtain from the study of these materials, contribute to the knowledge of our past and our history, and also provide useful data for the conservation of Cultural Heritage. The mortars are materials used in architecture with very different functions: as bedding mortars of bricks and stone blocks, as filling of the nucleus of the walls themselves, as rendering of walls, support for mural paintings, up to material to join decorations etc. Purpose of this atlas is to illustrate, through a panorama of images of thin sections observed under optical microscope in transmitted light, several typologies of mortars which differ in type of binder (air hardening, hydraulic, etc.), textural characteristics and grain size. The idea of an atlas of images of mortars in thin section, according to similar atlases of minerals and rocks in thin section, is perceived as a fundamental requirement in teaching Applied Petrography because the observations in thin section under an optical microscope in transmitted light, are those that allow to get the most information in the study of these "artificial stone materials."

All the images belong to the photographic archives of the CNR-ISPC of Florence and to the Earth Sciences Department of the University of Florence.

Some of the images have been acquired as part of collaborative projects with the following Institutions:

- Province of Trento concerning the study of the Torre Vanga building materials;
- Regional Superintendence for the Heritage and Cultural Activities of Valle d'Aosta concerning the study of mortars of Roman age present in the territory of the region itself and in Tunisia and for the study of mortars of the Middle Ages;
- Swedish Institute of Rome for the study of the plasters of *Insula I 9* in Pompeii;
- Papirologico G. Vitelli Institute in Florence concerning the study of the mortars from Ramesse II Temple in Antinopolis (Egypt);
- CNR-ISAC Bologna concerning the study of the mortars from Macheronte (Jordan);

- delle malte del Tempio di Ramesse II ad Antinoupolis (Egitto);
- CNR-ISAC Bologna per lo studio delle malte di Macheronte (Giordania);
 - Laboratorio di Analisi dei Materiali-Dipartimento di Storia dell'Architettura, Restauro e Conservazione dei Beni Architettonici della Università di Roma "La Sapienza", per lo studio di malte da scavi archeologici del comune di Roma.

– *Laboratory for the Analysis of Materials-Department of History of Architecture, Restoration and Conservation of Architectural Heritage of the University of Rome "La Sapienza", for the study of mortars from archaeological excavations of the Municipality of Rome.*

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare Gherardo Saviozzi, di Pisa, che ha realizzato con tanta passione ed estrema maestria la maggior parte delle sezioni sottili utilizzate per la realizzazione di questo atlante. Desideriamo altresì ringraziare Andrea Rattazzi, presidente della Banca della Calce di Bologna, che per primo ebbe l'idea di proporre, ad uno di noi, un "atlante delle malte". Purtroppo i tanti impegni lo hanno allontanato da questo progetto e ce ne dogliamo.

Acknowledgments

The authors would like to thank Gherardo Saviozzi, from Pisa, who realized with great passion and great skill most part of the thin sections used for the realization of this atlas. We would like also to thank Andrea Rattazzi, president of Banca della Calce of Bologna, who first had the idea to propose to one of us an "atlas of mortars". Unfortunately, the many commitments moved away him from this project and we feel sorry for this.

Indice / Contents

PREFAZIONE <i>FOREWORD</i>	p. 5	IMMAGINI IN SEZIONE SOTTILE AL MICROSCOPIO OTTICO <i>IMAGES OF THIN SECTIONS UNDER OPTICAL MICROSCOPE</i>	
RINGRAZIAMENTI <i>ACKNOWLEDGMENTS</i>	» 6		
AUTORI <i>AUTHORS</i>	» 8	1. Tipologie di leganti <i>Typologies of binders</i>	p. 25
		1.1. Calce aerea calcica <i>Air hardening calcic lime binder</i>	» 25
		1.2. Calce aerea magnesiaca <i>Air hardening magnesian lime binder</i>	» 29
		1.3. Leganti di calce aerea con componenti idraulicizzanti <i>Air hardening binders with addition of materials providing hydraulic characteristics</i>	» 33
		1.4. Leganti idraulici (calce idraulica naturale, cementi moderni) <i>Hydraulic binders (natural hydraulic lime, modern hydraulic binders)</i>	» 38
		1.5. Leganti gessosi <i>Gypsum binders</i>	» 44
I COSTITUENTI DELLE MALTE <i>THE COMPONENTS OF THE MORTARS</i>		2. Grumi <i>Lumps</i>	» 46
INTRODUZIONE <i>INTRODUCTION</i>	» 9	3. Residui di combustibile <i>Remnants of fuel</i>	» 55
1. CARATTERIZZAZIONE DEL LEGANTE <i>BINDER CHARACTERIZATION</i>	» 10	4. Aggregato <i>Aggregate</i>	» 56
1.a. COMPOSTI IDRAULICIZZANTI <i>MATERIALS PROVIDING HYDRAULIC CHARACTERISTICS</i>	» 11	4.1. Aggregato: granuli mono/policristallini <i>Aggregate: monocrystalline vs polycrystalline grains</i>	» 56
2. GRUMI <i>LUMPS</i>	» 12	4.2. Aggregato: varietà compositiva <i>Aggregate: compositional variety</i>	» 59
3. CARATTERIZZAZIONE DELL'AGGREGATO <i>AGGREGATE CHARACTERIZATION</i>	» 14	4.3. Aggregato: granulometria <i>Aggregate: grain size</i>	» 66
4. ADDITIVI E AGGIUNTE <i>ADDITIVES AND ADMIXTURES</i>	» 16	4.4. Aggregato: forma e contorno <i>Aggregate: shape</i>	» 68
5. RAPPORTO LEGANTE /AGGREGATO <i>BINDER/AGGREGATE RATIO</i>	» 17	5. Rapporto legante /aggregato <i>Binder/Aggregate ratio</i>	» 71
6. POROSITÀ <i>POROSITY</i>	» 17	6. Porosità <i>Porosity</i>	» 73
7. PROCESSI SECONDARI E PRODOTTI DI DEGRADO <i>SECONDARY PROCESSES AND DECAY PRODUCTS</i>	» 18	7. Processi secondari e prodotti di degrado <i>Secondary processes and decay products</i>	» 76
ANALISI IN SEZIONE SOTTILE PETROGRAFICA <i>PETROGRAPHIC ANALYSIS IN THIN SECTION</i>	» 18		
PREPARAZIONE DEI CAMPIONI <i>PREPARATION OF THE SAMPLES</i>	» 19		
DESCRIZIONE DI UNA MALTA AL MICROSCOPIO OTTICO POLARIZZATORE IN LUCE TRASMESSA <i>DESCRIPTION OF THE MORTAR OBSERVED UNDER THE OPTICAL MICROSCOPE IN POLARIZED TRANSMITTED LIGHT</i>	» 19		
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI <i>REFERENCES</i>	» 20		

Autori / Authors

Elena Pecchioni – elena.pecchioni@unifi.it

Laureata in Scienze Geologiche a Firenze nel 1985 con una tesi in Petrografia Applicata; è borsista per 4 anni presso il Centro di Studi e Conservazione Opere d'Arte del CNR di Firenze ora istituto CNR-ISPC con una ricerca sul tema "Problemi di Conservazione del Materiale lapideo". Dal 1990 lavora presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze dove svolge attività di ricerca nell'ambito della Conservazione dei Beni Culturali relativamente ai materiali lapidei naturali ed artificiali. Dal 1992 fino al 2007 fa parte delle Commissioni Normal, attualmente UNI-Normal per la standardizzazione delle metodologie analitiche di caratterizzazione delle malte, ceramiche e vetri antichi e dei materiali lapidei utilizzati in architettura. È stata docente a contratto di Mineralogia e Petrografia Applicata alla Scuola di Alta Formazione - Opificio delle Pietre Dure di Firenze. È membro dell'AIAR Associazione italiana di Archeometria. In questi anni ha prodotto numerose pubblicazioni scientifiche e partecipazioni a congressi nazionali ed internazionali, oltre a essere co-autore di due libri nel settore specifico.

Graduated in Geological Sciences at the University of Florence in 1985 with a thesis in Applied Petrography, she took a 4 years scholarship at the CNR-Center for the Study and Conservation of Works of Art of Florence (now ISPC) with a research on the "Problems of Conservation of Stone material". From 1990 she works at the Earth Science Department-University of Florence, where she conducts research in the field of the conservation of Cultural Heritage in relation to natural and artificial stone materials. From 1992 until 2007 she participates to the activity of UNI-Normal for the standardization of analytical methods for the characterization of mortars, ceramics, antique glass and stone materials used in architecture. She has been contract professor of Mineralogy and Applied Petrography to Scuola di Alta Formazione - Opificio delle Pietre Dure of Florence. She is member of AIAR-Italian Association of Archaeometry and co-author of numerous scientific publications as well as of two books on the building materials of historical architecture.

Fabio Fratini – fabio.fratini@cnr.it

Laureato in Scienze Geologiche all'Università di Firenze nel 1982; dal 1984 svolge la sua attività come ricercatore presso l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR dove si occupa di studi archeometrici dei materiali lapidei, laterizi, terrecotte e malte utilizzate in architettura finalizzati in particolare alla comprensione dei fenomeni di degrado ed alla messa a punto di interventi conservativi. Fa parte delle commissioni UNI-Normal per la standardizzazione delle metodologie analitiche di caratterizzazione delle malte antiche e dei materiali lapidei utilizzati in architettura. È membro del Consiglio scientifico del Congresso "Scienza e Beni Culturali", del comitato organizzativo RIPAM (Rencontres Internationales du Patrimoine Architectural Méditerranéen) e socio Fondatore de Forum Italiano Calce. È coautore di oltre 300 pubblicazioni scientifiche.

Graduated in Geological Sciences at the University of Florence in 1982, since 1984 he works as researcher at CNR-ISPC where he carries out archeometric studies of stones, brick, terracotta and mortars used in architecture, particularly with the aim to understand the decay phenomena and to develop conservation procedures. He participates in the activity of the UNI-Normal Committee for the standardization of analytical methods for the characterization of ancient mortars and stones used in architecture. He is member of the Scientific Council of the Congress "Science and Cultural Heritage", of the RIPAM organizing committee (Rencontres Internationales du Patrimoine Architectural Méditerranéen) and he is founding member of Italian Lime Forum. He is co-author of more than 300 scientific publications.

Emma Cantisani – emma.cantisani@cnr.it

Si laurea all'Università di Pisa nel 1999 con una tesi sperimentale in Petrografia Applicata; nel 2003 consegue il titolo di Dottore di Ricerca in Scienza per la Conservazione dei Beni Culturali all'Università di Firenze con una ricerca avente come oggetto lo studio delle relazioni esistenti tra caratteristiche mineralogiche, petrografiche, fisiche e fenomeni di degrado per i marmi. Attualmente è ricercatrice presso l'Istituto di Scienze del Patrimonio Culturale (ISPC) del CNR dove si occupa di caratterizzazione di materiali lapidei naturali ed artificiali con finalità archeometriche e conservative. È coautore di numerose pubblicazioni su riviste scientifiche nazionali ed internazionali. Membro dell'AIAR, è stata docente a contratto di Mineralogia e Gemmologia presso la Facoltà di Architettura dell'Università di Firenze.

Graduated in Geological Sciences at the University of Pisa in 1999 with a thesis in Applied Petrography, in 2003 she obtained the PhD in Science for Conservation of Cultural Heritage at the University of Florence with a research on the study of the relationships between the mineralogical, petrographic and physical characteristics of marbles and their decay. At present she is researcher at the CNR-Institute of Heritage Science (ICPC) where she carries out researches on the characterization of natural and artificial stones with archeometric and conservative purposes. She is co-author of many publications on national and international scientific journals. She is member of AIAR, she has been professor of Mineralogy and Gemology at the Faculty of Architecture of University of Florence.

I COSTITUENTI DELLE MALTE

THE COMPONENTS OF THE MORTARS

Introduzione

Prima di descrivere in dettaglio le immagini delle sezioni sottili raggruppate per tipo di legante, aggregato, impasto ecc., è necessario illustrare le caratteristiche dei singoli componenti costituenti le malte e quali informazioni si possono ottenere con uno studio di tipo petrografico.

Una malta secondo la normativa – Documento UNI 10924 (2001) – viene definita come “una miscela di leganti inorganici od organici, aggregati prevalentemente fini, acqua ed eventuali aggiunte di additivi organici e/o inorganici (o miscela di solo legante e acqua) in proporzioni tali da conferire all'impasto, allo stato fresco un'opportuna lavorabilità e, allo stato indurito, adeguate caratteristiche fisiche (porosità, permeabilità all'acqua ecc.) meccaniche (resistenza, deformabilità, aderenza ecc.), di aspetto, di durabilità ecc.”.

Una malta quindi è composta da:

- a) legante,
- b) aggregato,
- c) acqua,
- d) eventuale aggiunta di composti idraulicizzanti,
- e) eventuali additivi e aggiunte.

La completa caratterizzazione di questo tipo di materiali dovrebbe prevedere indagini di tipo chimico, mineralogico, petrografico e fisico-meccanico. L'insieme dei dati ottenuti ne garantisce una corretta conoscenza, consentendo, in caso di necessità, anche un buon intervento di restauro e conservazione. La caratterizzazione delle malte antiche può in alcuni casi risalire, con buona approssimazione, anche alle “ricette originali”.

Ogni metodologia di studio, sia essa chimica, mineralogica, petrografica o fisica, presa separatamente, non è in grado di fornire una caratterizzazione esaustiva di una malta; ciò nondimeno lo studio petrografico in sezione sottile è la metodologia che meglio permette di ottenere la maggior quantità di informazioni sulla natura del materiale e sulla cultura materiale che lo ha prodotto. Per completezza bisogna però dire che tale studio non permette di evidenziare l'eventuale presenza di additivi organici (es. sostanze come olii, rosso d'uovo, chiara d'uovo ecc.).

Lo studio petrografico permette in primo luogo di riconoscere il tipo di legante e la natura dell'aggregato. In particolare è possibile capire quale pietra da calce sia stata utilizzata, il rapporto tra calce e aggregato, l'origine dell'aggregato (se da sedimento o se ottenuto per macinazione) e la sua composizione.

Riguardo alle materie prime utilizzate nella realizzazione di un malta, questo tipo di studio consente di avere anche indicazioni sulle zone di approvvigionamento. Nel

Introduction

Before describing the images in thin section, it is necessary to explain which are the components that constitute a mortar and which kind of information can be obtained from a petrographic study of the mortars.

A mortar, according to the rule UNI 10924 (2001), is defined as “a mixture of inorganic or organic binder, aggregates, water and possible addition of organic/inorganic additives in such proportions as to confer to the mixture, in the fresh state, a suitable workability and, in the hardened state, suitable physical, mechanical, aesthetical characteristics together good durability”.

Therefore a mortar is realized with:

- a) binder,
- b) aggregate,
- c) water,
- d) possible addition of materials providing hydraulic characteristics,
- e) possible additives and admixtures.

It is important to remember that a complete study of this kind of materials would have to foresee chemical, mineralogical, petrographical, physical and mechanical investigations, ensuring their correct characterization. Such kind of data are necessary in the case of a restoration, moreover would allow, in some cases, to go back, to the “original recipes”.

Each methodology of study, chemical, mineralogical, petrographic or physical, taken separately, is not able to provide a comprehensive characterization of a mortar; nevertheless the study in petrographic thin section is certainly the method which allows to obtain the greatest amount of information on the nature of the material and on the Material Culture that produced it. It is important to underline that the petrographic study does not allow to highlight the possible presence of organic additives (e.g. oils, egg yolk, egg white, etc.).

The petrographic study allows especially to recognize the type of binder and the nature of the aggregate. In particular it is possible to understand which kind of stone has been used to produce the lime, the ratio between binder and aggregate, the origin of the aggregate (from sediment or through grinding of rocks) and its composition.

With regard to raw materials used in the realization of a mortar, this type of study allows to have information on the supply areas. In case the raw materials varied over time and came into use in an area only from a particular historical moment, the petrographic characterization may be useful to give an indication of its relative dating.

dagare i pori con dimensioni minori di $10 \mu\text{m}$ che sono quelli che dipendono sia da un eccesso di acqua di impasto che dal tipo di legante (i leganti di tipo idraulico sviluppano una minor quantità di micropori rispetto alla calce aerea; i leganti idraulici moderni a loro volta hanno una porosità minore rispetto alle calce idrauliche naturali (Jornet et al., 2010)). Nelle immagini che seguiranno illustreremo quindi solo la macroporosità.

7. Processi secondari e prodotti di degrado

Il legante delle malte può subire nel tempo processi di dissoluzione e ricristallizzazione ad opera delle soluzioni acquose circolanti nelle murature. Le ricristallizzazioni più frequenti sono costituite da calcite che cristallizza all'interno dello spazio poroso, ma la ricristallizzazione può anche interessare la matrice legante stessa. Quando il legante è costituito da calce magnesiaca è possibile osservare ricristallizzazioni di idromagnesite. In presenza di attacco solfatico si possono invece osservare cristallizzazioni di gesso nella porosità.

Analisi in sezione sottile petrografica

Tramite l'analisi in sezione sottile petrografica (PLM) è possibile evidenziare le differenti caratteristiche della malta; la descrizione deve seguire uno schema appropriato in relazione alla norma UNI: 11176 (2006). La norma prevede:

Descrizione microscopica del legante che include una osservazione a scala mesoscopica della struttura (omogenea, a plaghe ecc.), e microscopica della tessitura (micritica, microspartita ecc.); composizione mineralogica; interazioni con l'aggregato (bordi di reazione ecc.) anche per l'eventuale aggiunta di composti idraulizzanti; presenza di fasi di neoformazione.

Descrizione dei grumi presenti nel legante (relitti di cottura, stracotti, agglomerati di legante, "fantasmi" di pietra da calce, bottaccioli ecc.).

Descrizione dell'aggregato che prevede granulometria, dimensioni, classazione, forma (naturale o da comminazione), sfericità, arrotondamento, distribuzione (omogenea, a bande ecc.), orientazione, presenza di orli di reazione, composizione mineralogica e classificazione petrografica (in ordine di abbondanza decrescente).

Descrizione delle aggiunte ove presenti e visibili (paglia, legno ecc.).

Rapporto legante/aggregato che si esprime come percentuale in volume del solo legante rispetto al solo aggregato.

Descrizione della macroporosità: aspetto dei pori (arrotondati, allungati per fratturazione, dimensioni, ecc.), distribuzione, percentuale in volume (dedotta dalla percentuale in area).

Descrizione in sezione sottile dei prodotti di degrado (in su-

Therefore in the following images only the macroporosity will be illustrated.

7. Secondary processes and decay products

Over time the binder of the mortars can be subjected to processes of dissolution and recrystallization by aqueous solutions circulating in the masonry. The recrystallizations are more frequently constituted by calcite crystallizing inside the pore space but the recrystallization process can also affect the binder itself. When the binder is made of magnesian lime, it is possible to observe recrystallizations of hydromagnesite. In the presence of sulphate attack, crystallization of gypsum may instead be observed in the porosity.

Petrographic analysis in thin section

Through the analysis on petrographic thin section (PLM) it is possible to highlight the different characteristics of the mortar; the description must follow a suitable model in relation to the UNI rule: 11176 (2006). The rule provides:

Microscopic description of the binder that includes an observation at the mesoscopic scale of the structure (homogeneous, with plagues, etc.) and at microscopic scale of the texture (micritic, microspartitic etc.); the mineralogical composition; the interactions binder-aggregate (reaction rims etc.) also to emphasize the possible addition of materials providing hydraulic characteristics; presence of neoformation phases.

Description of lumps in the binder (remnants of burning, over burnt, unmixed binder, "ghosts" of the stone for lime, lime lumps etc.).

Description of the aggregate that includes grain size, sorting, shape (natural or obtained by grinding), sphericity, rounding, distribution (homogeneous, with bands, etc.), orientation, presence of reaction rims, mineralogical composition and petrographic classification (in order of decreasing abundance).

Description of admixtures if present and visible (straw, wood, etc.).

Binder/aggregate ratio expressed as a percentage in volume of the binder with respect to the aggregate.

Macroporosity description: aspect of the pores (rounded, elongated, due to shrinkage fracturing, sizes, etc.), distribution, percentage in volume (deduced from the percentage in the area).

Description in thin section of decay products (at the surface, between the layers, within the pores, etc.) giving the morphology and composition.

It is important to emphasize that in the case of painted plasters, the thin section must be realized perpendicular to the surface. In the description, the number of layers,

IMMAGINI IN SEZIONE SOTTILE AL MICROSCOPIO OTTICO

IMAGES OF THIN SECTIONS UNDER OPTICAL MICROSCOPE

Tutte le immagini elencate sono state acquisite con microscopio ottico in luce trasmessa (ZEISS Axio Scope.A1 equipaggiato con una camera risoluzione 5 megapixel, software per analisi dell'immagine Axio Vision) a nicol incrociati (xpl), a meno di alcune evidenziate nel testo, acquisite a nicol paralleli (ppl). Si deve ricordare che le differenze di colore che si possono rilevare nei leganti di calce aerea, in sezioni sottili diverse, osservate in xpl, possono essere attribuite a variazioni di spessore della sezione o anche a un diverso grado di carbonatazione.

All the images listed are acquired in crossed nicols (xpl), only three are acquired in parallel nicols (ppl) – see text – the observations are carried out with an optical microscope in transmitted light (ZEISS Axio Scope.A1 equipped with a camera resolution 5 Megapixel and dedicated image analysis software Axio Vision). It is important to remind that the color differences found in the air hardening calcic binder, in different thin sections, observed in xpl, can be attributed to variations in the thickness of the section or also to a different carbonation degree.

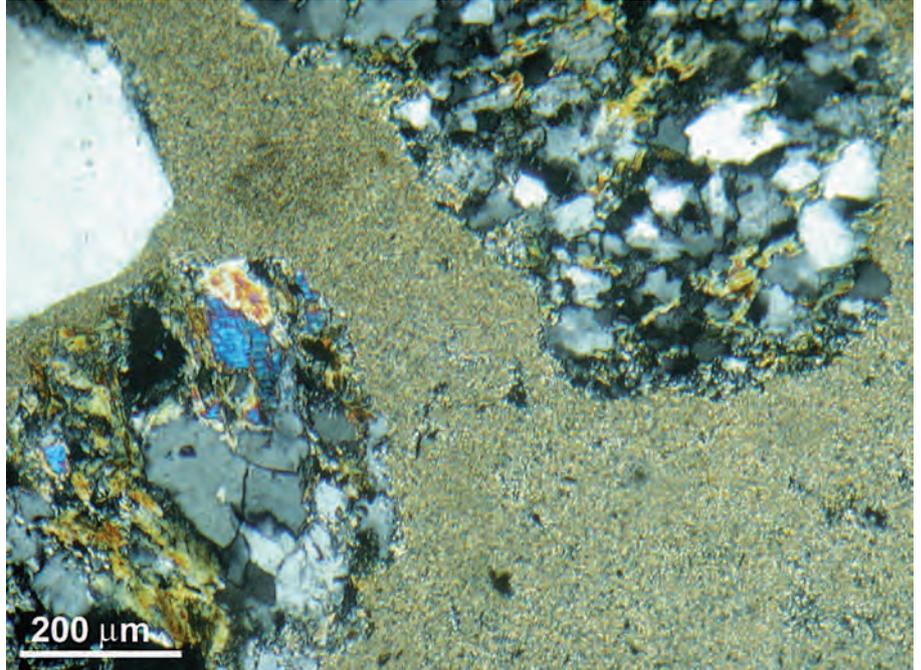
1. Tipologie di leganti

Typologies of binders

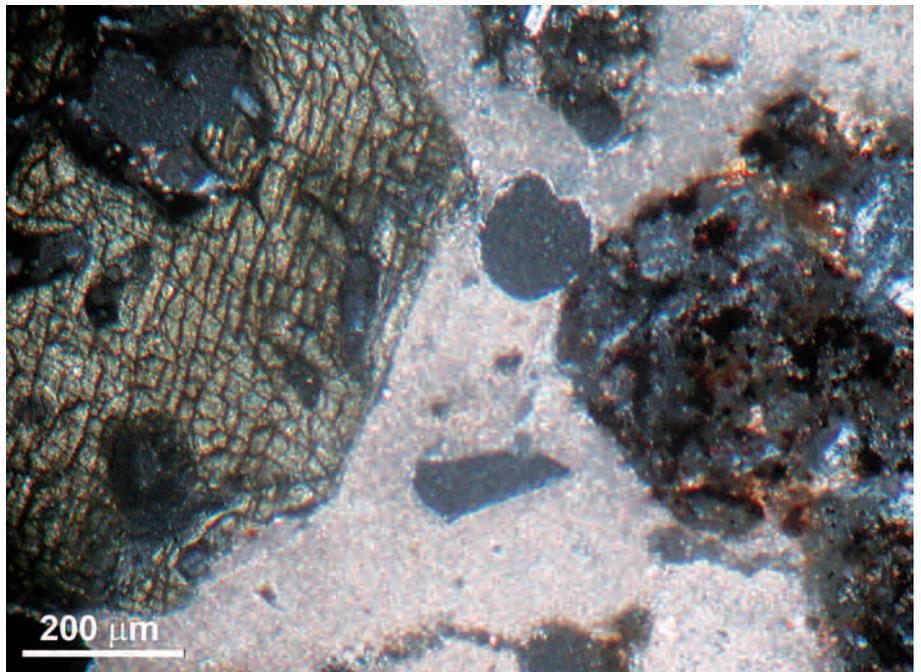
1.1. Calce aerea calcica

Air hardening calcic lime binder

1 MALTA DEL NUCLEO DELLA MURATURA DELLA CUPOLA DEL DUOMO DI FIRENZE (XV SEC.)
 Malta realizzata con un legante di calce aerea calcica in cui sono evidenti le caratteristiche tipiche di questo tipo di legante: aspetto omogeneo, privo di impurità, tessitura micritica costituita da cristalli di calcite con dimensioni inferiori ai 10 µm. Il colore in luce polarizzata a nicol incrociati è marrone chiaro ed è funzione del colore di interferenza della calcite che è del terzo ordine (birifrangenza = 0.154-0.1740). Nella sezione sono presenti inoltre granuli di aggregato caratteristici dei sedimenti trasportati dal fiume Arno (Pecchioni et al., 2012) e dai suoi affluenti che erodono soprattutto formazioni arenacee: frammenti di arenaria a matrice argillosa e in alto a sinistra un granulo di quarzo.



1 MORTAR FROM THE NUCLEUS OF THE MASONRY OF THE DOME OF FLORENCE (XVTH CENTURY)
The typical characteristics of a binder made of an air hardening calcic lime are evident: homogeneous aspect, absence of impurities, micritic texture constituted by calcite crystals with grain size below 10 µm. The color in polarized light (xpl) is light brown and depends on the color of interference of calcite which is of the third order (birefringence = 0.154-0.1740). In the section it is possible to see also grains of aggregate typical of the sediments transported by the Arno river (Pecchioni et al., 2012) and its tributaries which erode mainly sandstone formations: fragments of sandstones with clay matrix and, above on the left, a quartz grain.



2 MALTA DI INTONACO POMPEIANO (I SEC A.C.)
 In questa immagine, come in Fig. 1, è presente una malta con un tipico legante di calce aerea calcica: si evidenziano assenza di impurità, omogeneità e una tessitura micritica. Al centro dell'immagine è presente un poro di forma subsferica (colore grigio scuro) la cui genesi è riferibile alla presenza di bolle d'aria intrappolate nell'impasto della malta. Sono visibili, a

sinistra un cristallo di pirosseno di composizione augitica e a destra, un frammento di piroclastite. Questo tipo di aggregato, di natura vulcanica, è tipico dell'area vesuviana.

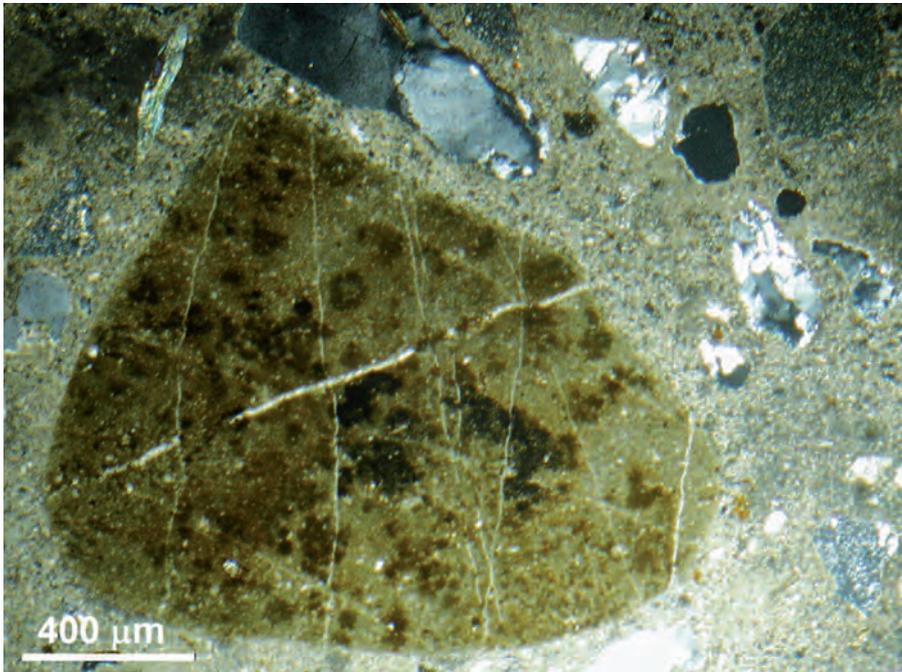
2 MORTAR FROM A POMPEIAN PLASTER (1ST CENTURY BC)
In the image, as in Fig. 1, the typical aspect of an air hardening calcic lime is visible:

homogeneous aspect, absence of impurities, micritic texture. In the center of the image, surrounded by the binder, a pore with subspherical shape is visible (dark gray in color) which genesis can be referred to air bubbles trapped within the mortar paste. On the left a pyroxene crystal of augitic composition is visible and on the right a fragment of pyroclastite. This aggregate is typical of the Vesuvian area.

2. Grumi

Lumps

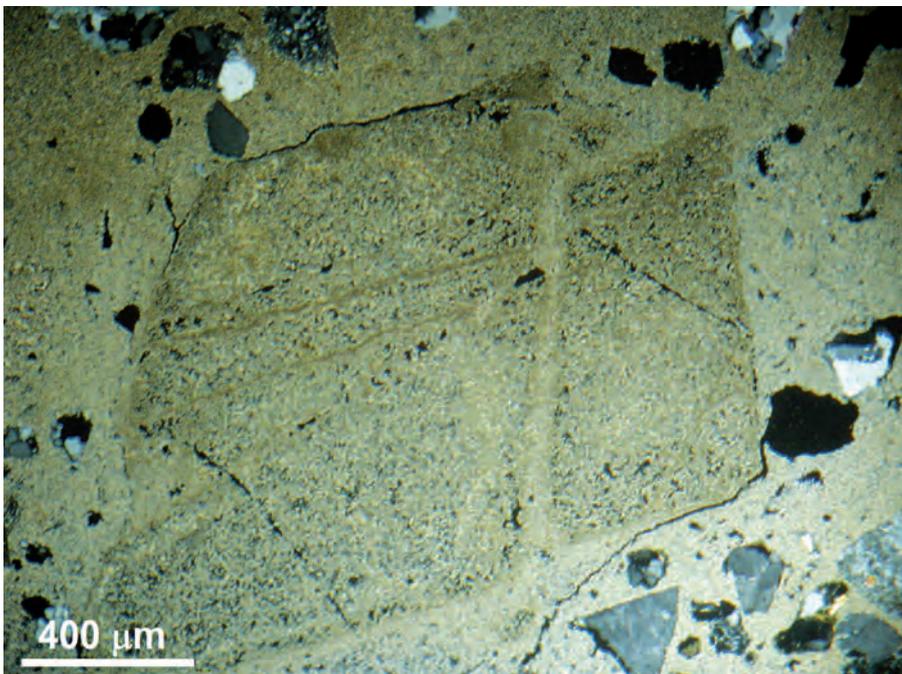
40



40 MALTA DI ALLETTAMENTO, TERME ROMANE, FIESOLE (I SEC. D.C.)

Grumo riferibile ad un relitto di cottura di un calcare micritico (mudstone). Sono ben visibili sottili venature di calcite che hanno mantenuto la loro cristallinità. Questo tipo di roccia è la pietra da calce utilizzata nel territorio fiorentino (Fratini et al., 1994). Si tratta di un calcare marnoso di una formazione turbiditica di età paleocenica estesamente affiorante intorno a Firenze, tradizionalmente chiamato Pietra Alberese perché sulle sue superfici di frattura sono a volte presenti dendriti di manganese che richiamano la forma di alberelli. La cottura di questi calcari dà luogo ad una calce debolmente idraulica. Nel relitto visibile nell'immagine, le vene hanno mantenuto la tessitura cristallina mentre la micrite ha iniziato a decomporsi; ciò può trovare spiegazione nel fatto che le impurità argillose presenti in quest'ultima ne hanno catalizzato la decomposizione ad una temperatura più bassa. Questo non è avvenuto nelle vene, perché sono costituite da calcite pura.

41



40 BEDDING MORTAR, ROMAN BATHS, FIESOLE (1ST CENTURY AD)

Particular of a lump referring to a remnant of burning of a micritic limestone (mudstone). Thin veins of calcite that maintained their crystallinity are clearly visible. This type of rock is the stone used in the Florence area for the production of lime (Fratini et al., 1994). It is a marly limestone belonging to a turbiditic formation of Paleocene age outcropping extensively around Florence, traditionally called Alberese Stone, because on the surfaces of fracture dendrites of manganese recalling the shape of trees are sometimes present. The burning of this limestone gives rise to a weakly hydraulic lime. In the remnant of burning of the image, the veins maintained the crystalline texture while the micrite began to decompose: this can be explained by the catalyzing action of the clay impurities present in the micrite on the decomposition of calcite at a lower temperature. This did not happen in the veins, because they are composed of pure calcite.

41 MALTA DI ALLETTAMENTO, TERME ROMANE, FIESOLE (I SEC. D.C.)

"Fantasma" di pietra da calce costituito da un calcare micritico (mudstone) riferibile alla cosiddetta Pietra Alberese. Rispetto all'immagine di Fig. 40, in questo caso la temperatura di cottura che ha interessato il frammento di roccia è stata maggiore ed anche le vene di calcite sono state decomposte. È tuttavia sempre possibile riconoscere dei "fantasmi" che ricordano la loro presenza.

41 BEDDING MORTAR, ROMAN BATHS, FIESOLE (1ST CENTURY AD)

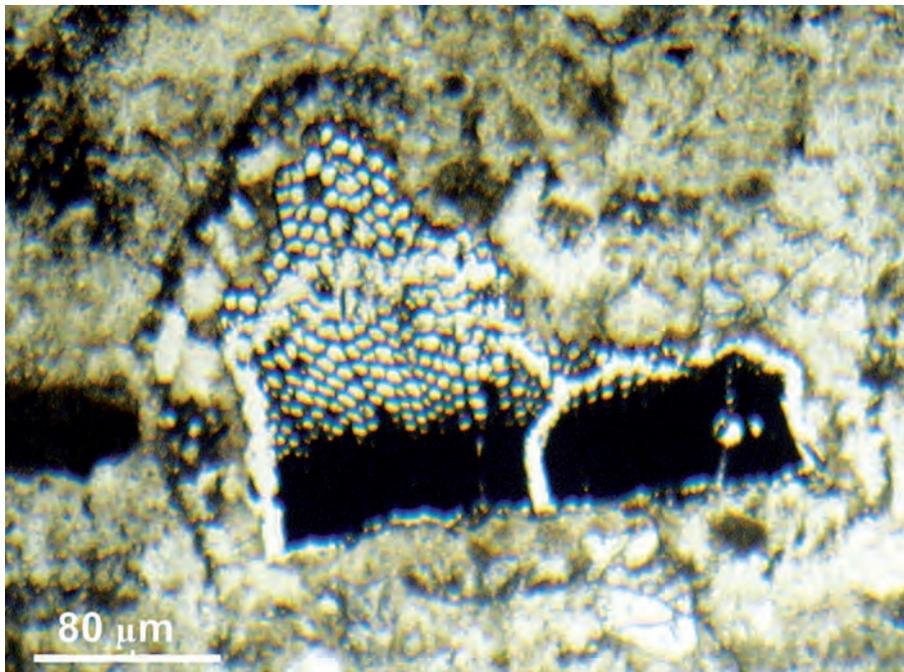
A "ghost" of a stone for lime constituted by a micritic limestone (mudstone) referring to the so-called Alberese Stone is visible. Compared to the image of Fig. 40, in this case the burning temperature that affected this fragment was higher and also the veins of calcite have been decomposed. However, it is always possible to recognize the "ghosts" that recall the presence of these veins.

3. Residui di combustibile

Remnants of fuel

57 MALTA DI ALLETTAMENTO, CASTELLO DI SASSOFORTE (GROSSETO) (XI-XII SEC.)

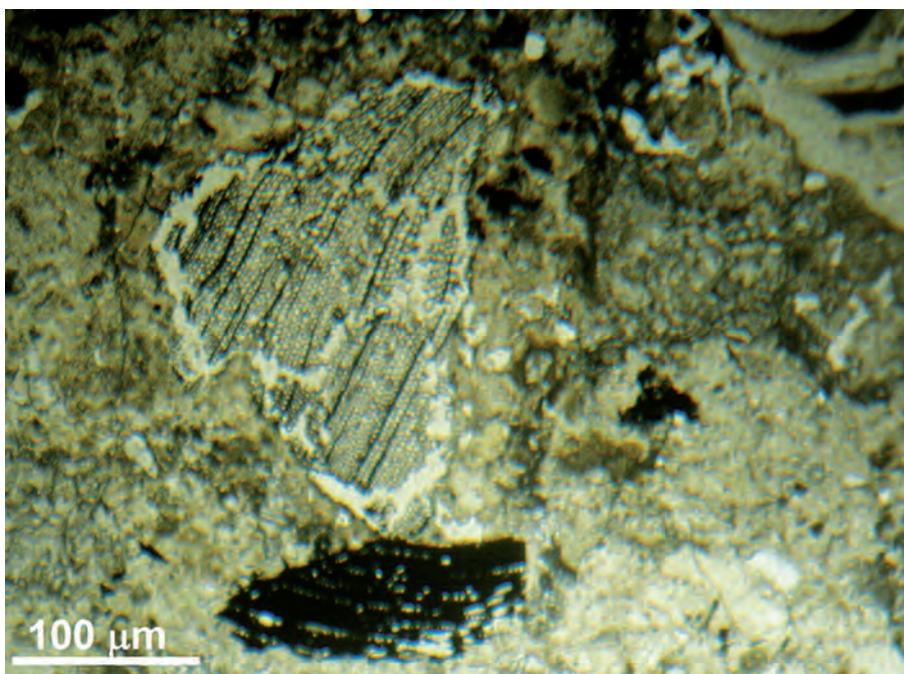
Residui carboniosi del combustibile utilizzato per la produzione della calce come è visibile anche in Fig. 58. Il combustibile tradizionale per la calcinazione della pietra da calce era la legna in tronchetti o fascine. Questa, nelle fornaci più antiche (le calcare a funzionamento discontinuo), normalmente veniva posta alla base della pila di pietre e la quantità di residui carboniosi/cenere che si mescolava con le zolle di calce viva era limitata. Tuttavia durante lo svuotamento della calcara poteva anche succedere che frammenti di combustibile si venissero a trovare fra le zolle di calce viva. Questa commistione è invece più facile nelle più recenti fornaci a funzionamento continuo in cui la legna viene aggiunta via via alla pietra da calce a metà della sua discesa lungo la fornace. Conseguenza di ciò è il fatto che nel grassello, dopo lo spegnimento, si possano trovare inglobati residui carboniosi del combustibile utilizzato, come quelli qui evidenziati che svolgono la funzione di aggregato anche se non aggiunti intenzionalmente.



57

57 BEDDING MORTAR, SASSOFORTE CASTLE (GROSSETO) (XITH-XIITH CENTURY)

Charcoal which testify the fuel used for the production of lime is visible. The traditional fuel for the calcination of stone for lime was wood (little trunks or fagots). In the oldest kilns (discontinuous functioning) it was normally placed at the base of the pile of stones and the amount of carbon residues/ash that mixed with the clods of lime was limited. However, during the emptying of the lime kiln it could also happen that fuel fragments would found among the clods of lime. This mixing is rather easier in newer kilns with continuous functioning in which the wood is added gradually to the stone while descending in the kiln. The consequence is that in the lime putty is possible to find carbon residues of the fuel, which behaves as an aggregate.



58

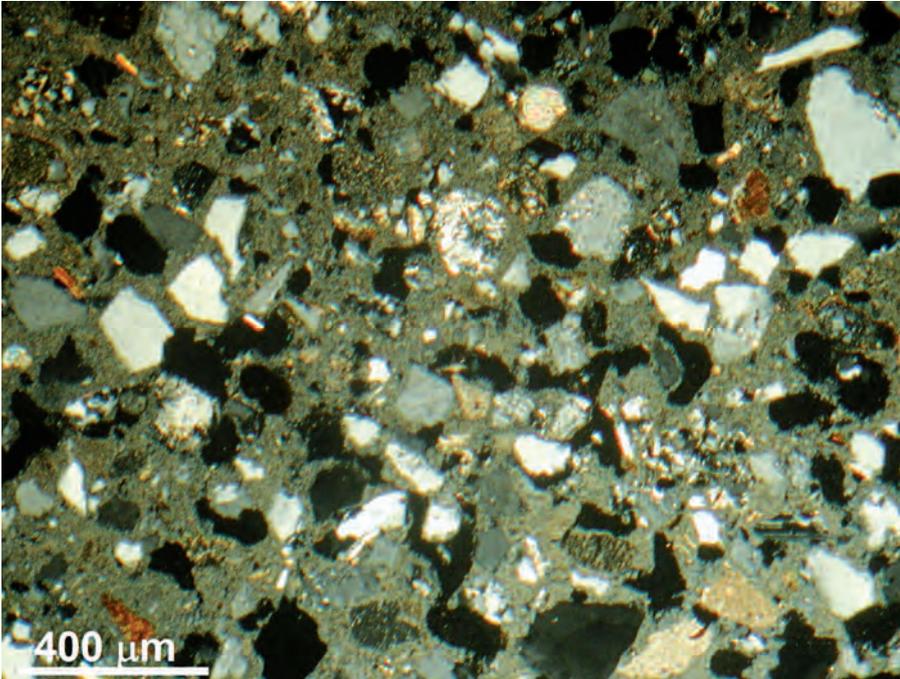
58 MALTA DI ALLETTAMENTO, CASTELLO DI SASSOFORTE (GROSSETO) (XI-XII SEC.)
Vedi descrizione Fig. 57.

58 BEDDING MORTAR, SASSOFORTE CASTLE (GROSSETO) (XITH-XIITH CENTURY)
See description of Fig. 57.

4. Aggregato

Aggregate

59



59 PLASTER MORTAR COATING, TORNABUONI CHAPEL (XVTH CENTURY), CHURCH OF SANTA MARIA NOVELLA, FLORENCE (XIIITH CENTURY)

The grains of the aggregate can be monocrystalline or they can be made up of rock fragments, therefore polycrystalline. This depends on the following factors: the more the grain size is fine, the more the grains are monocrystalline, as in the case of this image and in Fig. 60; texture of the source rock of the aggregate (the more the texture is fine grained, the more the granules are polycrystalline) (Fig. 61, 62); compactness of the source rock of the aggregate (the more the compactness is high, the

more the granules are polycrystalline) (Fig. 63). In this mortar the aggregate, fine-grained and with unimodal distribution, is mainly composed of monocrystalline quartz crystals. Secondly there are feldspars and fragments of micritic carbonate rocks. This is the composition of the sediments carried by the Arno river and its tributaries eroding sandstone formations. The mix is lean, well mixed and the well selected grain size indicates a particular care in the realization of this mortar which function was that of arriccio for mural paintings commissioned by Giovanni Tornabuoni to Domenico Ghirlandaio.

4.1. Aggregato: granuli mono/policristallini

Aggregate: monocrystalline vs polycrystalline grains

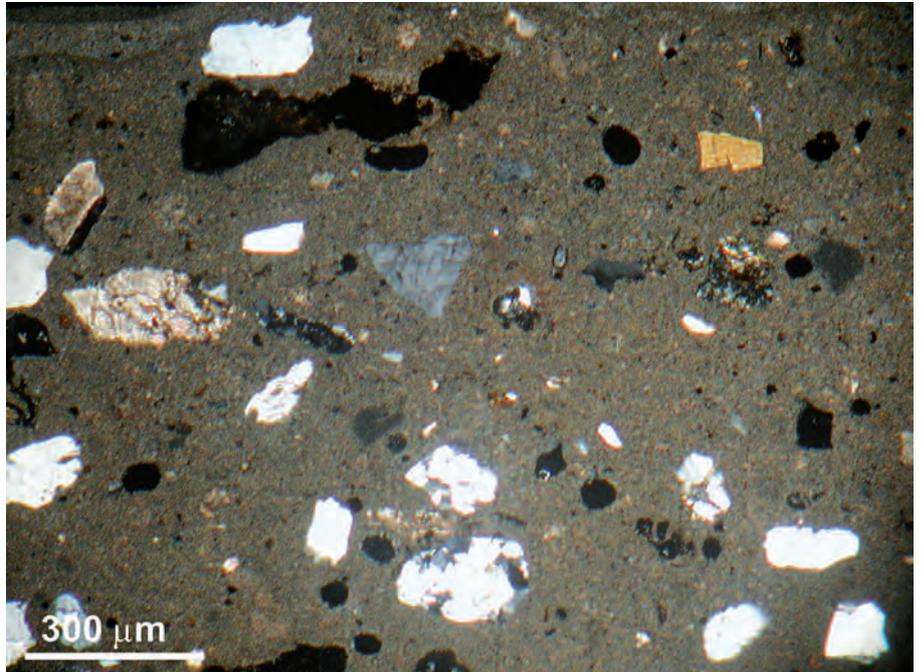
59 MALTA DI RIVESTIMENTO, CAPPELLA TORNABUONI (XV SEC.), CHIESA DI SANTA MARIA NOVELLA, FIRENZE (XIII SEC.)

I granuli di aggregato possono essere monocrystallini oppure essere costituiti da frammenti di roccia e quindi policristallini. Questo dipende dai seguenti fattori: grana dell'aggregato (tanto più è fine, tanto più i granuli sono monocrystallini) come in questa immagine e nella Fig. 60; grana cristallina della roccia di origine dell'aggregato (tanto più è fine la grana cristallina, tanto più i granuli sono policristallini) (Fig. 61, 62); compattezza della roccia di origine dell'aggregato (tanto più è elevata, tanto più i granuli sono policristallini) (Fig. 63). In questa malta l'aggregato, di grana fine e distribuzione unimodale, è costituito prevalentemente da cristalli di quarzo monocrystallino. Secondariamente sono presenti feldspati e frammenti di rocce carbonatiche micritiche. Questa è la composizione dei sedimenti trasportati dal fiume Arno e dai suoi affluenti che erodono soprattutto formazioni arenacee. L'impasto magro, ben amalgamato e con granulometria ben selezionata indica una particolare cura nella realizzazione di questa malta che doveva servire da arriccio di supporto al ciclo di dipinti murali commissionato da Giovanni Tornabuoni a Domenico Ghirlandaio.

5. Rapporto legante/aggregato *Binder/Aggregate ratio*

85 MALTA DI RIVESTIMENTO, DUOMO DI PRATO (XIII SEC.)

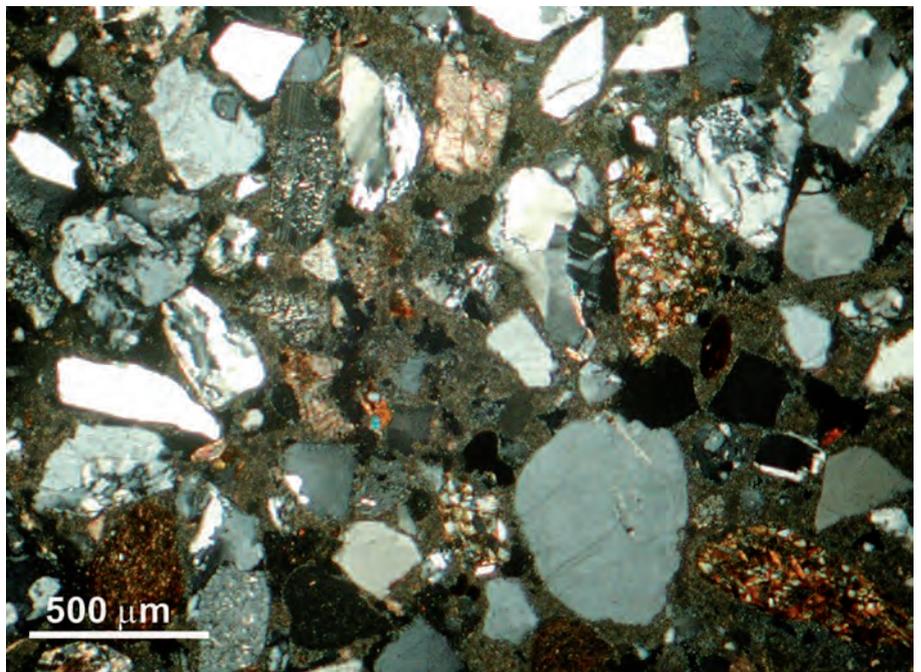
Malta con impasto grasso ben amalgamato. L'aggregato, ben classato, è costituito prevalentemente da granuli di quarzo e secondariamente da frammenti carbonatici. In alto a destra è visibile un pirosseno proveniente dal disfacimento dell'affioramento ofiolitico di Monte Ferrato, a nord ovest della città, da dove veniva estratto il così detto "marmo verde" o "verde di Prato", serpentinite utilizzata per le fasce scure nel rivestimento bichromo dello stesso Duomo, di Santa Maria delle Carceri sempre a Prato e del Duomo di Firenze.



85

85 PLASTER MORTAR, PRATO CATHEDRAL (XIIITH CENTURY)

This mortar shows a well-mixed fat paste. The aggregate, well sorted, is composed mainly of quartz grains and secondarily by carbonate fragments. A pyroxene from the erosion of the ophiolitic outcrop of Monte Ferrato, sited northwest of the city, can be observed on the top right of the image. From Monte Ferrato the so-called "green marble" or "green of Prato", was extracted, a serpentinite used for the dark bands of the bichrome cladding of Prato Cathedral, Santa Maria delle Carceri still in Prato and Florence Cathedral.



86

86 MALTA DI SUPPORTO DI DIPINTO MURALE IN CASA VASARI, FIRENZE (XVI SEC.)

Malta con impasto magro (L/A ~ 1/3), ben amalgamato. L'aggregato abbondante, relativamente ben classato, è costituito da quarzo, feldspati e frammenti arenacei.

86 MORTAR SUPPORTING A MURAL PAINTING IN CASA VASARI, FLORENCE (XVITH CENTURY)

This mortar shows a well-mixed lean paste (binder/aggregate ratio ~ 1/3). The abundant aggregate, quite well sorted, consists of quartz, feldspars and sandstone fragments.

6. Porosità

Porosity

89 MALTA DI RIVESTIMENTO DI PALAZZO DAVANZATI, FIRENZE (XIV SEC.)

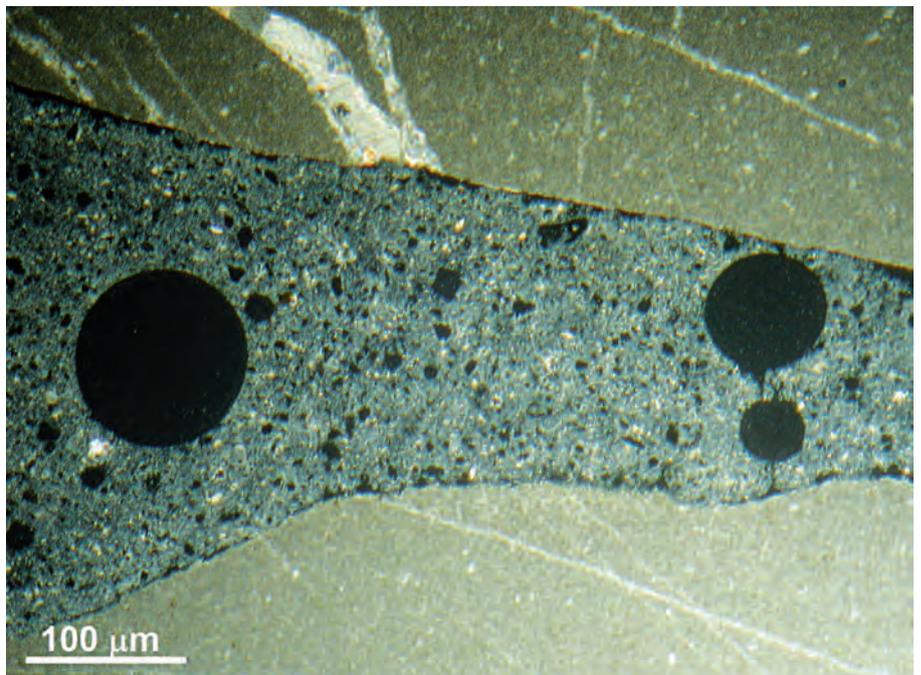
Immagine in cui è evidenziata una porosità dovuta a scarsità di legante che non è stato sufficiente a riempire lo spazio fra i granuli di aggregato quarzifero.

89 PLASTER MORTAR OF DAVANZATI PALACE, FLORENCE (XIVTH CENTURY)

The large amount of porosity of this mortar is produced by a lack of binder that was not sufficient to fill the space among the quartz grains.



89



90

90 MALTA DI FINITURA DI PALAZZO DELLO STROZZINO, FIRENZE (XIX SEC.)

Malta realizzata con legante di Proto cemento Portland: sono visibili pori di forma subsferica dovuti a bolle d'aria trattenute dall'impasto. Nella parte superiore e inferiore sono evidenti due grossi clasti di calcare a tessitura micritica attraversati da vene calcitiche.

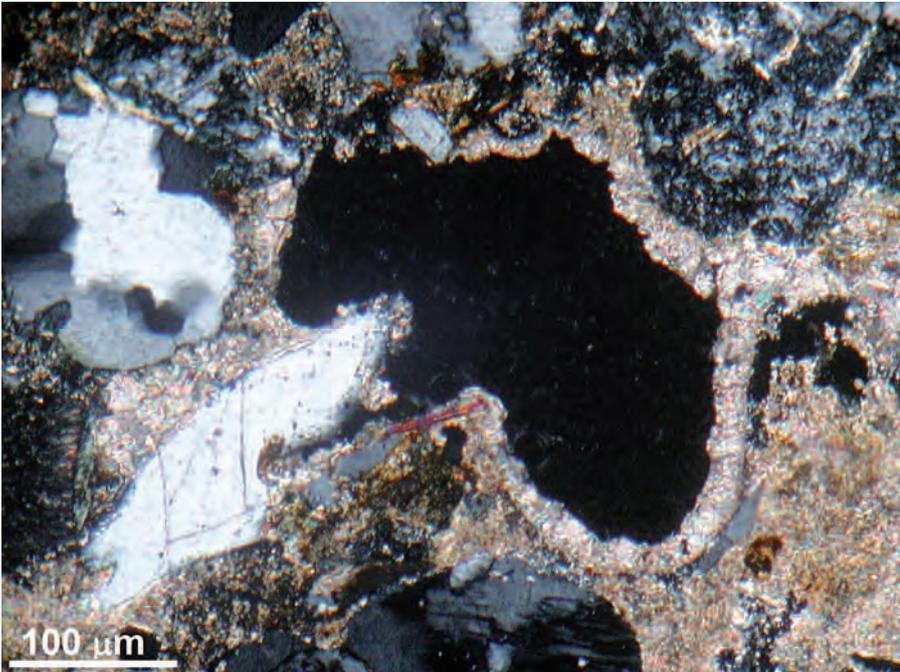
90 FINISHING MORTAR OF STROZZINO PALACE, FLORENCE (XIXTH CENTURY)

The binder of this mortar is a Proto Portland cement: subspherical pores are present due to air bubbles trapped in the mix. On the top and on the bottom of the image two large limestones with micritic texture crossed by calcite veins are visible.

7. Processi secondari e prodotti di degrado

Secondary processes and decay products

95



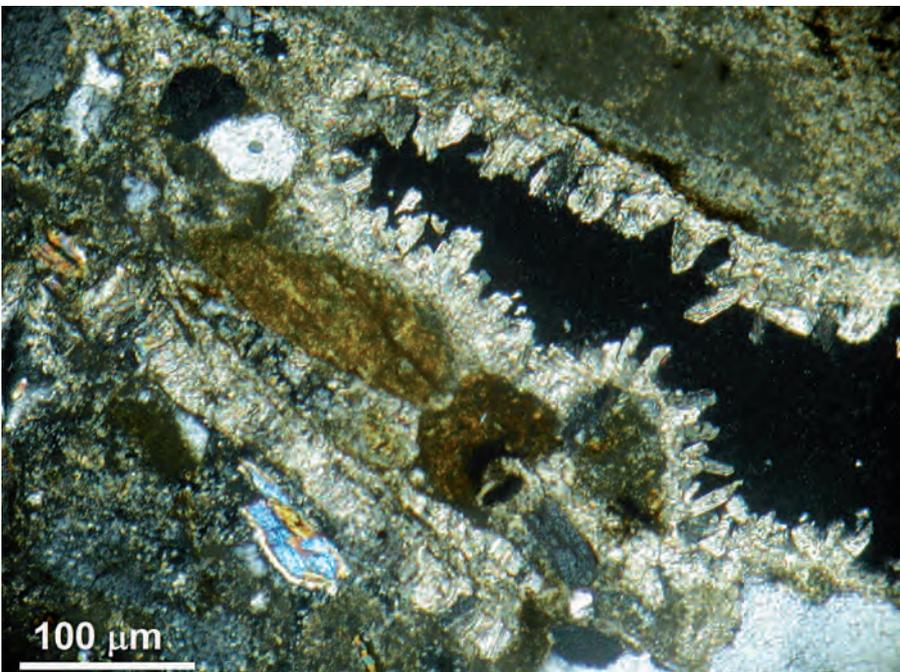
95 MALTA DI ALLETTAMENTO DA CIVILE ABITAZIONE, CAMPAGNA FIORENTINA (XIX SEC.)

Bordo di un poro rivestito da calcite di precipitazione. Il fenomeno di formazione di queste precipitazioni è simile a quello degli ambienti carsici: nelle zone interne delle murature l'acqua circolante può sciogliere la matrice legante (il fenomeno è favorito dalla tessitura microporosa del legante stesso) e quando la soluzione acquosa arriva in pori più grandi, per diminuzione della pressione parziale di CO_2 , avviene la precipitazione di calcite. La grana cristallina dipende dalla velocità di precipitazione: se elevata (come in questa immagine), è micritica o microspartitica, se lenta (come nelle Figg. 96, 97, 98), è spartitica.

95 BEDDING MORTAR OF A RESIDENTIAL BUILDING, FLORENTINE COUNTRYSIDE (NINETEENTH CENTURY)

This image shows a pore coated with precipitation calcite. The precipitation phenomena are similar to that of the karst environments: inside the walls, the circulating water can dissolve the binder (the phenomenon is favored by the microporous texture of the mortar) and when the aqueous solution comes in larger pores, the decrease of the partial pressure of CO_2 gives rise to the precipitation of calcite. The crystal grain size depends on the speed of precipitation: if high (as is the case of this image), it is micritic or microspartic, if slow (as in Figg. 96, 97, 98), is spartic.

96



96 MALTA DI ALLETTAMENTO, TERME ROMANE, FIESOLE (I SEC. D.C.)

Nell'immagine è visibile la precipitazione lenta di calcite spatica sul bordo di un poro (vedi descrizione di Fig. 95).

96 BEDDING MORTAR, ROMAN BATHS, FIESOLE (FIRST CENTURY AD)

Slow precipitation of spartic calcite on the edge of a pore (see description of Fig. 95).