



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE BIOLOGICHE GEOLOGICHE E
AMBIENTALI**

**DOTTORATO DI RICERCA IN PETROGRAFIA E PETROLOGIA
XXV CICLO**

DOTT.SSA GIUSJ VALENTINA FICHERA

**CARATTERIZZAZIONE E STUDI DI PROVENIENZA DELLE
MALTE DELLA VILLA DEI QUINTILI (ROMA)**

TESI DI DOTTORATO

Coordinatore
Chiar.mo Prof. A. PEZZINO

Tutor
Chiar.mo Prof. A. PEZZINO

CATANIA 2012

Il presente lavoro di tesi è il risultato della cooperazione con diverse istituzioni e figure professionali. In particolare ha contribuito la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma nelle persone della Dott.ssa Giuliana Galli e il Dott. Alessandro Lugari che hanno permesso e guidato la fase di campionamento dell'intero sito. Inoltre, il Prof. Giudo Giordano dell'Università degli Studi Roma Tre che ha fornito i diversi campioni di pozzolana analizzati. Il Dott. Marco Viccaro per il contributo nell'interpretazione degli aspetti vulcanologici. La Dott.ssa Donatella Barca dell'Università della Calabria per il supporto tecnico scientifico riguardo alcune strumentazioni utilizzate in questo lavoro ed infine la Dott.ssa Cristina Belfiore e il Dott. Mauro La Russa per averne coordinato la stesura.

INDICE

INTRODUZIONE.....	3
I CAPITOLO.....	6
LA VILLA DEI QUINTILI	
1.1 Cenni storico-archeologici	6
1.2 Il complesso residenziale	8
1.3 I materiali della villa e le sue tecniche edilizie	12
II CAPITOLO.....	15
I MATERIALI STUDIATI	
2.1 Le malte della Villa dei Quintili	15
2.2 Le materie prime locali	31
2.2.1 Inquadramento geologico generale dell'area	31
2.2.2 Materiali prelevati in cava	37
<i>Le pozzolane dei Colli Albani</i>	37
<i>I calcari dei Monti Cornicolani</i>	39
III CAPITOLO.....	40
METODOLOGIE ANALITICHE	
3.1 Microscopia ottica in luce trasmessa polarizzata (MOP)	40
3.2 Diffrazione a raggi x (XRD)	40
3.3 Microscopia elettronica a scansione (SEM-EDS)	41
3.4 Ablazione laser accoppiata a spettrometria di massa (LA-ICP-MS)	42
IV CAPITOLO.....	43
RISULTATI	
4.1 Caratterizzazione delle malte	43
4.1.1 Analisi petrografica (MO)	43
4.1.2 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi x (XRD)	46
4.1.3 Analisi micromorfologica mediante microscopia elettronica a scansione (SEM)	47
<i>Grumi di calce e legante</i>	47
<i>Aggregato vulcanico</i>	49
4.1.4 Analisi chimica SEM-EDS	51
<i>Grumi di calce e legante</i>	51
<i>Aggregato e fasi vulcaniche</i>	54
<i>Materiali della calcara</i>	56
4.1.5 Analisi LA-ICP-MS	56
<i>Grumi di calce</i>	56
<i>Fasi vulcaniche</i>	59
<i>Materiali della calcara</i>	60
4.1.6 Discussione	61
4.2 Caratterizzazione delle materie prime	66
4.2.1 Pozzolane	66

4.2.1.1 Analisi petrografica (MO)	66
4.2.1.2 Analisi micromorfologica mediante microscopia elettronica a scansione (SEM)	67
4.2.1.3 Analisi chimica SEM-EDS	68
4.2.1.4 Analisi LA-ICP-MS	71
4.2.1.5 Discussione	73
4.2.2 Calcari	74
4.2.2.1 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi x (XRD)	74
4.2.2.2 Analisi chimica SEM-EDS	75
4.2.2.3 Analisi LA-ICP-MS	76
4.2.2.4 Discussione	77
V CAPITOLO	78
INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI APPROVVIGIONAMENTO DELLE MATERIE PRIME	
CONCLUSIONI	84
APPENDICI	86
APPENDICE A	87
APPENDICE B	125
Bibliografia	191

INTRODUZIONE

Le malte rappresentano un prodotto artificiale realizzato dall'uomo fin dai tempi remoti utilizzando materiali naturali. Il loro uso nel tempo è stato dei più versatili, dalle malte di allettamento nelle murature degli edifici, a quelle di maggiore pregio per realizzare affreschi o decorazioni. La grande variabilità delle malte dipende comunque, oltre che dalla specifica funzione che devono svolgere, anche dal periodo storico e dal luogo in cui vengono realizzate (Pecchioni et al. 2008). Il Documento UNI 10924 (2001) "Malte per elementi costruttivi e decorativi: classificazione e terminologia", definisce la malta come *una miscela di leganti inorganici o organici, aggregati prevalentemente fini, acqua ed eventuali aggiunte di additivi organici e/o inorganici 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.*

L'ottimo stato di conservazione di moltissimi manufatti realizzati in epoca romana testimonia l'elevato livello tecnologico raggiunto da questi costruttori (Pecchioni et al. 2008). Sebbene ci siano testimonianze (Plinio il Vecchio) che gli Egizi conoscessero il modo di produrre calce, essa iniziò ad esser largamente impiegata dai Greci e soprattutto dai Romani, i quali diffusero l'uso di tale materiale nell'edilizia sin dal III sec. a.C. (Collepari 2003, Pecchioni et al. 2008). Si deve proprio a questi ultimi il merito di aver tramandato con documenti scritti le conoscenze acquisite in campo edilizio. Diversi scrittori trattano dell'arte di edificare dei costruttori romani, quali ad esempio: Catone nel *De Agricola* (160 a.C.), M. Vitruvio Pollione (I sec. a.C.) nei dieci libri del *De Architectura* e Plinio il Vecchio (23-79 d.C.) con l'opera *Naturalis Historia*. Grazie all'ottima conoscenza dei materiali locali da costruzione e all'esperienza acquisita dai costruttori romani in tanti secoli d'uso, l'età imperiale (27 a.C. - 476 d.C.) fu caratterizzata da un'architettura rivoluzionaria costituita da volte e grandiosi monumenti pubblici (Lechtman and Hobbs 1987). I costruttori romani sapevano che, grazie alla combinazione della calce con particolari depositi vulcanici (*pozzolane*), la malta diveniva idraulica, ovvero era in grado di indurire anche sott'acqua e di raggiungere una maggiore resistenza meccanica (Collepari 2003). L'utilizzo della pozzolana segnò un rivoluzionario progresso nelle costruzioni grazie alla capacità della miscela di far presa anche sott'acqua (calci idrauliche) e con una velocità maggiore di quella richiesta dal processo di carbonatazione della calce aerea. Nel caso in cui il materiale vulcanico non fosse disponibile, venivano utilizzati frammenti di materiali artificiali come laterizi e ceramiche (il cosiddetto cocchiopesto o *chamotte*), i quali presentano le stesse proprietà idrauliche della pozzolana (Pecchioni et al. 2008).

Le malte romane sono state oggetto di numerosi studi di natura archeometrica presenti nella letteratura scientifica. In molti di questi lavori, l'attenzione è stata posta principalmente sui caratteri mineralogici e petrografici dei costituenti delle malte al fine di risalire alle antiche tecnologie di produzione utilizzate dai costruttori romani (Sánchez-Moral et al. 2004; Moropoulo et al. 2005; Silva 2005; Giavarini et al. 2006; Jackson and Marra 2006; Pavia & Caro 2008; Pavia 2008; Belfiore et al. 2009, Jackson et al. 2009, 2010). Altri lavori si sono focalizzati invece sullo studio delle proprietà idrauliche delle pozzolane, esaminando nel dettaglio i processi che portano alla formazione delle fasi idrate, quali i silicati idrati di calcio (CSH) e gli alluminati idrati di calcio (CAH) (Day 1990; Massazza 2001; Moropoulou et al. 2004; Jackson et al. 2006; Fernández et al. 2010).

Nella presente tesi sono state esaminate alcune malte storiche romane prelevate all'interno della "Villa dei Quintili", un sito romano di grande interesse storico-archeologico, risalente al II sec. d.C. Si tratta del primo studio archeometrico ad oggi effettuato sul sito in questione ed è stato eseguito in collaborazione con la Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. Il sito rappresenta uno dei complessi architettonici più estesi della periferia romana ed è costituito da strutture imponenti che si estendono a sud-est di Roma, tra la via Appia Antica e l'Appia Nuova. La villa fu costruita nel corso del II sec. d.C. dai fratelli Quintili e in seguito entrò a far parte del demanio imperiale, diventando residenza e luogo di villeggiatura di diversi imperatori sin dalla fine del II sec. d.C. e fino al tardo III sec. d.C. Solo nel 1985 l'intera area archeologica fu acquistata dallo Stato. La villa, articolata in più nuclei distinti, sembra aver conosciuto diverse fasi edilizie, stando alle ipotesi avanzate su base archeologica (Paris 2000). Per tale ragione, la fase di prelievo dei campioni ha rappresentato uno stadio cruciale dell'intero lavoro, in quanto fondamentale per la significatività dei risultati analitici. Il campionamento è stato dunque eseguito in accordo e in presenza degli archeologi della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma, che hanno autorizzato il prelievo di un totale di 40 campioni di malta, di differenti tipologie, rappresentativi di ciascuna fase costruttiva. I campioni prelevati sono stati quindi sottoposti ad un programma analitico integrato che ne ha consentito la caratterizzazione completa al fine di ottenere informazioni utili a chiarire molteplici aspetti riguardanti sia l'area di approvvigionamento delle materie prime sia le tecnologie di produzione in relazione alle diverse fasi costruttive ad oggi ipotizzate unicamente su base archeologica. Tale programma analitico ha previsto l'uso di molteplici metodologie, quali microscopia ottica in luce polarizzata, microscopia elettronica a scansione con sistema a dispersione di energia (SEM-EDS), diffrazione a raggi X (XRD) e ablazione laser associata a spettrometria di massa a plasma accoppiato induttivamente (LA-ICP-MS). L'analisi petrografica in sezione sottile ha permesso di definire i principali costituenti delle malte e i loro rapporti volumetrici, mentre le indagini mineralogiche (XRD), le analisi micromorfologiche (SEM) e quelle chimiche (SEM-EDS) hanno

consentito di analizzare singolarmente i vari componenti. La verifica dell'ipotesi riguardante l'esistenza di diverse fasi costruttive è stata basata sul confronto dei risultati ottenuti dall'analisi petrografica con le ipotesi cronologiche effettuate dagli archeologi. Uno dei caratteri più innovativi del presente lavoro riguarda l'utilizzo della metodologia LA-ICP-MS finalizzata a studi di provenienza. Si tratta di una tecnica di analisi puntuale, tramite la quale si ottengono le concentrazioni di un gran numero di elementi in tracce, che, com'è noto, presentano un elevato potere discriminante nei casi in cui non emergano sostanziali variazioni composizionali dall'analisi degli elementi maggiori. Nel presente studio, attraverso l'elaborazione dei dati LA-ICP-MS è stato possibile individuare le aree di approvvigionamento delle materie prime utilizzate nel confezionamento delle malte. Seguendo l'approccio già proposto da Barone et al. (2010) finalizzato a studi di provenienza di ceramiche, tale tecnica è stata qui applicata ai clinopirosseni rinvenuti nell'aggregato vulcanico per discriminare la tipologia di pozzolana impiegata. Come proposto da Barba et al. (2009), l'analisi LA-ICP-MS è stata condotta anche sui grumi di calce e su alcuni calcari locali allo scopo di individuare le materie prime utilizzate nella preparazione del legante.

I CAPITOLO

LA VILLA DEI QUINTILI

1.1 CENNI STORICO – ARCHEOLOGICI

Al quinto miglio della Via Appia Antica, sorge una delle ville suburbane più importanti e note della periferia romana (fig. 1). La struttura era così grande e le rovine così estese che nei secoli scorsi si pensava che lì fosse esistita addirittura una città, alla quale si dava il nome di "*Roma Vecchia*". A partire dal XV secolo, inoltre, il complesso era stato denominato "*Statuario*" per la grande quantità di statue che furono portate alla luce. Soltanto nel 1828, dopo il ritrovamento di fistule plumbee riportanti l'iscrizione: "*Quintilii Condianus et Maximus*", fu appurato che il complesso era stato la proprietà dei fratelli Quintili, appartenenti a una famiglia senatoria di antica tradizione e vissuti alla fine del II sec. d.C. Dal 182 d.C., il complesso divenne proprietà dell'imperatore Commodo, che se ne impossessò dopo aver fatto uccidere i proprietari con il pretesto di una congiura. La confisca della proprietà da parte di Commodo e la sua destinazione a residenza imperiale comportarono notevoli ampliamenti e modifiche. Qui l'imperatore amò soggiornare a lungo, trasformando la villa in una vera reggia di campagna (Paris 2000). Alla morte di Commodo la struttura passò ai Severi e quindi ai Gordiani, che nel III sec d.C., modificarono alcune strutture, come si deduce dall'analisi dei bolli laterizi. Diversi ritratti d'imperatori, nonché datazioni di restauri, iscrizioni e citazioni hanno confermato l'uso della villa come residenza imperiale almeno fino al tardo III secolo d.C. Il complesso rimase poi parzialmente in uso fino al VI secolo, dopo di che andò progressivamente in rovina. Tra il '700 e l'800, l'area fu oggetto di importanti campagne di scavo nel corso delle quali fu rinvenuta buona parte dell'eccezionale arredo scultoreo, in particolare nel giardino e nelle terme. Soltanto nel 1985, la Villa divenne proprietà dello Stato. Attualmente sono in corso gli scavi condotti ad opera della Soprintendenza Archeologica di Roma, che hanno messo in luce gran parte degli ambienti principali della Villa.



Figura 1 Vista del complesso residenziale della Villa dei Quintili dalla Via Appia Nuova (Roma).

Tra i lavori di scavo più importanti, si ricordano quelli pontifici degli anni 1788-1792 in cui Papa Pio VI promosse una serie di campagne di scavo nella villa con lo scopo di arricchire il Museo Pio-Clementino. Furono trovate complessivamente oltre cinquanta sculture, statue di soggetti celebri, come la cosiddetta *Venere Braschi* e i fanciulli con l'oca, ritratti di filosofi e imperatori, colonne di marmi orientali africani, interi pavimenti a mosaico e preziosi rivestimenti parietali e pavimentali in marmi policromi (Paris 2000). Gli scavi del 1828 e 1829, condotti sotto la direzione di Antonio Nibby, furono determinanti poiché consentirono di attribuire l'appartenenza della villa ai fratelli Quintili, grazie al ritrovamento di fistule acquarie in piombo con impresso il nome dei proprietari, fino a quel momento sconosciuto. Nibby fece scavare tutti gli ambienti tra le due grandi aule termali che si rivelarono in buono stato di conservazione, con i rivestimenti marmorei ancora *in situ*, tutti dotati di sistema di riscaldamento parietale e pavimentale. L'attività di scavo fu ripresa poi nel periodo 1850-1856 da Giovanni Battista Guidi ed interessò tutte le strutture a vista del complesso tra la Via Appia Antica e la Via Appia Nuova (Paris 2000). I ritrovamenti dei primi decenni del '900 sono stati occasionali: nel 1925 tornarono alla luce le statue di Apollo citaredo e Artemide (oggi esposte nel Museo Nazionale Romano, presso Palazzo Massimo) e un'erma di Dioniso (esposta nell'Antiquarium della villa; Paris 2000). È solo con gli scavi di A. Ricci nel 1984-87 che si evidenziano alcune parti della villa già scavate, quali la sala ottagonale, identificata come *triclinio* e datata in età adrianea (117-138 d.C.), e le piccole terme con ninfeo a sud-est del nucleo principale, datate in età tardo-antica (V-VI sec.; Paris 2000).

Infine, le indagini di scavo condotte dal 2002 al 2004 dalla Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma individuano vari ambienti di collegamento tra i nuclei principali della villa, alcuni dei quali con lussuosi pavimenti in tarsie marmoree. Durante gli stessi scavi vengono messi in luce un accumulo di grassello di calce (calce idrata ancora non carbonatata) ed una calcara (fornace adibita alla cottura dei calcari; fig. 2). L'accumulo di grassello fu ritrovato in un

ambiente di servizio dell'area residenziale, sigillato da un crollo del piano superiore. La calcara, impiantata in uno degli ambienti termali del *Tepidarium* fu edificata, secondo ipotesi archeologiche, in epoca medievale, tra l'VIII ed il IX secolo d.C. (Frontoni & Galli 2010).



Figura 2. Ritrovamenti durante gli scavi (2002 - 2004) condotti dalla Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma. Le due figure si riferiscono al deposito di calce (a) e alla calcara (b).

1.2 IL COMPLESSO RESIDENZIALE

La villa, che conobbe più fasi edilizie, dal 125 d.C. circa fino al III sec. d.C., è articolata in più nuclei distinti, come era consueto nelle grandi proprietà suburbane costruite nel corso del II sec. d.C., nelle quali si osserva la rinuncia all'idea di centrare il blocco residenziale su un peristilio (fig. 3; Giustozzi 2010). Il complesso era dotato del corredo caratteristico delle maggiori ville romane dell'epoca, oltre che di un sistema di condotti e cisterne che garantiva l'approvvigionamento idrico dall'acquedotto principale agli ambienti della villa, permettendone così anche il riscaldamento.

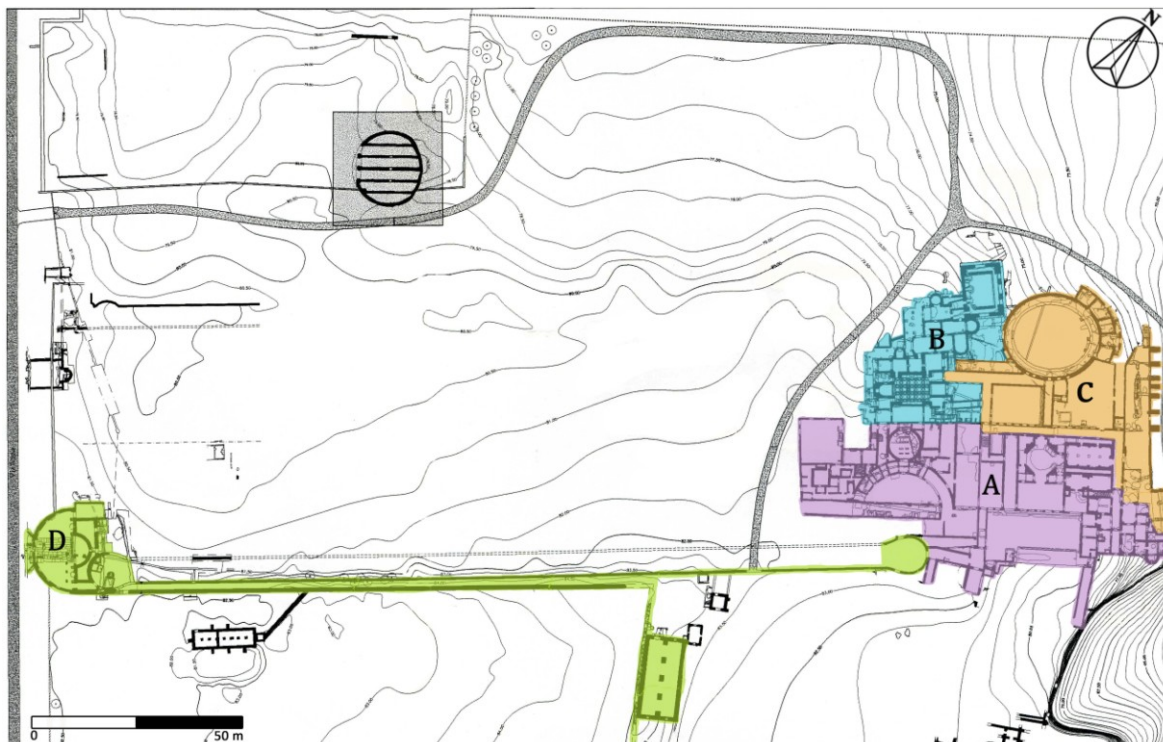


Figura 3. Planimetria della Villa dei Quintili in cui sono evidenziate le quattro aree principali: A area residenziale; B area termale; C *Vididarium* e zone di sostruzione; D *Ninfeo*.

Nel nucleo principale della villa si distinguono tre settori distinti, indicati in figura 3 con le lettere A, B e C. Il settore A è quello residenziale, suddiviso nell'area di rappresentanza e in quella privata, quest'ultima probabilmente risalente alla fase più antica della villa (II sec. d.C.; fig. 4). La prima, con vani su due livelli, si affacciava su un grande cortile rettangolare, pavimentato con lastre di marmi colorati così come anche le pareti, una vera e propria piazza scoperta usata per rappresentazioni ed eventi diversi. Tale settore "pubblico" faceva perno sulla sala ottagonale, che era probabilmente l'ambiente più prestigioso del palazzo. L'ala privata presentava, al piano superiore, "*cubicula*" (camere da letto), anch'essi dotati d'impianto di riscaldamento, con pavimenti in *opus sectile* e pareti rivestite in marmo. Nel piano inferiore vi era invece una piccola *terma*, insieme a vari ambienti e corridoi. L'imponente struttura contraffortata del complesso, a sud del settore residenziale, era la cosiddetta *basis villae*. In questi ambienti di sostruzione vi era il settore di servizio della villa, in cui i molteplici vani venivano usati dalla servitù come cucine, magazzini e latrine. Vi trovavano posto anche le fognature e i forni per l'impianto di riscaldamento che sfruttava le *suspensurae* e i tubuli per far circolare l'aria calda sotto i pavimenti e lungo le pareti (Giustozzi 2010).

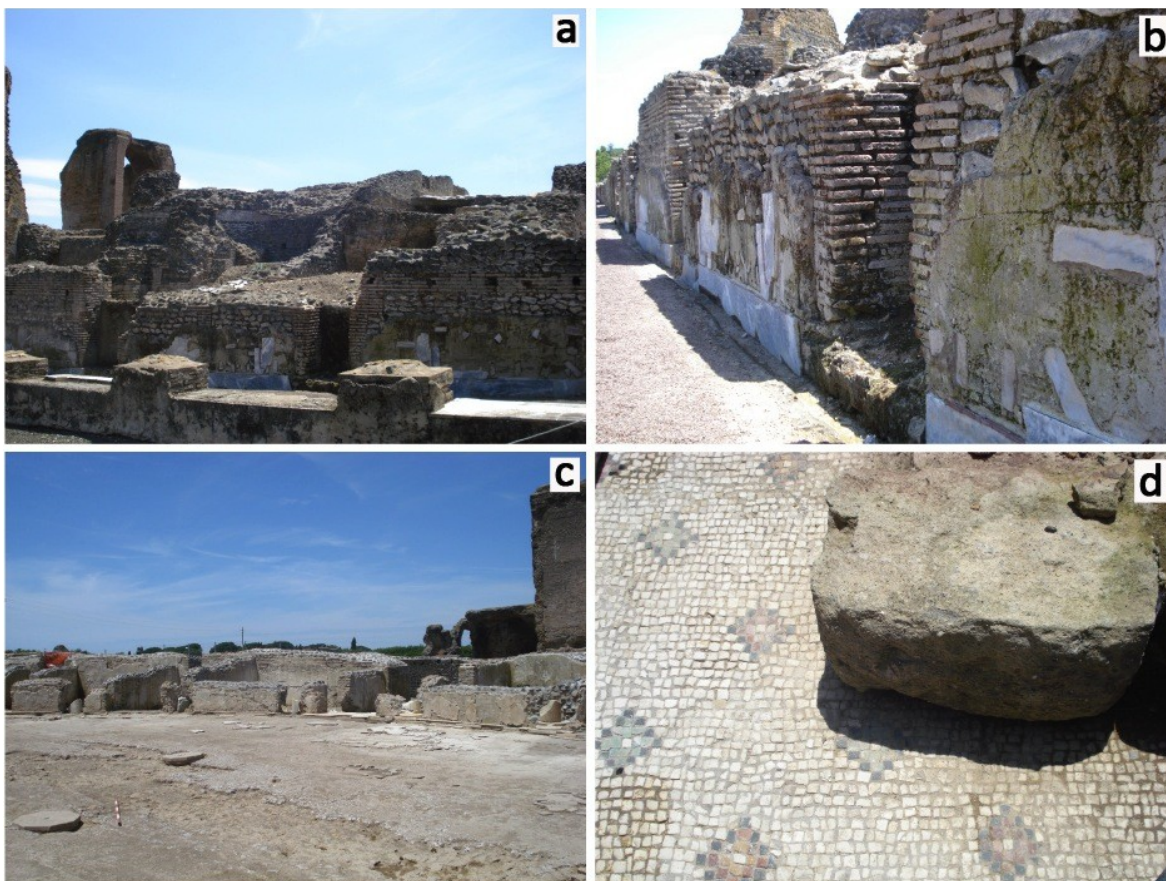


Figura 4. Le foto rappresentano: l'area residenziale privata (a); il corridoio dell'area di rappresentanza (b); l'esedra dell'area di rappresentanza (c); un particolare di un mosaico pavimentale in uno degli ambienti privati dell'area residenziale (d).

Il settore B (fig. 3), costituito da due grandi corpi di fabbrica quadrangolari, rappresenta la zona termale della villa. Quest'ultima era formata da una zona fredda (*Frigidarium*; fig. 5 c-d), una zona calda (*Calidarium*; fig. 5 a-b) e una zona tiepida (*Tepidarium*). La sala del *Frigidarium* aveva pavimenti in *opus sectile* di cipollino e altri marmi preziosi, ed era dotato di due vasche per le abluzioni in acqua fredda poste sui lati della sala, di cui una rettangolare e l'altra absidata. Si tratta dell'ambiente più riccamente decorato, da cui provengono statue e rilievi oggi conservati in vari musei. Nella sala del *Calidarium* era presente un'ampia piscina riscaldata grazie a tre caldaie di bronzo, delle quali oggi rimangono i profondi incassi, posti davanti ai forni per il riscaldamento. Anche gli ambienti minori, pertinenti al *Tepidarium* e destinati alle altre funzioni delle terme, erano caratterizzati da pregevoli decorazioni in marmi esotici. In una di queste piccole sale fu ricavata, in epoca medievale, una calcara utilizzata probabilmente per la cottura dei marmi della villa al fine di ottenere calce. Ciò ha contribuito, insieme ai successivi e reiterati spogli, alla mancata conservazione dell'originario e sontuoso apparato decorativo della villa (Giustozzi 2010).

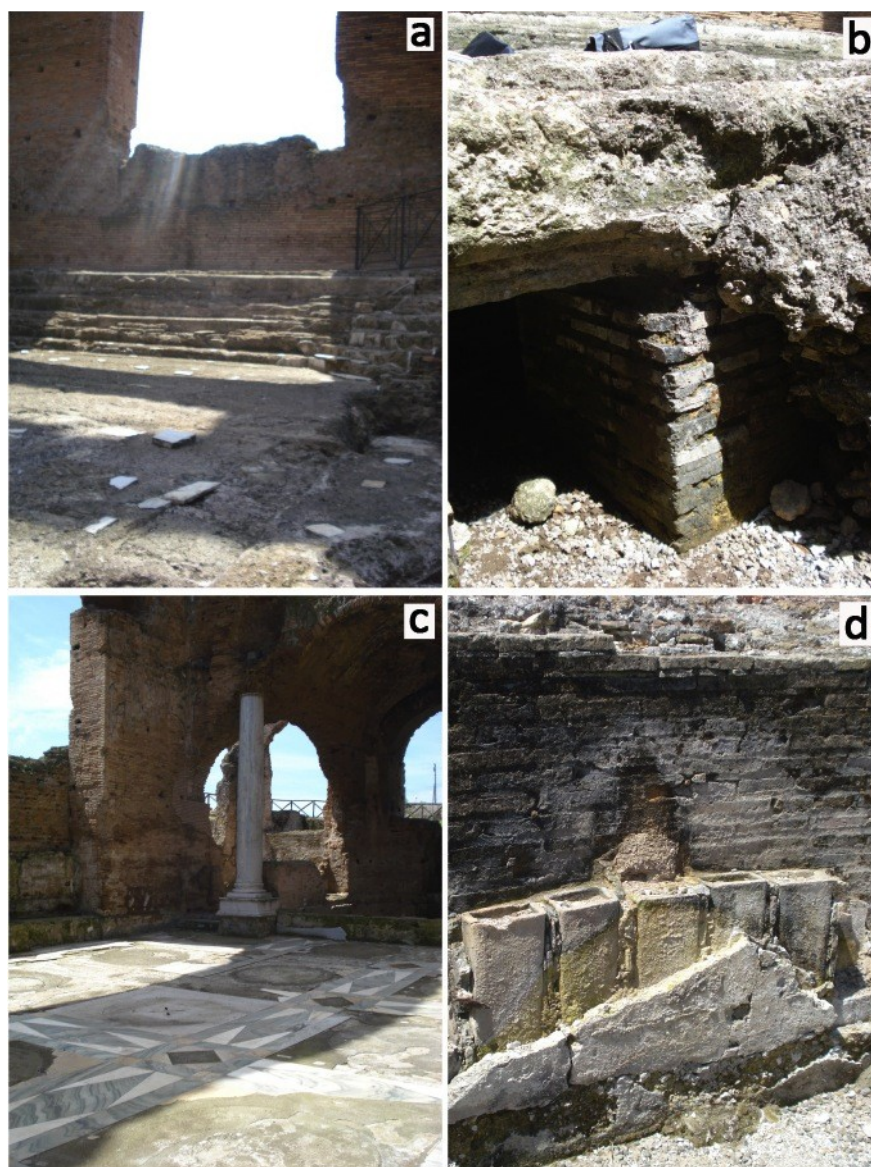


Figura 5. Ambienti termali del *Calidarium* (a-b) e del *Frigidarium* (c-d).

Cerniera strutturale tra i diversi corpi di fabbrica della villa è il grande edificio curvilineo denominato *Viridarium* e indicato in figura 3 con la lettera “C”. L’edificio ha forma ellittica con il muro perimetrale in opera listata (fig. 6a). All’interno vi era un portico della cui copertura si vedono i fori per le travi alle pareti e le basi del colonnato. Il pavimento era a grandi lastre marmoree. La vista panoramica dell’edificio fa pensare anche a un luogo di passeggio al coperto, in cui lo spazio centrale era probabilmente adibito a giardino. Due lunghi passaggi coperti collegavano, all’epoca dell’imperatore Commodo, i settori principali della lussuosa residenza con l’ingresso sulla via Appia Antica e il grande ninfeo, quest’ultimo indicato con la lettera “D” (fig. 3). La fontana monumentale era caratterizzata da un’ampia esedra semicircolare, con una nicchia sul fondo e una grande fontana al centro, alimentata da un’enorme cisterna ricavata all’interno del corpo di fabbrica del ninfeo (fig. 6b). Le cisterne del ninfeo, sia quella grande che quella più piccola, erano tutte alimentate dal piccolo acquedotto privato della villa, le cui arcate si vedono

bene percorrendo l'Appia Nuova subito prima del Grande Raccordo Anulare. L'aspetto attuale del ninfeo è dovuto alla fortificazione che durante il Medioevo interessò la parte della villa prospiciente l'Appia, di proprietà dei conti di Tuscolo e poi degli Astalli, che edificarono un castello per il controllo dei traffici sulla strada (De Franceschini 2005).

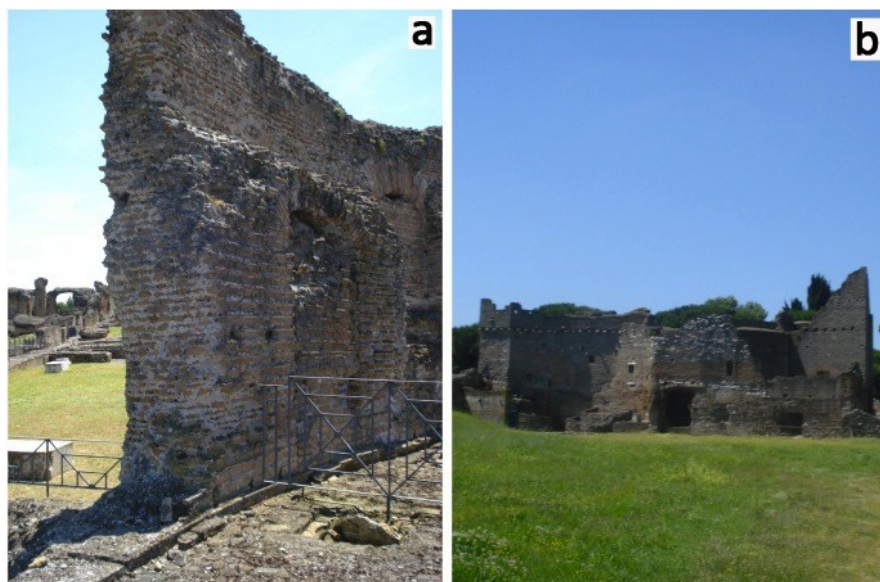


Figura 6. a) *Viridarium*, b) *Ninfeo*

1.3 I MATERIALI DELLA VILLA E LE SUE TECNICHE EDILIZIE

La Villa dei Quintili è completamente diversa dalla maggioranza delle altre ville nei dintorni di Roma. Si tratta infatti di una villa monumentale a padiglioni, con funzioni di rappresentanza e decorazioni di grande lusso, dove tutto rispecchia la ricchezza dei suoi proprietari, dalla collocazione sulla via Appia all'estensione stessa del terreno. I materiali utilizzati in essa sono di grande pregio. Gli elementi decorativi pavimentali sono in genere in *opus sectile* e in mosaico policromo (fig. 7), in laterizio sono gli ambienti termali e in cocciopesto le cisterne. I rivestimenti parietali sono costituiti da marmi, affreschi, stucchi, tessere musive in pasta vitrea colorata e cocciopesto con cordolo nelle cisterne. Tutte le stanze del complesso erano dotate di un vero e proprio sistema di riscaldamento, costituito da *suspensurae* e tubuli di terracotta, inseriti nelle pareti, all'interno dei quali veniva fatta passare l'aria preriscaldata (fig. 5d).



Figura 7. Ricoperture pavimentali. a) pavimento in opus sectile del *Frigidarium*, b) mosaico pavimentale nell'area residenziale.

Per quanto riguarda le tecniche edilizie, gli edifici sono costruiti prevalentemente in opera laterizia (muratura con soli mattoni) e in opera listata (*opus vittatum*, muratura formata di piccoli blocchetti di tufo a forma di parallelepipedo, chiamati tufelli, alternati a uno o più corsi di mattoni). Nell'area termale è presente un paramento murario in opera reticolata (*opus reticulatum*). Si tratta di una tecnica edilizia che venne utilizzata a partire dal I sec. a.C. in cui venivano utilizzati tufelli o laterizi a forma piramidale tronca e a base quadrata che rimanevano infissi nell'opera cementizia ancora fresca dal lato della cima tronca e disposti in posizione diagonale, ottenendo così il caratteristico motivo ornamentale "reticolato" (fig. 8d).

Sulla base di fonti storiche e archeologiche si distinguono generalmente due fasi costruttive. Non si tratta però di una distinzione netta poiché la villa appartenne a diversi imperatori, ognuno dei quali portò modifiche alle strutture. Durante la prima fase, che ebbe inizio nel II sec. d.C. si ha la costruzione dell'edificio residenziale e delle terme minori. Risalgono alla seconda fase (II - III sec. d.C.) i lavori di ampliamento dell'edificio residenziale, la costruzione delle terme principali (*Calidarium*, *Frigidarium* e *Tepidarium*), dell'edificio ovale (*Viridarium*) e delle cisterne (De Franceschini 2005).



Figura 8. Foto mostranti le diverse tecniche edilizie presenti nella villa (a, b, c, d) ed evidenze delle diverse fasi costruttive (e, f).

II CAPITOLO

I MATERIALI STUDIATI

2.1 LE MALTE DELLA VILLA DEI QUINTILI

I numerosi edifici che compongono il complesso residenziale della Villa dei Quintili si articolano in vari nuclei distinti, caratterizzati da differenti tecniche edilizie, pertinenti a diverse fasi costruttive. Tali caratteristiche hanno reso la fase di prelievo dei campioni un momento molto delicato dell'intero lavoro. Per questo motivo, il campionamento è stato svolto con la collaborazione degli archeologi della Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma, al fine di prelevare campioni che fossero rappresentativi di ciascuna fase edilizia. Il campionamento ha riguardato diversi ambienti della villa, quali: le zone termali (*Calidarium*, *Frigidarium* e *Tepidarium*), il *Viridarium*, le zone residenziali (di rappresentanza e private) e il *Ninfeo* (fig. 9). I campioni prelevati dalle diverse strutture consistono prevalentemente in frammenti di malte di allettamento, di rivestimento e per pavimentazione. In figura 9, sono riportate le aree interessate dal campionamento.

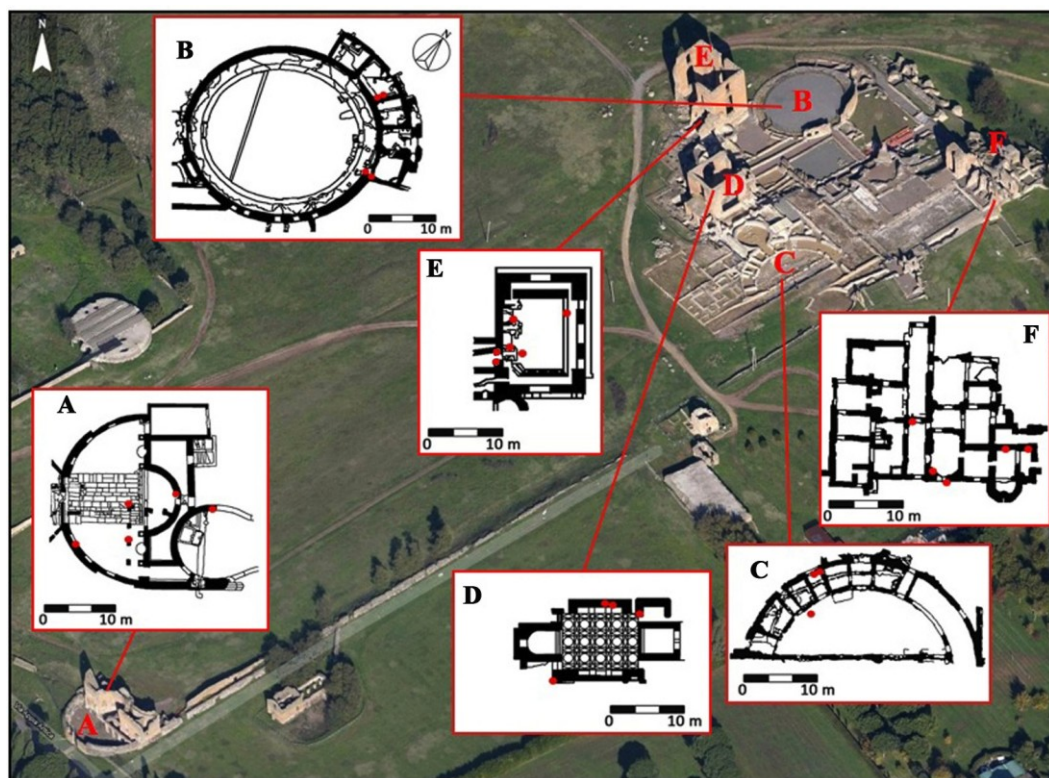


Figura 9. Immagine satellitare della Villa dei Quintili con i particolari delle zone campionate; A = Ninfeo; B = Viridarium; C = Esedra; D = Frigidarium; E = Calidarium; F = Area residenziale e termale privata.

Di seguito viene riportata la descrizione macroscopica dei campioni prelevati, suddivisi per tipologia d'uso (malta di allettamento, malta di rivestimento, malta per pavimentazione).

Malte di allettamento

VQ1: Malta di colore chiaro tendente al grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1) con aggregati ben visibili a occhio nudo (fino a ~ 2 cm; fig. 10). Si presenta molto dura e resistente alla rottura. Il campione è stato prelevato dal paramento murario (di probabile età antonina, 138-161 d.C.) che costituisce l'ingresso del *Calidarium*.

VQ2: Malta di età antonina, proveniente dallo stesso paramento murario da cui è stato prelevato il campione VQ1. Il prelievo è stato effettuato nella zona inferiore del muro (fig. 10). La malta si presenta di colore chiaro, variabile da beige a grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1), con aggregati di diversa dimensione (fino a ~ 2 cm). Risulta molto compatta ma meno dura della precedente (VQ1).

VQ4: Malta prelevata dalle stesse mura d'ingresso al *Calidarium*, ma in una porzione probabilmente più antica (fig. 10). Presenta un'abbondante quantità di aggregato, di dimensioni variabili da ~ 2 mm a ~ 1 - 1.5 cm, sono presenti anche frammenti di cocciopesto. La malta ha un colore chiaro (MUNSELL:10YR 8/1) e si presenta molto compatta e resistente.

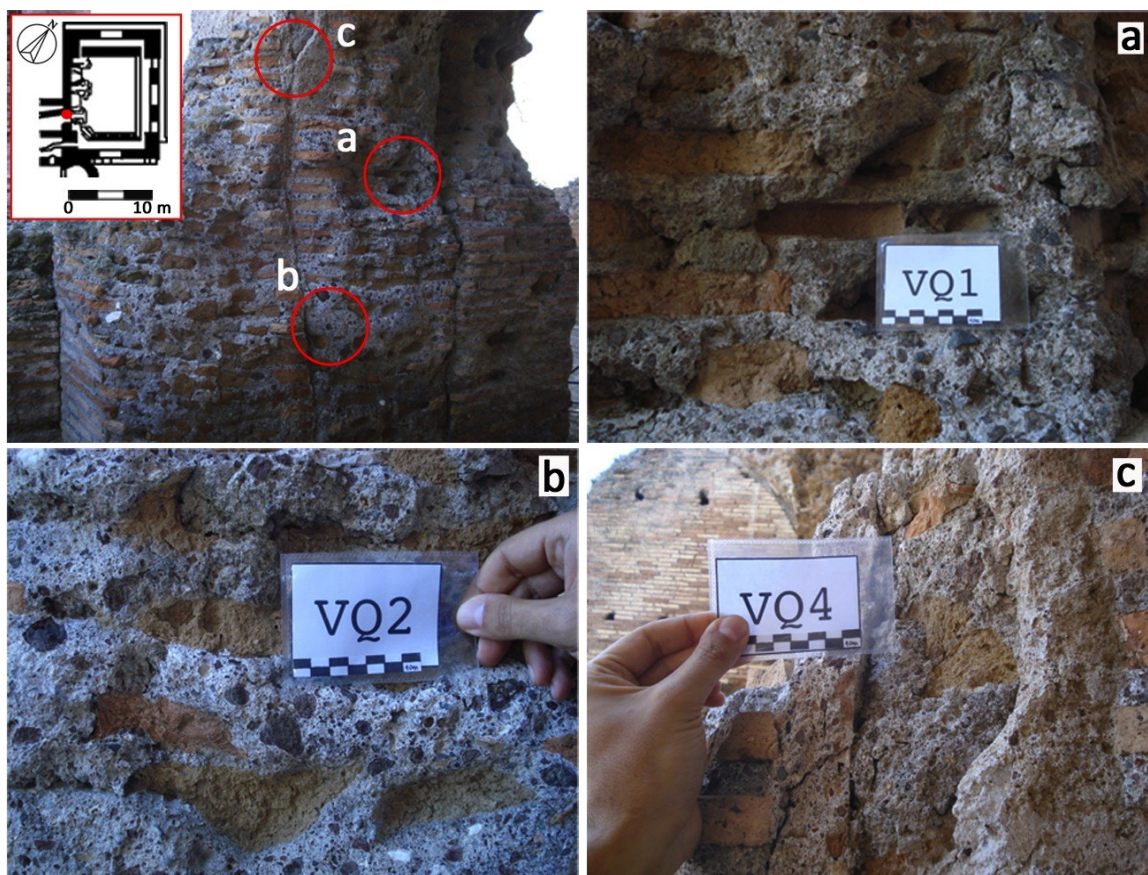


Figura 10. In alto a sinistra foto delle mura d'ingresso del *Calidarium*; in alto a destra e in basso le aree campionate.

VQ5: Malta di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), molto compatta e con aggregati di dimensioni variabili da ~ 2 mm a ~ 1 cm (fig. 11). Sono presenti anche frammenti di cocciopesto. Il prelievo è stato effettuato sul paramento murario (di probabile età antonina) dell'ambiente che precede il *Calidarium*.

VQ6: Malta dal colore tendente al grigiastro (MUNSELL: 10YR 7/1) in superficie mentre alla rottura presenta una colorazione più chiara (grigio chiaro). Gli aggregati hanno dimensioni comprese tra ~ 1 e 5 mm (fig. 11). Tale malta è meno compatta e più friabile rispetto alle precedenti. Il paramento murario da cui è stato prelevato questo campione si trova all'interno del *Calidarium*, sul lato sud-ovest, ed è probabilmente di età severiana (193-211 d.C.).



Figura 11. Foto delle aree di prelievo dei campioni VQ5 e VQ6.

VQ8: Malta prelevata all'interno del *Calidarium*, nella prima bocca del forno nel lato sud-ovest (fig. 12). Si presenta di colore chiaro tendente al grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1), con grossi frammenti di cocciopesto (fino a 3 - 4 cm) e aggregati di altra natura e di dimensioni minori.

VQ9: Malta prelevata all'interno del *Calidarium*, nella seconda bocca del forno nel lato sud-ovest (fig. 12). Abbastanza resistente e dura, di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), con aggregati di dimensioni variabili (fino a ~ 3 cm).

VQ10: Malta prelevata all'interno del *Calidarium*, nella seconda bocca del forno nel lato sud-ovest (fig. 12). In generale, mostra un colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1) e aggregati di diverse dimensioni (fino a ~ 3 cm), sebbene siano prevalenti quelli grossolani. Si presenta molto compatta e completamente ricoperta di muschio.

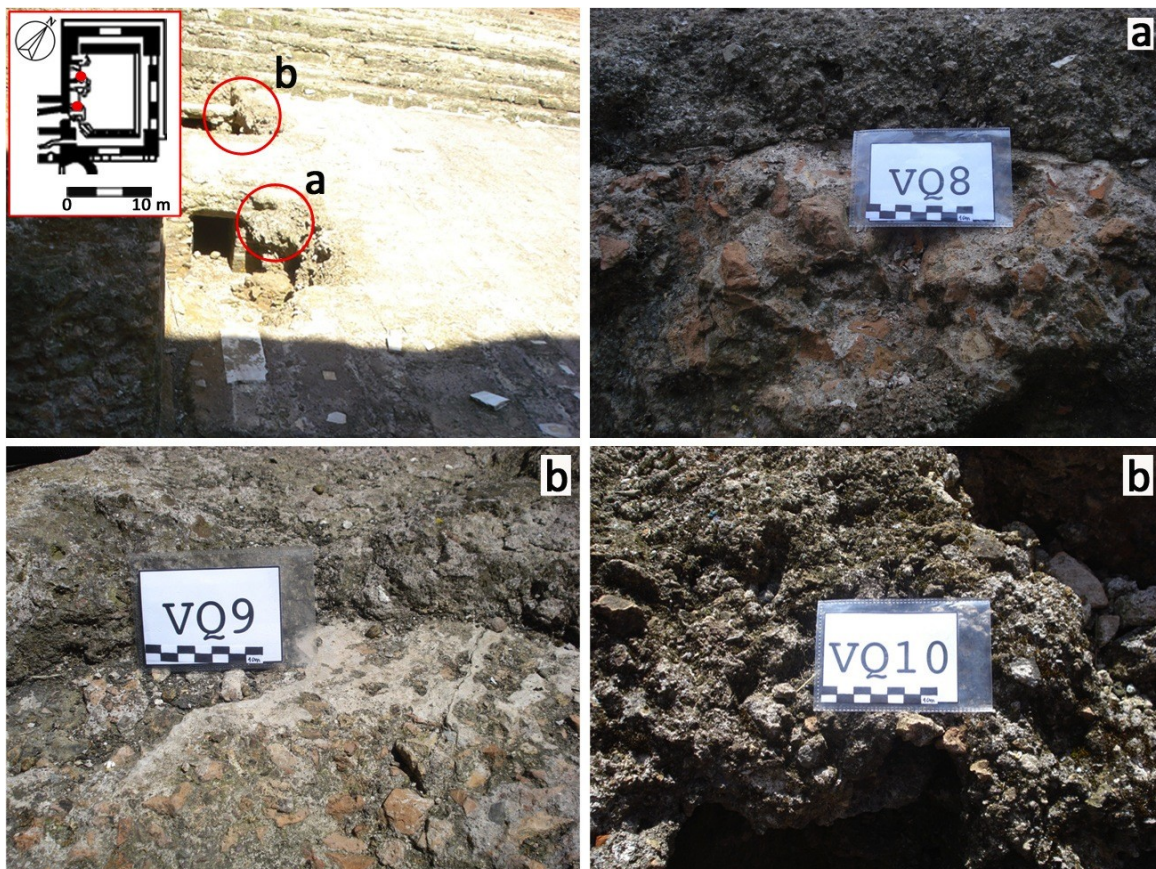


Figura 12. In alto a sinistra foto dell'ambiente termale del *Calidarium*; in alto a destra e in basso le aree in cui sono stati prelevati i campioni VQ8, VQ9 e VQ10.

VQ13: Malta prelevata dalle mura dell'ambiente che precede l'aula del *Frigidarium* (fig. 13). Queste mura, probabilmente del 123 d.C. sono state inglobate da quelle antonine (138-161 d.C.). La malta è molto friabile, di colore grigio chiaro (MUNSELL: 7.5YR 7/1), con pochi aggregati di dimensione molto variabile (fino a ~ 1 cm).

VQ14: Malta di probabile età antonina, prelevata dal paramento murario che ingloba le mura più antiche, forse del 123 d.C. (fig. 13). La malta si presenta molto resistente e di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), con aggregati di varie dimensioni (fino a ~ 1 cm).

VQ15: Malta prelevata dal muro nord-est dell'aula del *Frigidarium* (fig. 13). Di colore chiaro tendente al grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1) e di moderata durezza, presenta aggregati di dimensioni molto variabili (fino a ~ 2 cm).

VQ16: Malta prelevata dal muro nord-est del *Frigidarium* (fig. 13). Si presenta molto friabile, con una colorazione grigiastra (MUNSELL: 10YR 7/1) e con pochi aggregati di piccole dimensioni (max 0.3 cm).

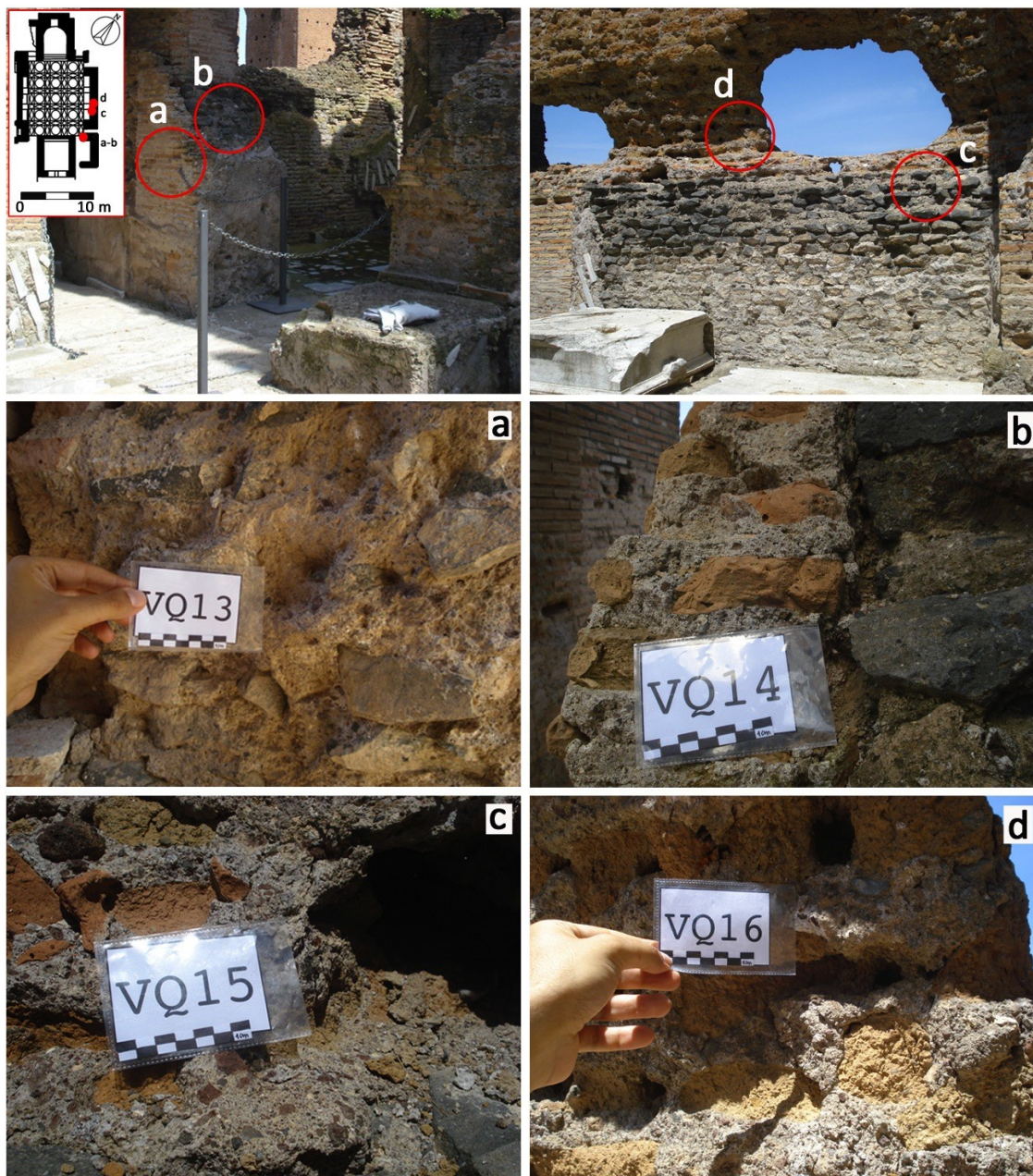


Figura 13. In alto foto dei paramenti murari dell'area termale del *Frigidarium* dai quali sono stati prelevati i campioni VQ13, VQ14, VQ15 e VQ16.

VQ20: Malta prelevata in un ambiente di rappresentanza, probabilmente di età antecedente il 123 d.C., data la peculiare tecnica edilizia in opera reticolata (fig. 14). La malta si presenta abbastanza resistente, di colore grigio chiaro (MUNSELL: 2.5YR 7/1), con pochi aggregati e di dimensioni molto variabili (da ~ 1 mm a ~ 3 cm).



Figura 14. A sinistra foto generale del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ20 (a destra).

VQ21: Malta prelevata dal tamburo del *Viridarium*, probabilmente di età *commodiana* (180-192 d.C.; fig. 15). La malta si presenta di colore grigio (MUNSELL: 10YR 7/1), risulta molto friabile, con pochi aggregati e di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm).

VQ22: Malta prelevata dal tamburo del *Viridarium* e probabilmente di età *commodiana* (180-192 d.C.; fig. 15). La malta, abbastanza friabile, presenta una colorazione grigiastrea (MUNSELL: 10YR 7/1). Sono presenti pochi aggregati e di dimensioni medio-piccole (fino a ~ 0.5 cm).



Figura 15. Foto delle aree di prelievo dei campioni VQ21 e VQ22 presso le mura del tamburo del *Viridarium*.

VQ23: Malta proveniente dal tamburo del *Viridarium*, dal muro posto a sud-est (fig. 16). Si presenta abbastanza friabile, di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1) e con pochi aggregati di dimensione variabile (fino a ~ 2 cm).

VQ24: Malta di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), abbastanza friabile e con pochi aggregati di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm; fig. 16).

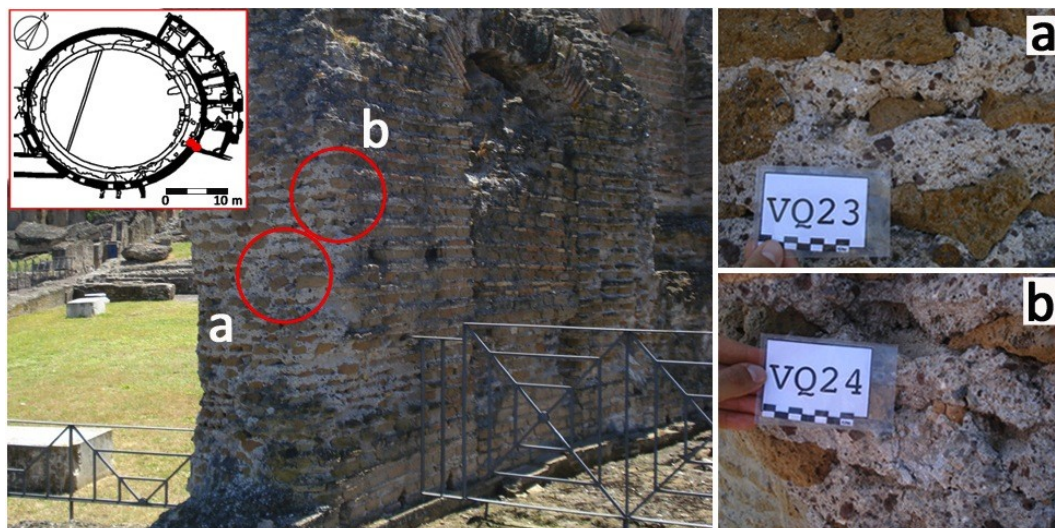


Figura 16. A sinistra foto generale delle mura del *Viridarium* con le aree di prelievo dei campioni VQ23 e VQ24.

VQ30: Malta prelevata da un paramento murario lasciato come testimone per evidenziare la chiusura del corridoio che dalla zona residenziale conduceva alle terme private (fig. 17). La malta si presenta di colore grigio chiaro (MUNSELL: 7.5YR 7/1), abbastanza friabile e con aggregati di diverse dimensioni (fino a ~ 1 cm).



Figura 17. A sinistra foto generale del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ30 (foto a destra).

VQ31: Malta prelevata nell'area termale privata, all'interno della zona residenziale (fig. 18). Il prelievo è stato effettuato all'interno di una piccola volta che riportava un'iscrizione con il nome dell'imperatore Commodo. Si presume quindi che la malta sia commodiana (180-192 d.C.). Si presenta abbastanza compatta ma non molto dura, di colore grigio chiaro-biancastro (MUNSELL: 10YR 8/1), con una scarsa quantità di aggregati di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm).



Figura 18. A sinistra foto generale del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ31 (foto a destra).

VQ33: Malta prelevata all'interno della zona residenziale, da un muro di probabile età antonina (138-161 d.C.; fig. 19). Si presenta abbastanza friabile, di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), con abbondanti aggregati di diverse dimensioni (fino a ~ 2 cm).



Figura 19. A sinistra foto generale del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ33 (foto a destra).

VQ34: Malta prelevata all'interno della zona residenziale (fig. 20). Si tratta probabilmente di parte di un crollo di un soffitto di epoca antonina (138-161 d.C.). Esternamente si presenta completamente ricoperta di muschio e licheni, mentre internamente è di colore grigio chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), con abbondanti aggregati di diverse dimensioni (fino a ~ 1 cm), risulta abbastanza compatta.

VQ35: Malta prelevata da un paramento murario dell'esedra della zona residenziale di rappresentanza (fig. 20). La parete è probabilmente tardo severiana. Si presenta di colore beige (MUNSELL: 10YR 7/1), con pochi aggregati di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm).



Figura 20. Foto delle aree di prelievo dei campioni VQ34 e VQ35.

VQ40: Malta prelevata da un muro esterno del Ninfeo, probabilmente di età commodiana (180-192 d.C.; fig. 21). Si presenta poco compatta, di colore grigio chiaro (MUNSELL: 7.5YR 7/1) e con aggregati di diverse dimensioni (da ~ 1 mm a ~ 2 cm).



Figura 21. A sinistra ingresso del Ninfeo; a destra area di prelievo del campione VQ40.

VQ41: Malta prelevata dalla parete sud del Ninfeo e risalente probabilmente al 123 d.C. (fig. 22). Si presenta abbastanza friabile, colore chiaro (MUNSELL: 10YR 5/2) e con aggregati di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm).



Figura 22. A sinistra foto del cortile interno del *Ninfeo*; a destra area dei prelievo del campione VQ41.

VQ42: Malta proveniente dalla base di un pilastro del *Ninfeo* (fig. 23). La malta risulta abbastanza compatta, di colore grigio (MUNSELL: 10YR 7/1) e con aggregati di piccole dimensioni (~ 1 – 2 mm).



Figura 23. A sinistra foto della colonna dalla quale è stato prelevato il campione VQ42 (foto a destra).

VQ43: Malta proveniente dalla base del pilastro centrale nell'ambiente interno del *Ninfeo* (fig. 24). La malta, abbastanza compatta, ha una colorazione chiara (MUNSELL: 7.5YR 7/1) e pochi aggregati di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 cm).

VQ44: Malta proveniente dal pilastro centrale nell'ambiente interno del *Ninfeo* (fig. 24). Si presenta con una colorazione tendente al grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1), abbastanza resistente e con aggregati di dimensioni medie (fino a ~ 1 cm).

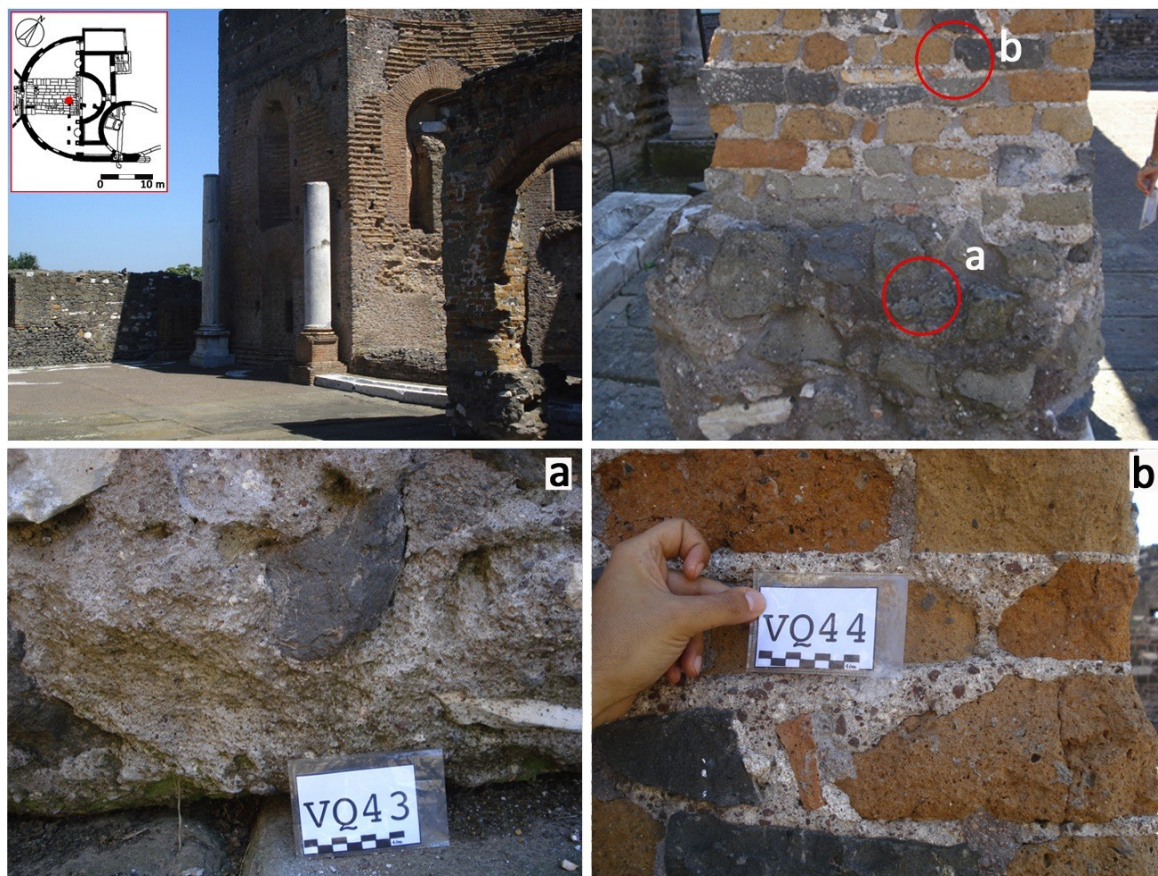


Figura 24. A sinistra foto di una delle colonne presenti all'interno del *Ninfeo* con le aree interessate dal campionamento.

VQ46: Malta prelevata dalla parete nord-est del *Ninfeo* (fig. 25) e di probabile epoca *commodiana* (180-192 d.C.). Si presenta molto resistente, con abbondanti aggregati di dimensioni variabili (fino a ~ 1 cm) e colore grigiastro (MUNSELL: 10YR 7/1).



Figura 25. A sinistra foto generale del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ46 (foto a destra).

Malte di rivestimento

VQ3: Malta (fig. 26) dalla colorazione beige-biancastra (MUNSELL: 10YR 8/1), con aggregati di dimensione molto variabile (dal millimetro a ~ 2 cm), inoltre sono presenti alcuni frammenti di cocciopesto. Si presenta molto compatta e dura.



Figura 26. Foto del paramento murario d'ingresso del *Calidarium* (a sinistra) e particolare (a destra) dell'area da cui è stato prelevato il campione VQ3.

VQ11: Malta prelevata dai gradini all'interno del *Calidarium*, nell'area nord-est (fig. 27). Si presenta abbastanza friabile, con una colorazione chiara (MUNSELL: 10YR 8/1) e aggregati di diverse dimensioni (fino a ~ 1 cm) sebbene prevalgano quelli più piccoli.

VQ12: Malta proveniente dai gradini all'interno del *Calidarium*, nell'area nord-est (fig. 27). Di colore chiaro (MUNSELL: 7.5YR 8/1), poco compatta e con aggregato di dimensioni molto variabili (fino a ~ 1.5 cm).



Figura 27. A sinistra foto dell'area termale del *Calidarium* e particolari (a destra) delle aree interessate dal prelievo dei campioni VQ11 e VQ12.

VQ32: Malta prelevata dagli ambienti termali privati (fig. 28). La datazione è incerta, ma probabilmente si tratta di un paramento murario di età commodiana. La malta si presenta abbastanza compatta, di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1), con pochi aggregati e di simili dimensioni (fino a ~ 1.5 cm).



Figura 28. A sinistra foto del paramento murario dal quale è stato prelevato il campione VQ32 e particolare (a destra) dell'area di prelievo.

VQ36: Malta proveniente dall'area residenziale di rappresentanza (fig. 29), probabilmente del 123 d.C. La superficie risulta essere abbastanza regolare, di colore chiaro (MUNSELL: 7.5YR 8/1), con pochissimi aggregati e di piccolissime dimensioni (fino a ~ 0.5 mm).

VQ37: Malta proveniente dall'area residenziale di rappresentanza (fig. 29). Il campione è stato prelevato nella porzione inferiore delle mura. Si presenta di colore beige (MUNSELL: 10YR 8/1), sebbene esternamente la colorazione sia più giallastra, con pochissimi aggregati e di piccole dimensioni (fino a ~ 0.5 mm).



Figura 29. Foto delle aree di prelievo dei campioni VQ36 e VQ37 provenienti dall'area residenziale di rappresentanza.

Malte per pavimentazione

VQ7: Frammento prelevato dalla pavimentazione dell'aula del *Calidarium* (fig. 30). Esternamente si presenta ricoperto da muschio e licheni che gli conferiscono una colorazione verde-brunastra, mentre al taglio fresco presenta una colorazione beige chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1). E' molto resistente e presenta una scarsa quantità di aggregati di piccole dimensioni (max 2 mm).



Figura 30. A sinistra foto del *Calidarium*; a destra particolare del sito di prelievo del campione VQ7.

VQ38: Frammento di pavimentazione prelevato dall'edera (zona residenziale di rappresentanza; fig. 31), di probabile età antonina (150 d.C.). Si presenta di colore grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1), poco compatta e con scarsi aggregati di piccole dimensioni (~ 2 - 5 mm).

VQ39: Frammento di pavimentazione dall'edera (zona residenziale di rappresentanza; fig. 31). Tale pavimentazione risale probabilmente al III sec. d. C. Si presenta molto compatta, di colore grigio (MUNSELL: 7.5YR 8/1) e con pochissimi aggregati di piccola dimensione (~ 2 - 5 mm).



Figura 31. A sinistra foto generale dell'edera dell'area residenziale di rappresentanza e particolari dei campioni prelevati (a destra).

Altri materiali

VQ_C: Frammento di calce prelevato all'interno della calcara presente nell'area termale denominata *Tepidarium*. Il frammento presenta una colorazione biancastra (MUNSELL: 10YR 8/1), risulta inoltre molto friabile.

VQ18: Frammento di calce prelevata fra i laterizi delle pareti della calcara presente nell'area termale (*Tepidarium*; fig. 32). Il frammento si presenta molto friabile e di colore chiaro (MUNSELL: 10YR 8/1).



Figura 32. A sinistra foto della calcara e a destra area da cui è stato prelevato il campione VQ18.

VQ27: Campione di calce prelevato da un frammento di mosaico ritrovato come rivestimento parietale nel *Tepidarium* (fig. 33). Il prelievo è stato effettuato fra le tessere di mosaico. Il campione presenta una colorazione chiara (MUNSELL: 7.5YR 8/1).

VQ28: Campione di malta prelevata dallo stesso frammento di mosaico dal quale è stato prelevato il campione VQ27 (fig. 33). Il prelievo è stato effettuato nello strato sottostante le tessere di mosaico. Ha un colore chiaro (MUNSELL: 7.5YR 8/1) e pochi aggregati di piccole dimensioni (~ 1 mm max).

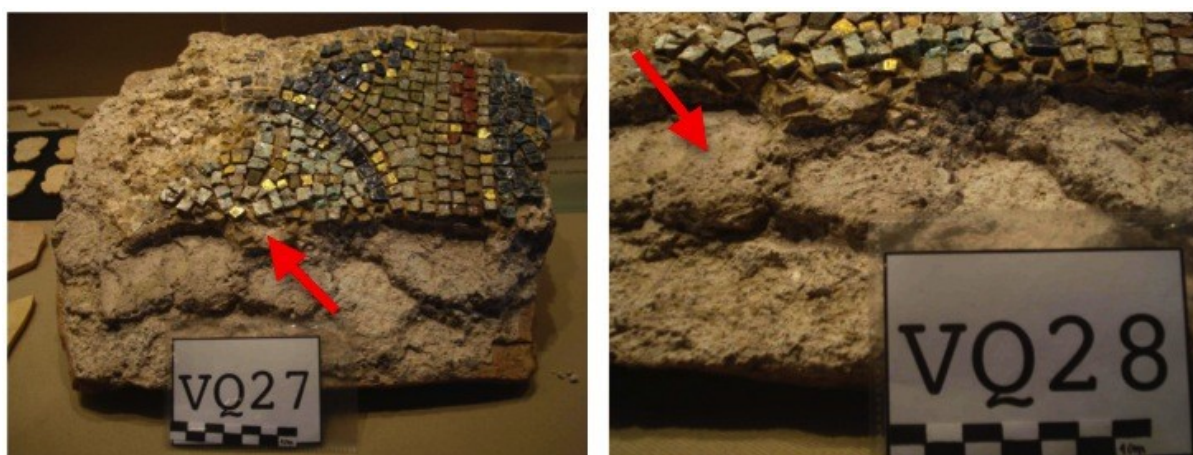


Figura 33. Frammento di mosaico dal quale sono stati prelevati i campioni VQ27 (calce) e VQ28 (malta).

2.2 LE MATERIE PRIME LOCALI

2.2.1 Inquadramento geologico generale dell'area

I terreni affioranti nell'areale della Villa dei Quintili e nelle zone ad essa limitrofe sono di natura vulcanica e sedimentaria (fig. 34). I terreni vulcanici appartengono ai diversi cicli di attività del distretto dei Colli Albani, sebbene le vulcaniti del distretto dei Monti Sabatini affiorino poco più a nord. Entrambi i distretti vulcanici appartengono alla Provincia Magmatica Romana, la quale è caratterizzata da prodotti con affinità ultrapotassica (e.g., Washington 1906; Peccerillo 2005; Conticelli et al. 1997; 2010). I terreni sedimentari sono quelli appartenenti al sistema della Dorsale Tiberina (pre-Appennino centro-laziale), la quale è costituita da coperture mesozoiche che affiorano nei pressi del Monte Soratte, a nord, e dei Monti Cornicolani, nel settore più meridionale della Dorsale stessa. Di seguito vengono descritti i principali caratteri geologico-vulcanologici dei distretti dei Monti Sabatini e dei Colli Albani, nonché i caratteri geologici di rilievo della successione sedimentaria dei Monti Cornicolani, le cui formazioni affiorano a pochi chilometri dalla Villa dei Quintili.

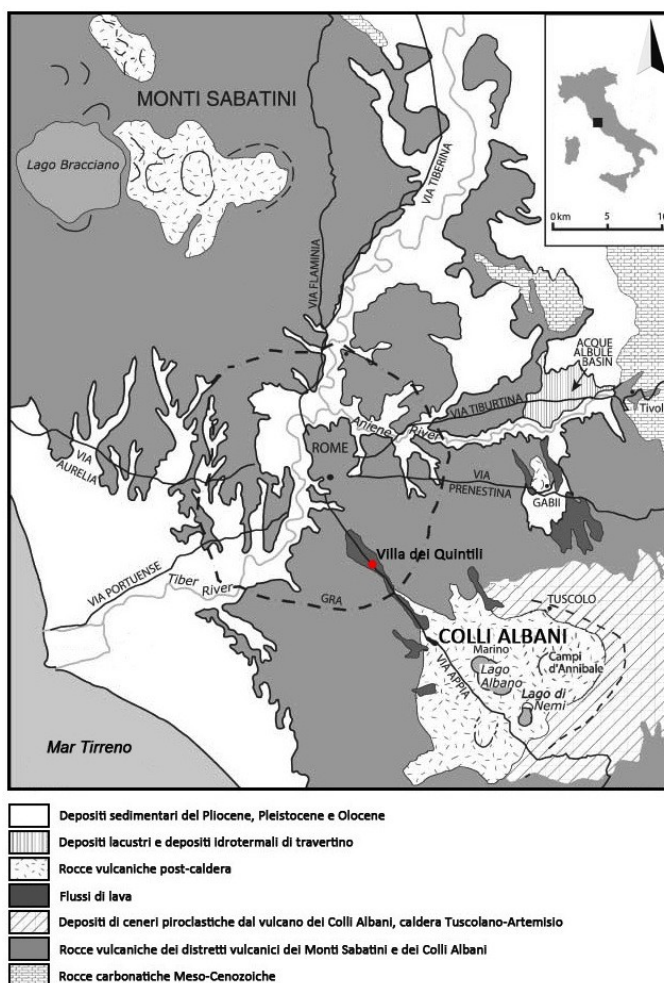


Figura 34. Carta geologica generalizzata dell'area Romana mostrante i distretti vulcanici dei Monti Sabatini e dei Colli Albani, i depositi di travertino nei pressi di Tivoli e l'ubicazione della Villa dei Quintili (modificata dopo Jackson et al. 2005).

Monti Sabatini

I prodotti vulcanici dei Monti Sabatini (fig. 35) ricoprono una superficie di 1800 km², relativamente pianeggiante, con circa 180 km³ di materiale prevalentemente piroclastico. I primi prodotti dei vulcani dei Sabatini, datati intorno a 600.000 anni fa, sono rappresentati da colate laviche ricoperte da materiale quasi esclusivamente derivante da attività esplosiva attribuita al centro di Morlupo-Castelnuovo di Porto. Questi primi prodotti presentano una caratteristica alterazione che ne ha determinato una colorazione giallastra, da cui la definizione di *Tufo Giallo della Via Tiberina* (Cioni et al. 1993; Villa 1987; 1993). L'unità del *Tufo Giallo della Via Tiberina* è costituita da un deposito derivante da più eventi esplosivi datati tra 560.000 e 550.000 anni fa (Karner et al. 2001; Sottili et al. 2010). Un altro importante evento esplosivo si è avuto intorno a 514.000 anni fa che ha depositato il cosiddetto *Tufo Giallo di Prima Porta*. Uno degli eventi eruttivi più rilevanti nel record vulcanico dei Sabatini risale a circa 450.000 anni fa (*Tufo Rosso a Scorie Nere* detto anche *Tufo Grigio Sabatino*; Karner et al. 2001). Altri eventi esplosivi hanno messo in posto spessori variabili (fino a 10 metri) di pomici da caduta che in letteratura sono definiti *Tufi Stratificati Varicolori di La Storta*. Nel periodo compreso tra 400.000 e 285.000 anni fa, l'attività è stata prevalentemente effusiva. L'attività esplosiva riprese 280.000 anni fa con la messa in posto di diversi flussi piroclastici i cui prodotti sono denominati *Tufi di Bracciano* (De Rita et al. 1983). Tra 80.000 e 40.000 anni fa, infine, le eruzioni si sono concentrate prevalentemente nel settore orientale ed hanno avuto origine da alcuni centri eruttivi isolati.

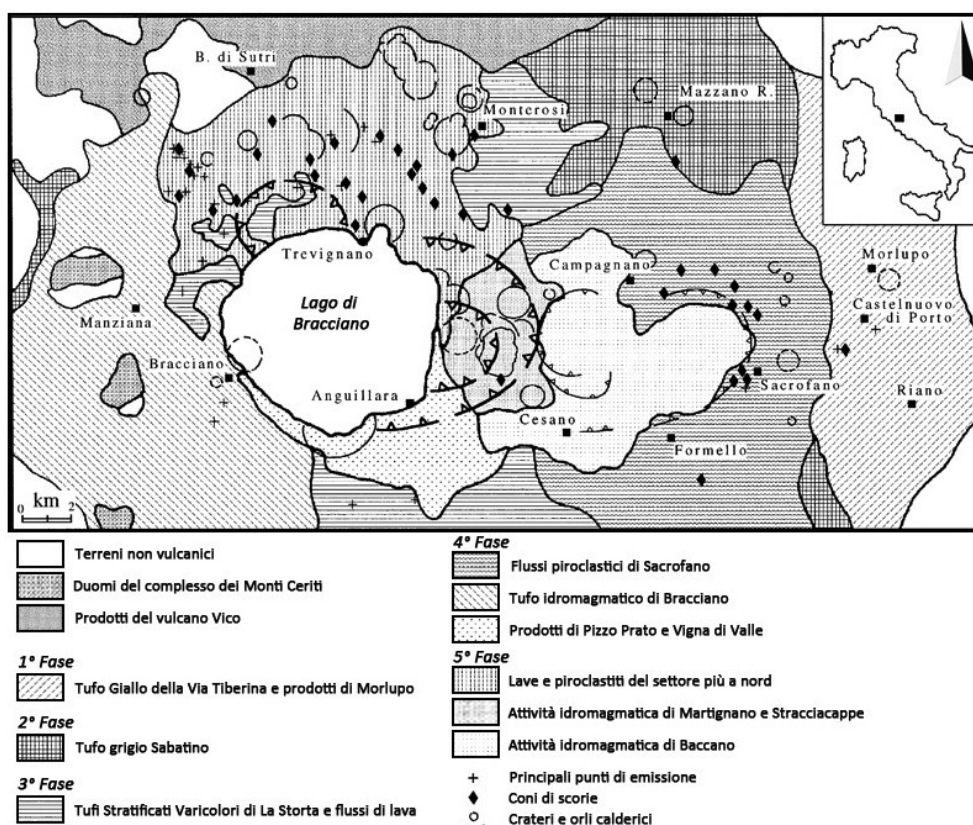


Figura 35. Carta geologica del distretto vulcanico dei Monti Sabatini (Modificata dopo Conticelli et al. 1997).

Colli Albani

La struttura dei Colli Albani (fig. 36) ricorda quella del complesso Somma-Vesuvio con una zona calderica del diametro di circa 8 km, al cui interno sorge un più recente edificio vulcanico. La suddivisione cronologica più classica dell'attività vulcanica dei Colli Albani comprende tre fasi (Fornaseri et al. 1963; De Rita et al. 1995; Karner et al. 2001; Marra et al. 2003):

- Fase Tuscolano-Artemisio (da circa 600.000 a 350.000 anni fa);
- Fase delle Faete (da circa 350.000 a 270.000 anni fa);
- Fase idromagmatica (da circa 270.000 a dopo 20.000 anni fa).

Lavori più recenti suddividono l'attività dei Colli Albani in quattro litosomi (*Vulcano Laziale*, *Tuscolano-Artemisio*, *Faete* e *Via dei Laghi*), ciascuno dei quali appartenente all'attività di ogni singolo edificio vulcanico (Giordano et al. 2006).

La fase Tuscolano-Artemisio, che comprende una serie di importanti eruzioni esplosive, è ulteriormente suddivisa in quattro cicli di attività che si sono ripetuti con cadenza di circa 100.000 anni (Fornaseri et al. 1963; Karner et al. 2001; Giordano et al. 2006). Il primo ciclo (tra 600.000 e 500.000 anni fa) comprende una serie di eruzioni che hanno ricoperto, con depositi piroclastici, un'area di circa 1600 km² di estensione, su cui sorge buona parte di Roma (De Rita et al. 2002; Freda et al. 2006). I prodotti eruttati sono generalmente ignimbriti, depositatisi a seguito di almeno quattro eventi esplosivi: *Tufo di Trigoria*, *Tufo di Tor de Cenci*, *Tufo del Palatino* e *Tufo del Casale del Cavaliere* (Freda et al. 2006). Il secondo ciclo di attività è anch'esso caratterizzato da eruzioni esplosive con fasi pliniane. Pomici da caduta, attribuibili a questa fase, si trovano alla base del deposito di un flusso piroclastico denominato *Pozzolane Rosse*, il cui volume corrisponde a circa 30-40 km³ distribuiti su un'area di oltre 1000 km² (De Rita et al. 1995; Giordano e Dobran 1994). Questa violenta fase esplosiva è caratterizzata da altri eventi pliniani, seguita da una fase prevalentemente effusiva che chiuse il secondo ciclo (tra 480.000 e 460.000 anni fa; colata di *lava di Vallerano*). Al terzo ciclo di attività (fino a circa 400.000 anni fa) appartiene la *Terza Unità di Flusso del Tuscolano-Artemisio*, che comprende le ignimbriti delle *Pozzolane Nere* e il *Tufo Lionato*, eventi datati rispettivamente a 520.000 e 480.000 anni fa (De Rita et al. 1995). La *Quarta Unità di Flusso del Tuscolano-Artemisio* (quarto ciclo di attività) comprende i depositi da caduta e le unità ignimbritiche delle *Pozzolanelle* e del *Tufo di Villa Senni* (De Rita et al. 1995; Karner et al. 2001). Con l'eruzione del *Tufo di Villa Senni* (datata intorno a 350.000 anni fa), che ha emesso i maggiori volumi di materiale nell'area, si chiude il ciclo delle grandi eruzioni ignimbritiche. Dopo un periodo di stasi di circa 75.000 anni, le eruzioni ripresero con uno stile di attività meno esplosivo (stromboliano) rispetto al precedente e con volumi di materiale emesso nettamente inferiori (circa 6 km³) (Karner et al. 2001; Marra et al. 2003). I primi depositi di questo nuovo centro eruttivo, denominato *Faete*, sono costituiti da livelli di scorie alternati a colate laviche (tra cui la colata di *Capo di Bove*; 277.000 anni fa).

L'ultima fase, chiamata Fase Idromagmatica o *Litosoma di Via dei Laghi* (Giordano et al. 2006), diede origine ad una serie di coni isolati costituiti da materiale finemente frammentato derivanti da interazione magma-acqua. Tra gli edifici più importanti vi è quello di Albano, la cui attività iniziò intorno a 45.000 anni fa e terminò con le eruzioni più recenti di tutta l'area, datate tra 36.000 e 19.000 anni fa (Voltaggio & Barbieri 1995).

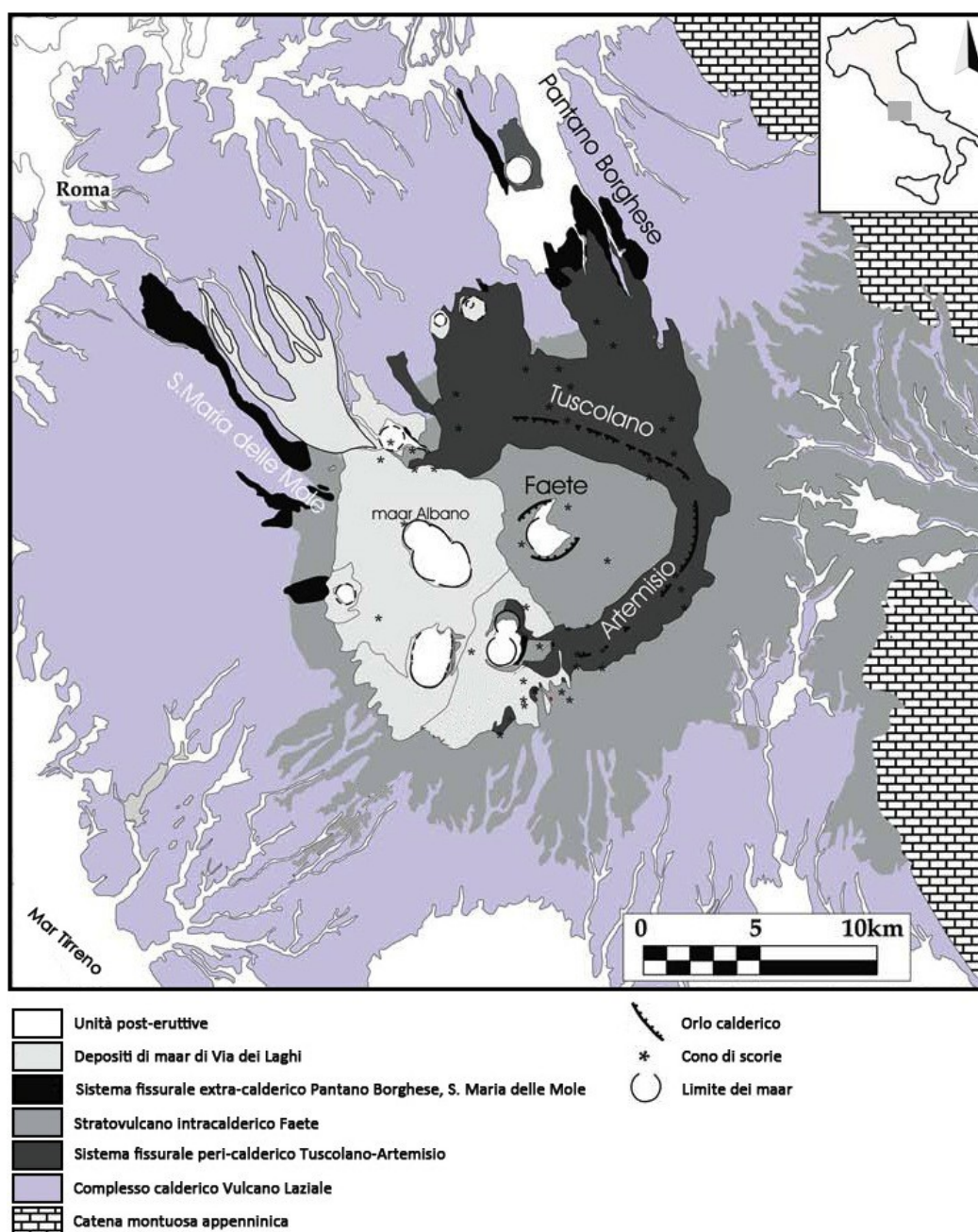


Figura 36. Carta geologica dei Colli Albani (Modificata dopo Giordano and the CARG Team 2010).

I Monti Cornicolani

I Monti Cornicolani (fig. 37) appartengono al sistema di thrusts dell'Appennino centrale, caratterizzato da una successione di falde derivanti dalla deformazione (Neogene) delle coperture sedimentarie meso-cenozoiche della placca Adria. Essi costituiscono, nel loro insieme, una propaggine meridionale del bacino umbro-marchigiano e rappresentano un settore del preappennino centrale sopraelevato rispetto alla Campagna Romana. I monti Cornicolani appartengono al dominio pelagico del Giurassico, durante il quale si svilupparono condizioni di piattaforma carbonatica pelagica dal Pliensbanchiano fino al Titoniano. Successivamente, la successione carbonatica registrò sedimentazione in ambiente di bacino pelagico con la deposizione della Formazione *Maiolica* (Pirro M. 2007). La sedimentazione continuò nell'area fino al Miocene medio e, a partire dal Tardo Tortoniano, l'intera successione pre-orogena fu coinvolta nella costruzione della Catena Appenninica. A partire dal tardo Pliocene la tettonica estensionale legata all'apertura del Tirreno, raggiunse il lato occidentale degli Appennini Centrali dando origine alla trasgressione del Mar Tirreno (Galesiano-Santerniano). Nella successione dei Monti Cornicolani questo ciclo transgressivo è testimoniato dalla presenza di depositi clastici di mare poco profondo. I terreni mesozoici che caratterizzano l'area cornicolana sono costituiti dalle sei formazioni geologiche principali: *Calcere Massiccio* (Hettangiano - Sinemuriano p. p.), *Corniola* (Sinemuriano p. p. - Toarciano p. p.), *Rosso Ammonitico* (Toarciano p. p.), *Calcere Dolomitico di S. Angelo Romano* (Bojacciano - Titonico superiore), *Calcari Diasprini* (Calloviano - Kimmeridgiano p. p.), *Maiolica* (Titonico superiore - Aptiano inferiore; Pirro M. 2007).

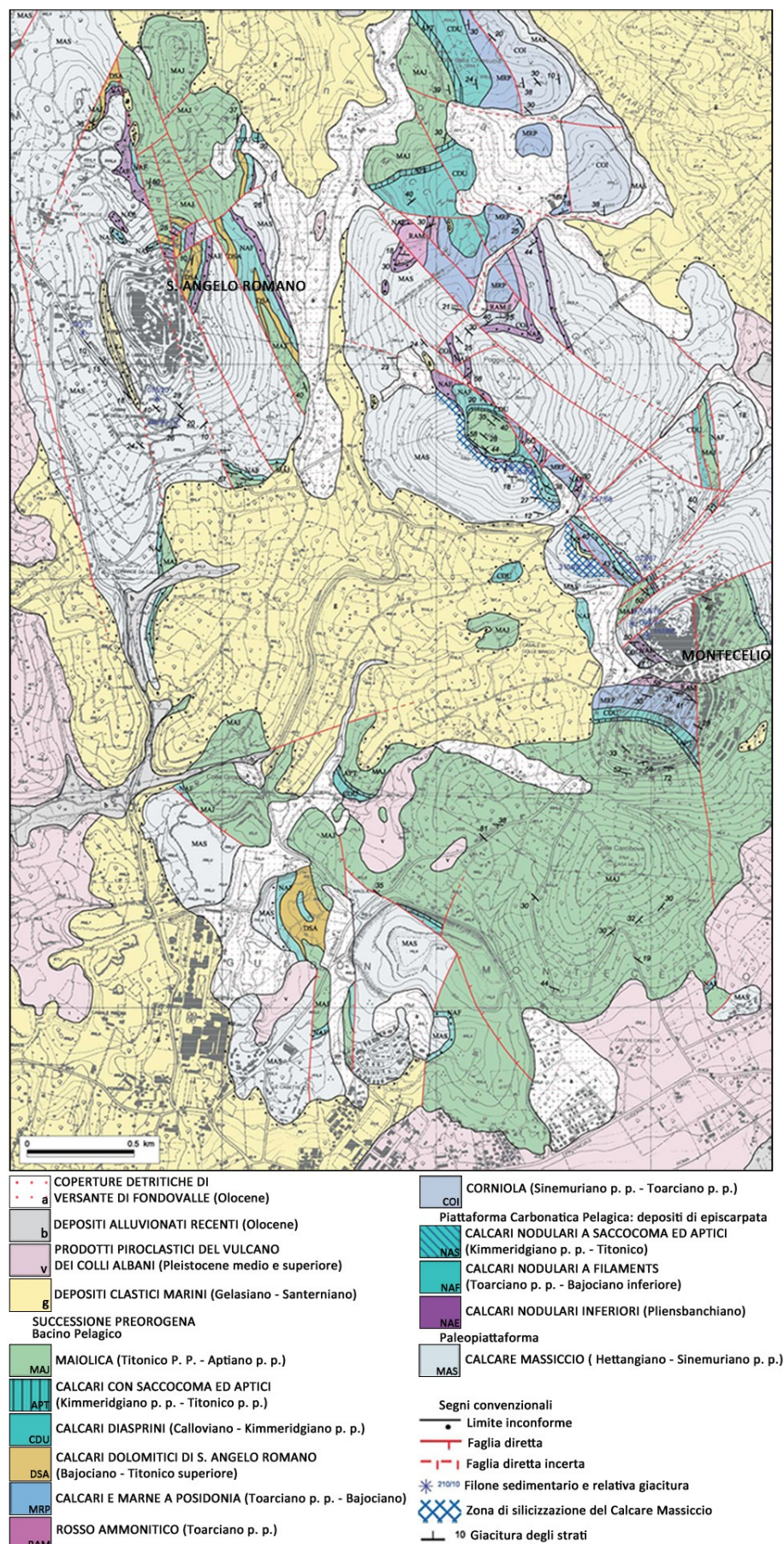


Figura 37. Carta geologica dei Monti Cornicolani (modificata dopo Consentino et al. 2006).

2.2.2 Materiali prelevati in cava

Ai fini del presente studio, per risalire alle aree di approvvigionamento delle materie prime utilizzate nel confezionamento delle malte in esame, sono stati prelevati ed analizzati anche alcuni materiali affioranti localmente. I materiali campionati riguardano tre tipologie di vulcaniti dei Colli Albani (pozzolane) e due tipologie di calcari dai Monti Cornicolani. Le pozzolane sono state campionate poiché, com'è noto in letteratura, tali prodotti vulcanici erano ampiamente utilizzati come aggregato nel confezionamento delle malte in epoca romana. Inoltre, tali prodotti affiorano estesamente nei dintorni della villa. Il campionamento delle tre tipologie di pozzolana, sebbene esse presentino un'ampia dispersione areale nelle zone circostanti i Colli Albani, è stato effettuato nei pressi di cave storiche nella zona del parco di Tor Marancia, posizionato a circa 3 km a nord-ovest rispetto alla Villa dei Quintili. Per quanto concerne i calcari, sono state selezionate due tipologie appartenenti alle formazioni geologiche dei Monti Cornicolani, i quali rappresentano l'area estrattiva più prossima al sito esaminato.

Le pozzolane dei Colli Albani

Le manifestazioni vulcaniche dei Colli Albani nel corso dei tempi sono state prevalentemente esplosive ed hanno portato alla deposizione di livelli di scorie ed ignimbriti di vario spessore. Tra i livelli piroclastici riconosciuti nella ricostruzione vulcano-stratigrafica, sono di particolare interesse, ai fini del presente studio, i depositi di pozzolana attribuibili alle fasi di attività del Vulcano Laziale (corrispondente alla fase Tuscolano-Artemisio). Le pozzolane del Vulcano Laziale sono sostanzialmente tre: *Pozzolane Rosse* (ca. 457 ka), *Pozzolane Nere* (ca. 407 ka) e *Pozzolanelle* (ca. 366 ka).

La *Pozzolana Rossa* è un'ignimbrite di colore rosso scuro, con struttura massiva e caotica, i cui spessori variano dai 10 ai 20 metri, con un volume totale dell'ordine di 35 km³ (Giordano et al. 2006). La base è costituita da un livello cineritico grossolano, spesso fino a 15 cm, costituito prevalentemente da scorie. Al di sopra di esso è presente il deposito ignimbritico principale. La matrice dell'ignimbrite è circa il 60-90% del volume ed è prevalentemente costituita da frammenti di ceneri e cristalli. I minerali presenti sono costituiti prevalentemente da leucite e subordinatamente da clinopirosseno e biotite. Disperse all'interno della matrice si rinvencono scorie di dimensioni fino a circa 25 cm e dal colore variabile da rosso a grigio-nerastro che determinano fino al 20% in volume della matrice stessa. Il grado di vescicolazione di tali scorie è variabile. La composizione delle *Pozzolane Rosse* è tefritica (Trigila et al. 1995), sebbene Fornaseri et al. (1963) riportino composizioni tefritico-leucitiche.

L'unità piroclastica delle *Pozzolane Nere* presenta spessori variabili da 1 a 10 metri, per un volume totale stimato in circa 15 km³ (De Rita et al. 1995; Giordano et al. 2006). Alla base del

deposito si rinviene un livello di lapilli da caduta di circa 20 cm, al di sopra del quale si imposta il deposito ignimbrítico principale. L'ignimbrite si presenta con colore da grigio a nero e struttura massiva e caotica. La matrice è composta da frammenti sia di cineriti vetrose sia di cristalli di leucite, clinopirosseno e biotite. Sparse nella matrice si rinvengono scorie nerastre ben vescicolate con diametro fino a 15 cm che possono occupare fino al 15% in volume della matrice stessa. La composizione delle *Pozzolane Nere* è tefri-fonolitica (Trigila et al. 1995).

L'unità delle *Pozzolanelle* è costituita da depositi ignimbríticos, massivi e caotici, di colore variabile da marrone a marrone-arancio, talvolta tendente al nero. Le *Pozzolanelle* sono attribuite da alcuni autori all'unità ignimbrítica dell'eruzione di Villa Senni, della quale costituirebbero la seconda fase. Le stime del volume totale per l'eruzione di Villa Senni variano dai 50 km³ (Watkins et al. 2002) ai 23 km³ (Giordano & CARG TEAM 2010). Lo spessore dei depositi attribuibili alle sole *Pozzolanelle* varia dai 20 metri, nei settori distali, agli 80 metri circa in quelli più prossimali. La matrice è cineritica grossolana e povera in frazione cineritica fine, nella quale si rinvengono scorie porfiriche con elevato grado di vescicolazione. Le dimensioni delle scorie raggiungono i 25 cm di diametro e nel complesso costituiscono fino al 20% in volume della matrice. I minerali che costituiscono tali scorie sono leucite, clinopirosseno e biotite. La composizione varia da tefri-fonolitica a fono-tefritica (Trigila et al. 1995; Freda et al. 1997).

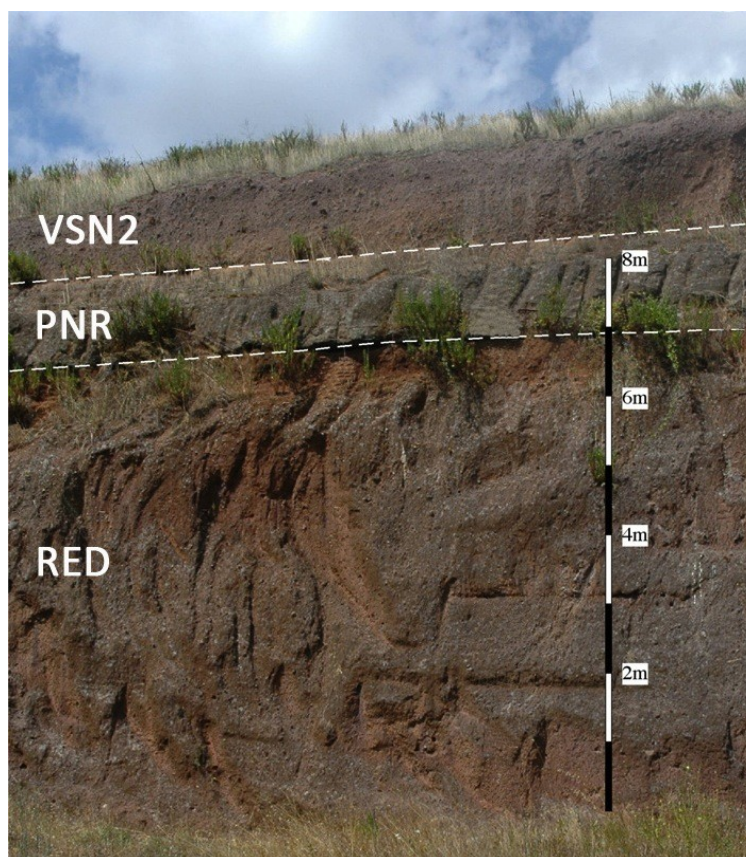


Figura 38. PL: *Pozzolanelle*; PN: *Pozzolane Nere*; PR: *Pozzolane Rosse* (modificata dopo Marra et al. 2011).

I calcari dei Monti Cornicolani

Ai fini del presente studio, sono state campionate, nei pressi di Tivoli, due tipologie di calcari (fig. 39 e 40), appartenenti alle formazioni geologiche dei Monti Conicolani: a) il calcare *Massiccio*, prelevato nei pressi di Sant'Angelo Romano; b) i calcari della formazione *Maiolica*, nei pressi di Montecelio.

Il calcare *Massiccio* è un calcare di colore bianco del Lias inferiore che spesso si presenta in bancate con spessore di 1-2 metri. La sequenza tipo è data da una bancata micritica seguita da una di natura calcarenitica bioclastica. Il contenuto fossilifero che si rinviene nel calcare massiccio è dato da gasteropodi di piccola taglia e resti di echinodermi.

La formazione della *Maiolica* (Titonico superiore-Aptiano inferiore) è costituita da calcari micritici di colore biancastro fittamente stratificati. Una prerogativa dei calcari della *Maiolica* è la presenza di noduli e liste di selce che caratterizzano principalmente la parte superiore della formazione (Pirro M. 2007).



Figura 39. Foto generale (a sinistra) e particolare (a destra) del calcare Massiccio.



Figura 40. Foto generale (a sinistra) e particolare (a destra) del calcare Maiolica.

III CAPITOLO

METODOLOGIE ANALITICHE

Al fine di ottenere una caratterizzazione completa dei campioni di malta presi in esame, è stato condotto un programma analitico integrato che ha previsto l'uso di molteplici metodologie analitiche di seguito descritte.

3.1 MICROSCOPIA OTTICA IN LUCE TRASMESSA POLARIZZATA (MOP)

La prima applicazione del microscopio petrografico riferita allo studio dei materiali lapidei artificiali si deve a Le Chatelier, nel 1882, il quale condusse uno studio sul clinker del cemento (Pavia S. 2008). Oggi l'analisi petrografica in sezione sottile tramite microscopio ottico polarizzatore è una tecnica consolidata per lo studio delle malte (Middeldorf B. 2005a, b). Essa è in grado di fornire importanti informazioni d'interesse storico, sulle tecnologie utilizzate in passato nella loro produzione, sulle capacità umane, errori, tecniche e "trucchi" (Pecchioni et al. 2008).

In particolare, questo tipo di analisi permette di valutare le dimensioni e la forma dell'aggregato, il tipo di legante, la struttura dei pori e le relazioni di abbondanza tra i singoli costituenti. Essa fornisce inoltre indicazioni sullo stato di conservazione della malta investigata, nonché sugli eventuali processi di alterazione e degrado presenti (fratturazioni, dissoluzione del legante, reazioni legante/aggregato, cristallizzazioni saline), consentendo così di ottenere dati preziosi per la progettazione di miscele finalizzate al restauro (Pavia S. 2008).

La strumentazione utilizzata in questo lavoro è un microscopio polarizzatore AxioLab con ottica da 5x a 50x, provvisto di fotocamera digitale per l'acquisizione di immagini.

3.2 DIFFRATTOMETRIA A RAGGI X (XRD)

Le analisi diffrattometriche sono state effettuate presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali - Sezione di Scienze della Terra dell'Università di Catania, mediante utilizzo di un diffrattometro Siemens D5000.

Prima di effettuare l'analisi diffrattometrica, i campioni sono stati previamente sottoposti ad un particolare trattamento che ha consentito la separazione delle due frazioni legante e aggregato. La procedura utilizzata a questo scopo è quella proposta da Bakolas et al. (1995a) che prevede una prima macinazione manuale a secco in mortaio, facendo particolare attenzione a non rompere i grani dell'aggregato, alla quale segue una frantumazione agli ultrasuoni per circa 30

minuti in acqua distillata. La sospensione ottenuta viene poi filtrata per mezzo di un setaccio con maglie di 63 μm (Bakolas et al. 1995a). La frazione fine passante ($\phi < 63 \mu\text{m}$) si considera appartenente al legante. In generale, l'analisi diffrattometrica effettuata sulle malte ne permette la determinazione della composizione mineralogica e quindi l'identificazione e la differenziazione dei leganti e delle tipologie di aggregato presenti. E' inoltre possibile evidenziare l'eventuale presenza di fasi di natura secondaria legate a processi di degrado in corso o avvenuti in precedenza (Pecchioni et al. 2008).

Per lo studio in questione, si è proceduto ad analizzare mediante XRD la frazione legante di ciascuna delle malte campionate, utilizzando le seguenti condizioni analitiche: range analitico compreso tra 3° e $65^\circ 2\theta$, step-size pari a $0,02^\circ 2\theta$ e step-time di 2s.

3.3 MICROSCOPIA ELETTRONICA A SCANSIONE (SEM)

L'osservazione morfologica al SEM e la microanalisi in EDS di un campione di malta risultano di notevole importanza (Pecchioni et al. 2008) al fine di:

- esaminarne le caratteristiche morfologiche;
- determinare la composizione chimica dei diversi componenti (legante e aggregato) in termini di elementi maggiori;
- analizzare la porosità e le microstrutture del materiale;
- analizzare le caratteristiche morfologiche e composizionali delle fasi idrauliche;
- verificare lo stato di conservazione superficiale;
- individuare i fenomeni di degrado fisico, chimico e biologico;
- caratterizzare e studiare le eventuali patine superficiali.

Prima di effettuare l'analisi SEM-EDS, i campioni in esame sono stati "metallizzati" per eliminare la carica elettrica che si accumula rapidamente in campioni non conduttori quali le malte. La metallizzazione delle sezioni sottili è stata effettuata con grafite, mentre quella dei frammenti con oro, quest'ultima necessaria per effettuare osservazioni di maggiore dettaglio ad alti ingrandimenti. L'analisi SEM-EDS dei grumi, del legante e degli aggregati vulcanici è stata effettuata utilizzando la modalità raster. I singoli dati ottenuti hanno un'elevata rappresentatività e significatività analitica poiché si riferiscono a una media rispettivamente di 3, 4 e 9 analisi in modalità raster. Per lo studio delle fasi vulcaniche, quali i clinopirosseni, sono state effettuate invece analisi puntuali. Le analisi sono state condotte presso il Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali, Sezione di Scienze della Terra dell'Università di Catania, attraverso l'utilizzo di un microscopio elettronico a scansione Tescan Vega LMU accoppiato ad uno spettrometro a dispersione di energia EDAX Neptune XM4 60. Le misure sono state eseguite utilizzando un potenziale di accelerazione di 20KV e una corrente del fascio di 0.2 nA.

3.4 ABLAZIONE LASER ACCOPPIATA A SPETTROMETRIA DI MASSA (LA-ICP-MS)

La metodologia LA-ICP-MS è stata utilizzata nella presente tesi al fine di ottenere le composizioni chimiche in termini di elementi in tracce dei grumi di calce, dei clinopirosseni presenti all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte in esame e dei calcari campionati in affioramento. Si tratta di un metodo particolarmente vantaggioso poiché unisce la capacità di analizzare un gran numero di elementi in tracce (Sc, V, Co, Ni, Cr, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Ce, Pr, Pb, U), comprese le terre rare, con la sua estrema rapidità e precisione analitica. Queste caratteristiche lo rendono uno strumento molto potente nella caratterizzazione dei materiali e nelle relative determinazioni di provenienza, in particolare quando la composizione chimica degli elementi maggiori non sembra essere particolarmente discriminante (Barba et al. 2009; Barca et al. 2007).

Le analisi sono state effettuate presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università della Calabria, utilizzando uno strumento Elan DRc (Perkin Elmer/SCIEX) connesso ad una sonda New Wave UP213 laser a stato solido Nd-YAG (213 nm). Le analisi sono state condotte su sezioni di 80-100 μm di spessore per l'esame dei grumi e dei clinopirosseni, e su frammenti dalla superficie piana e lucidata per i calcari. L'ablazione è stata eseguita variando lo spot tra 50 e 80 μm in funzione del materiale da analizzare, con una velocità costante di ripetizione del laser di 10 Hz e potenza di $\sim 20 \text{ J/cm}^2$. I dati ottenuti sono stati trasmessi ad un PC ed elaborati mediante il programma GLITTER.

IV CAPITOLO

RISULTATI

4.1 CARATTERIZZAZIONE DELLE MALTE

4.1.1 Analisi petrografica (MO)

L'analisi in sezione sottile ha messo in evidenza 4 tipologie di malte differenti. La distinzione è stata effettuata sulla base dei seguenti caratteri: tipologia e dimensione dell'aggregato, caratteristiche del legante come indicato nella tabella che segue.

Tabella 1. Tipologie di malte individuate e principali caratteristiche.

TIPOLOGIA	LEGANTE	AGGREGATO
A	Molto compatto, abbastanza omogeneo con colorazione dal bruno al grigio scuro	Solo frammenti di vulcaniti
B	Molto compatto, abbastanza omogeneo con colorazione dal grigio chiaro al grigio scuro	Prevalenti frammenti di vulcaniti e subordinati frammenti di cocchiopesto
C	Abbastanza compatto e omogeneo, con colorazione da bruno a beige	Prevalenti frammenti di cocchiopesto e subordinati frammenti di vulcaniti
D	Poco compatto, molto eterogeneo, con colorazione da grigio chiaro a scuro	Abbondanti frammenti di cocchiopesto e vulcaniti in proporzioni simili

Si riportano di seguito le descrizioni petrografiche generali di ciascuna tipologia, mentre le singole schede dei campioni esaminati sono riportate in Appendice A.

Le malte che rientrano nella tipologia A (fig. 41) sono caratterizzate da un legante molto compatto, con colorazione variabile dal bruno al grigio scuro, abbastanza omogeneo e con struttura da micritica a microspartita. Sono presenti zone di dissoluzione sia nelle fratture sia nei grumi e ricristallizzazioni nei pori primari e secondari del legante oltre che nei pori dell'aggregato. L'aggregato è costituito essenzialmente da frammenti di vulcaniti (con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite e leucite), di dimensioni variabili, e cristalli singoli delle medesime fasi (Cpx, Bt, Lct). La forma è generalmente subarrotondata e il grado di classazione scarso. Intorno ai frammenti di aggregato vulcanico spesso si osservano degli orli di reazione che testimoniano le avvenute reazioni legante/aggregato. Il rapporto legante/aggregato varia da 20/80 a 60/40. La porosità totale varia dal 30 al 40% ed è data da pori sia primari (di forma sub-sferica) sia secondari (di forma irregolare). Appartengono

alla tipologia A i seguenti campioni: VQ1, VQ2, VQ10, VQ12, VQ16, VQ21, VQ22, VQ32, VQ40, VQ41, VQ42, VQ43, VQ44, VQ46.

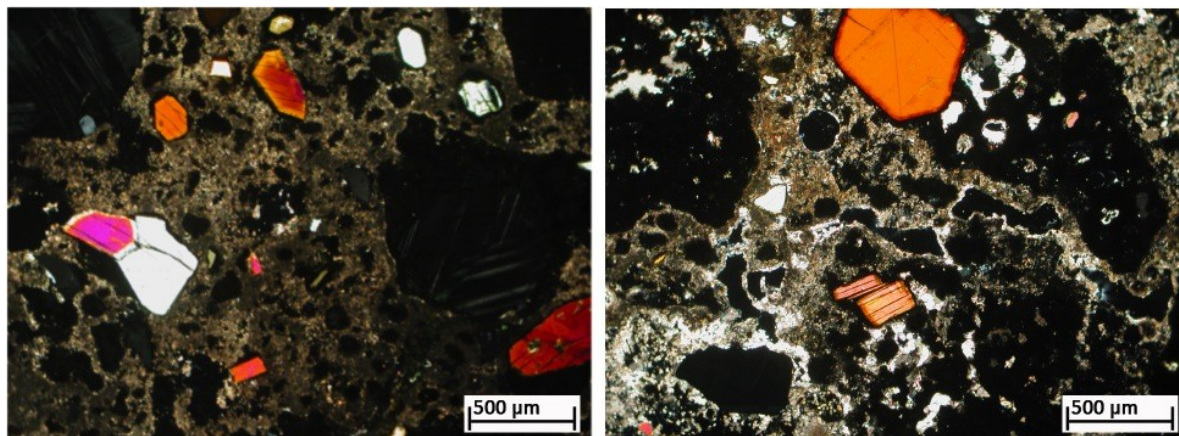


Figura 41. Foto al microscopio ottico di campioni di malta appartenenti alla tipologia A (Nicols +, zoom 5x). A sinistra il campione VQ1, a destra VQ21.

La tipologia B (fig. 42) è rappresentata da malte caratterizzate da un legante molto compatto, con colorazione da grigio chiaro a grigio scuro (abbastanza omogeneo) e con struttura da micritica a microspartica. Sono presenti frequenti zone di dissoluzione nelle fratture e nei grumi, questi ultimi presenti in notevole quantità. Le ricristallizzazioni sono presenti sia nei pori primari che in quelli secondari del legante. Frequenti sono gli orli di reazione tra legante e aggregato. L'aggregato è costituito da predominanti frammenti di vulcaniti (con pasta di fondo generalmente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite), di dimensioni variabili e subordinati frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). La forma dell'aggregato varia da angolosa a sub-arrotondata e il grado di classazione è scarso. Il rapporto legante/aggregato varia da 30/70 a 60/40. La porosità totale è stimata intorno al 30%. Sono presenti pori sia primari (di forma sub-sferica) sia secondari (di forma irregolare). Appartengono alla tipologia B i seguenti campioni: VQ3, VQ6, VQ7, VQ8, VQ11, VQ13, VQ14, VQ15, VQ20, VQ23, VQ24, VQ30, VQ31, VQ33, VQ34, VQ35, VQ38, VQ39.

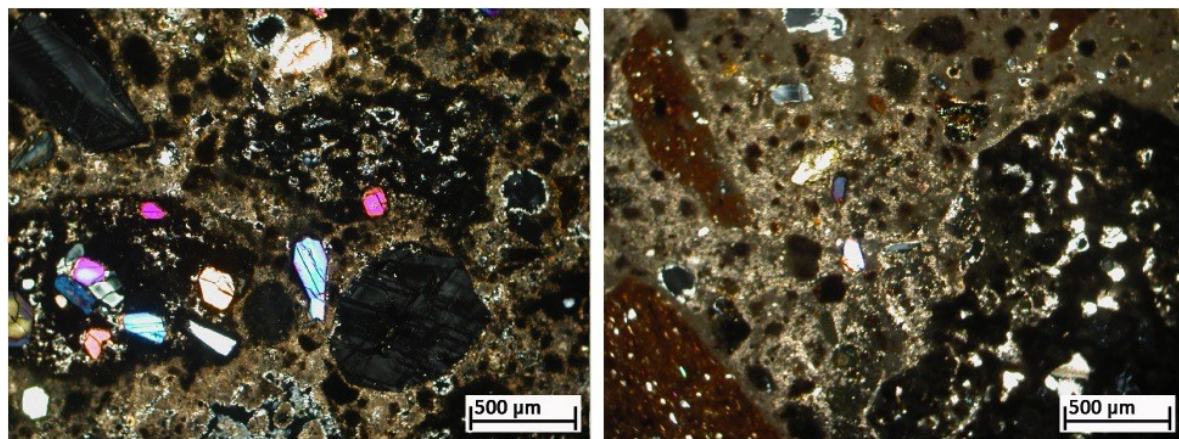


Figura 42. Foto al microscopio ottico di campioni di malta appartenenti alla tipologia B (Nicols +, zoom 5x). A sinistra il campione VQ20, a destra VQ8.

Le malte della tipologia C (fig. 43) sono caratterizzate da un legante abbastanza compatto e omogeneo, con colorazione da bruno a beige e struttura da micritica a microspartita. Sono presenti diversi grumi e zone di dissoluzione, oltre che ricristallizzazioni sia nelle fratture del legante sia nei pori dell'aggregato. Gli orli di reazioni legante/aggregato sono molto frequenti. L'aggregato è costituito da prevalenti frammenti di cocciopesto e in minore quantità da frammenti di vulcaniti (di dimensioni variabili) con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Si evidenziano inoltre frammenti di marmo e cristalli singoli di Cpx, Lct, Bt. La forma è generalmente sub-arrotondata e il grado di classazione varia da scarso a medio, prevalgono comunque i frammenti medio-grandi. Il rapporto legante/aggregato varia da 50/50 a 70/30. La porosità totale è stimata intorno al 25-30%. Sono presenti pori sia primari (di forma sub-sferica) sia secondari (di forma irregolare). Appartengono alla tipologia C i seguenti campioni: VQ4, VQ28, VQ36, VQ37.

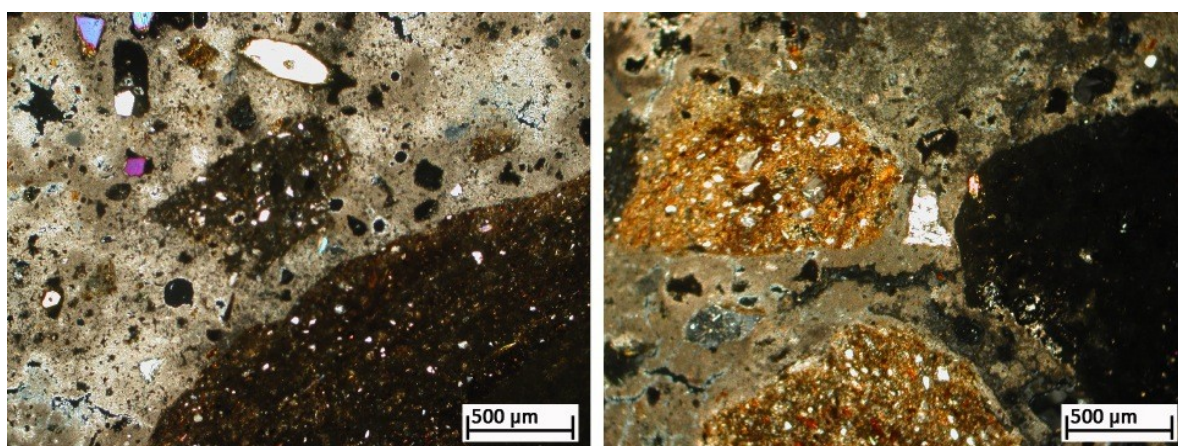


Figura 43. Foto al microscopio ottico di campioni di malta appartenenti alla tipologia C (Nicols +, zoom 5x). A sinistra il campione VQ28, a destra VQ4.

Le malte che rientrano nella tipologia D (fig. 44) sono caratterizzate da un legante poco compatto, molto eterogeneo, con colorazione da grigio chiaro a scuro e struttura microspartita. Sono presenti zone di dissoluzione e ricristallizzazioni. Sono presenti anche grumi e frequenti orli di reazioni legante/aggregato. L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e vulcaniti (di dimensioni variabili, con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite), in proporzioni simili. Sono presenti anche cristalli singoli di Cpx, Lct, Bt. La forma varia da angolosa a sub-arrotondata e il grado di classazione è medio-scarso, prevalgono comunque i frammenti grandi. Il rapporto legante/aggregato varia da 20/80 a 50/50. La porosità totale varia dal 20 al 30%. Sono presenti pori sia primari (di forma sub-sferica) sia secondari (di forma irregolare). Appartengono alla tipologia D i seguenti campioni: VQ5, VQ9.

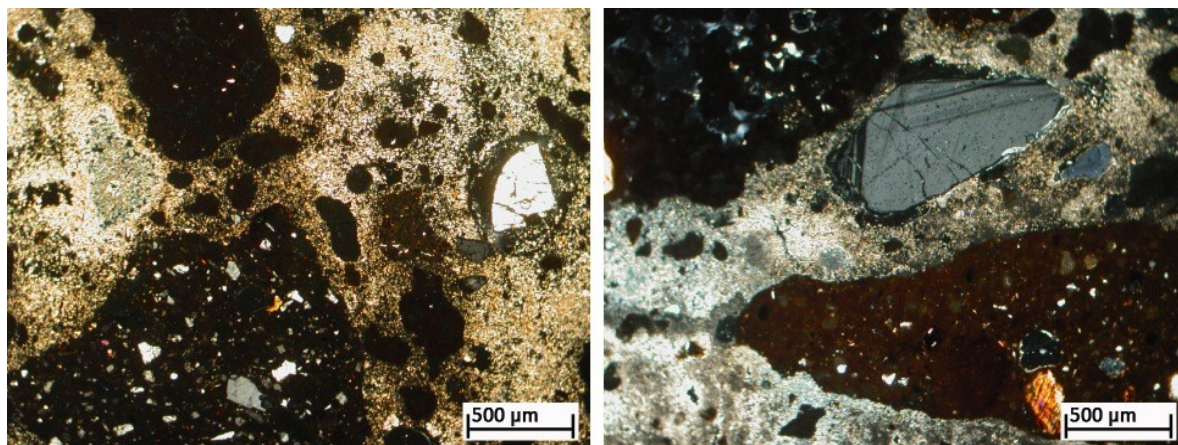


Figura 14. Foto al microscopio ottico del campione di malta VQ5 appartenente alla tipologia D (Nicols +, zoom 5x).

4.1.2 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi x (XRD)

La composizione mineralogica della frazione legante delle malte effettuata sui 40 campioni di malta prelevati è riportata in tabella 2 (Appendice B). L'analisi diffrattometrica mostra una predominanza di calcite, seguita da fasi attribuibili all'aggregato quali clinopirosseno e analcime. Nei campioni VQ2, VQ11, VQ12, VQ14, VQ18, VQ24, VQ32, VQ39 e VQ41 sono stati inoltre individuati i picchi caratteristici dell'aragonite (fig. 45) mentre nei campioni VQ1, VQ2, VQ3, VQ4, VQ5, VQ6, VQ14, VQ15, VQ16, VQ23, VQ24, VQ33 quelli relativi al gesso (fig. 46). In parte dei campioni (VQ1, VQ2, VQ5, VQ6, VQ7, VQ8, VQ9, VQ10, VQ11, VQ12, VQ14, VQ15, VQ16, VQ28, VQ44) si è riscontrata infine la presenza di riflessi relativi a fasi idrauliche (CSH), la cui identificazione però risulta essere complessa a causa della bassa cristallinità che, com'è noto, caratterizza queste fasi.

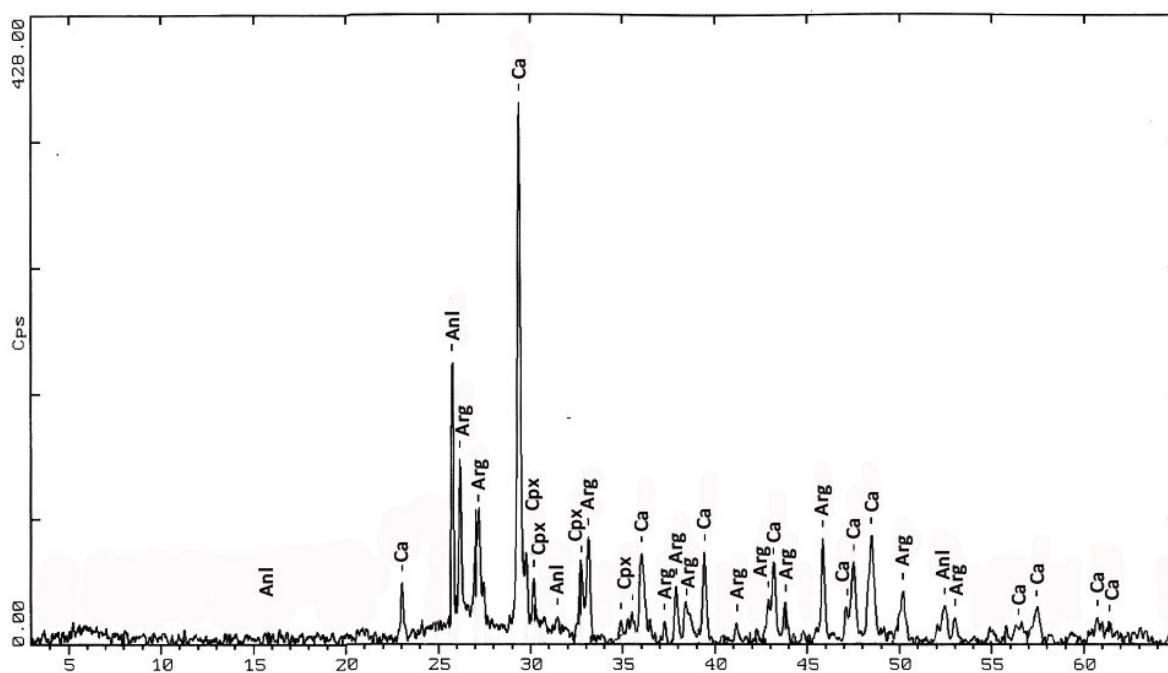


Figura 45. Diffattogramma (XRD) relativo all'analisi del legante del campione VQ12.

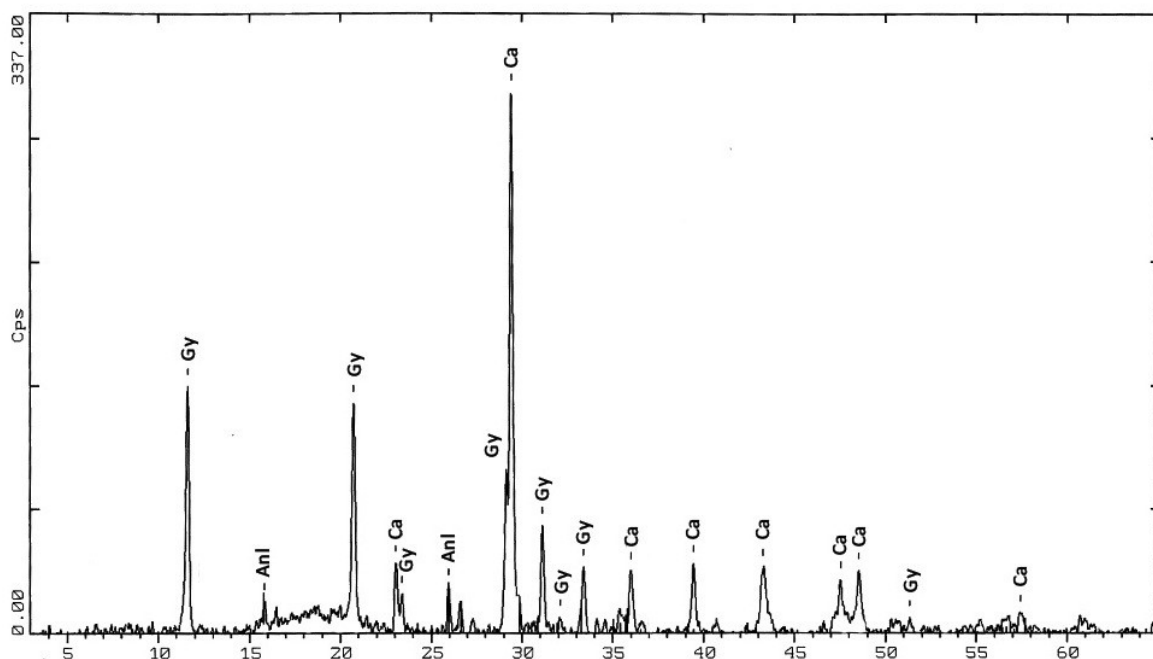


Figura 46. Diffrattogramma (XRD) relativo all'analisi del legante del campione VQ4.

4.1.3 Analisi micromorfologica mediante microscopia elettronica a scansione (SEM)

Grumi di calce e legante

L'analisi micromorfologica in BSE è stata condotta sul legante delle malte in esame, nonché sui numerosi grumi di calce individuati già dall'analisi in microscopia ottica. In particolare, l'analisi è stata effettuata su 70 grumi presenti in 24 campioni di malta. Dalle osservazioni effettuate si evidenzia come, in generale, i grumi presentino forma subsferica, diametro medio molto variabile (da 200 μm a 2 mm) e contorni generalmente abbastanza ben definiti. Frequentemente, essi presentano fratture nella porzione centrale ed in alcuni casi appaiono quasi completamente dissolti (fig. 47).

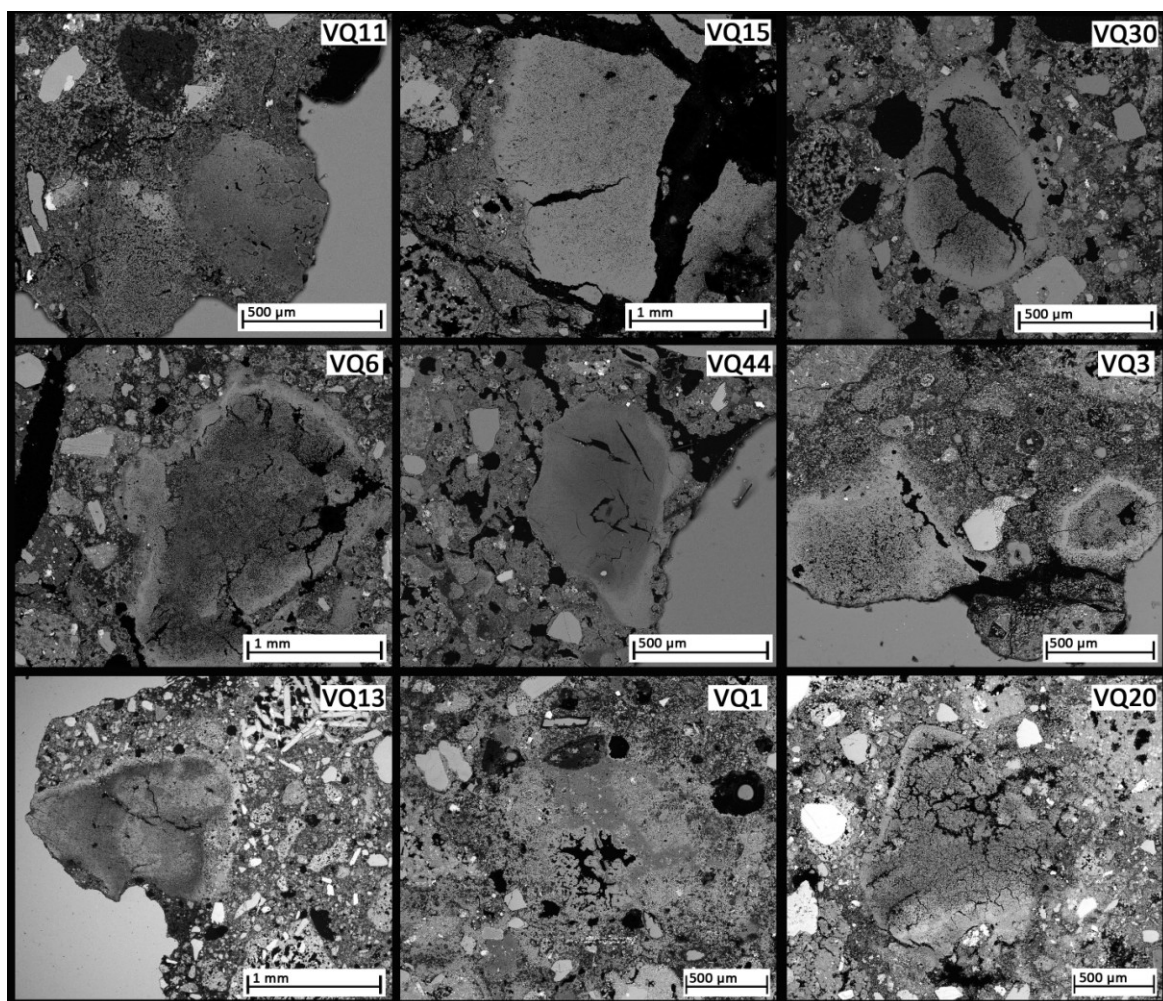


Figura 47. Immagini in BSE al microscopio elettronico a scansione di alcuni grumi presenti nelle malte in esame.

Al fine di verificare la presenza di fasi idrauliche l'analisi micromorfologica è stata effettuata anche sul legante delle malte esaminate. Le osservazioni effettuate ad alti ingrandimenti hanno permesso di evidenziare, in diverse porzioni di legante, la presenza di fasi idrauliche. Tali fasi, generalmente poco cristalline, sono contraddistinte dalla caratteristica morfologia spugnosa (García et al. 2009; Fernández et al. 2010; fig. 48).

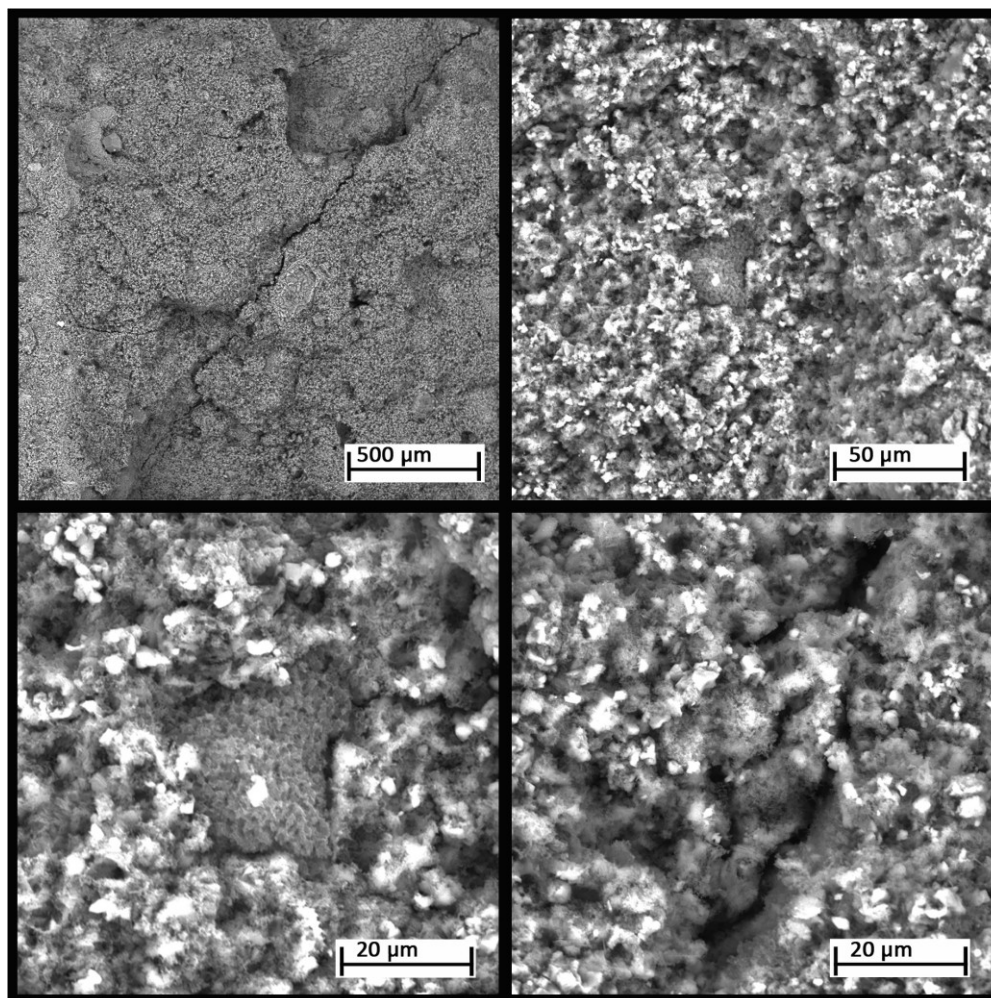


Figura 48. Immagini in BSE al microscopio elettronico a scansione del legante del campione VQ14 con fasi idrauliche dalla caratteristica morfologia spugnosa.

Aggregato vulcanico

Le indagini condotte in microscopia elettronica a scansione sui frammenti di aggregato vulcanico rinvenuto all'interno delle malte hanno permesso di osservare che la forma varia da poligonale (con spigoli vivi) a sub-arrotondata, e che le dimensioni variano da micrometriche (50 µm) a centimetriche (fino a 2 cm). Le caratteristiche micromorfologiche di questi frammenti presentano una spiccata variabilità, anche all'interno dello stesso campione di malta, sia per quanto concerne le tessiture della pasta di fondo sia per le dimensioni e l'abbondanza dei vacuoli. La pasta di fondo presenta tessitura da vitrofirica a intersertale, con proporzioni di vetro estremamente variabili anche all'interno dello stesso campione. La frequenza e la forma dei vacuoli risulta anch'essa molto variabile. Nelle figure 49 e 50, si riportano alcuni esempi di tessiture osservate per i frammenti di vulcaniti presenti all'interno dei campioni di malta VQ24 e VQ30.

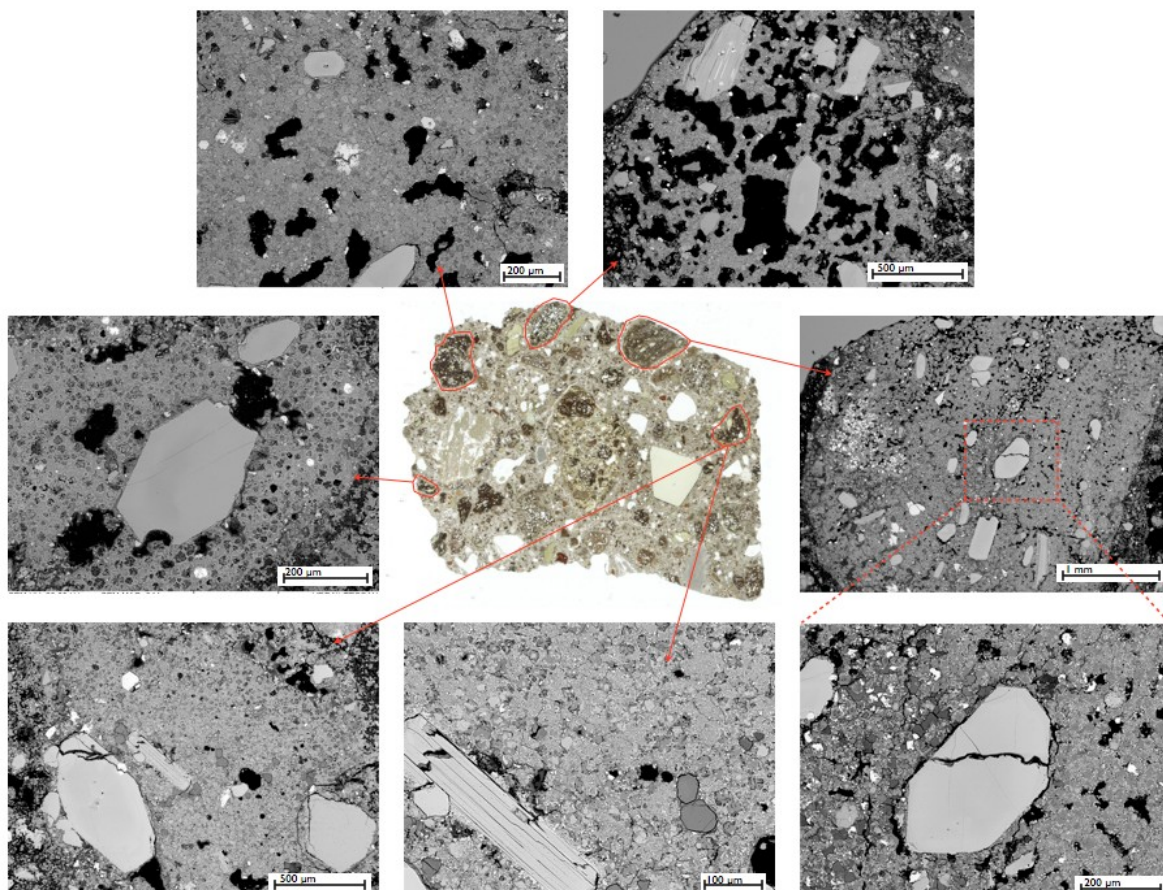


Figura 49. Campione di malta VQ24 e foto in BSE degli aggregati vulcanici effettuate mediante SEM.

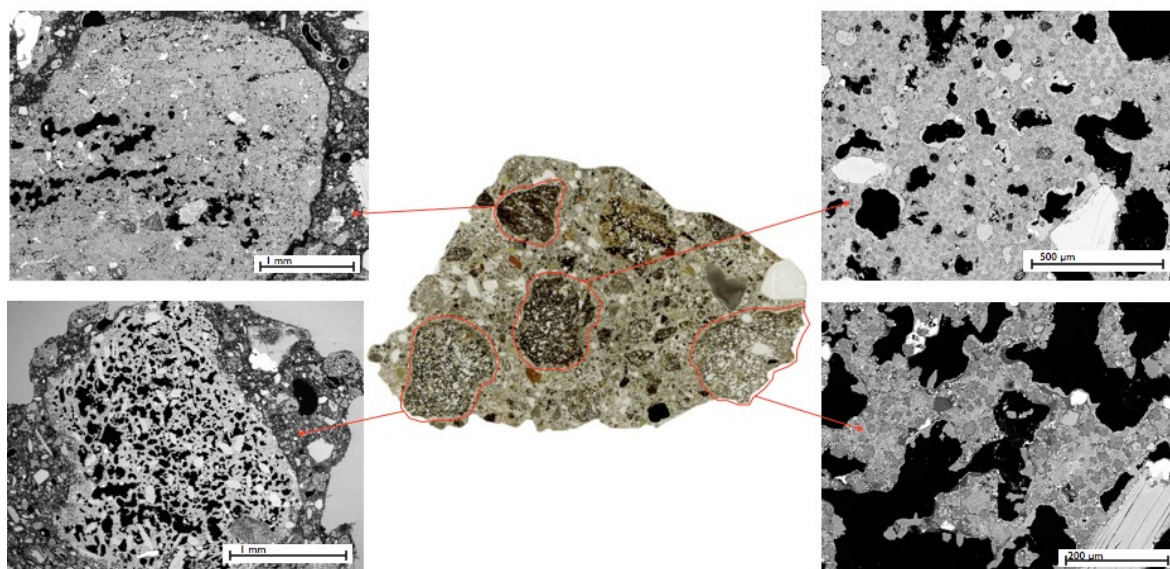


Figura 50. Campione di malta VQ39 e foto in BSE degli aggregati vulcanici effettuate mediante SEM.

4.1.4 Analisi chimica SEM-EDS

Grumi di calce e legante

Al fine di determinare la composizione chimica dei grumi, riferita agli elementi maggiori, sono state effettuate mediante SEM-EDS 80 analisi raster su 24 campioni di malte, con una media di tre analisi per grumo da cui è stato poi calcolato il valore medio. Le analisi sono state eseguite sempre nella porzione centrale dei grumi di maggiori dimensioni, al fine di ridurre il tasso di contaminazione a cui è sottoposto il legante, il quale si trova direttamente a contatto con l'aggregato. La composizione chimica ottenuta indica che le malte studiate sono principalmente composte da CaO, con valori di CaO+MgO in genere molto elevati, compresi tra l'80 e il 99% (fig. 51). I risultati delle analisi chimiche effettuate tramite SEM-EDS sono riportati in tabella 3 (Appendice B), nella stessa sono indicati anche i valori dell'Indice di Idraulicità.

L'indice di idraulicità calcolato ($HI = [(SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3) / (CaO + MgO)]$) presenta valori relativamente bassi, compresi tra 0.02 e 0.16 (fig. 52). Tutti i grumi analizzati rientrano dunque nel campo delle calce aeree ($HI < 0.10$), eccetto i campioni VQ11, VQ14, VQ23 e VQ43, che presentano un HI appena più alto ma sempre entro i limiti delle calce debolmente idrauliche ($0.10 < HI < 0.16$; fig. 52).

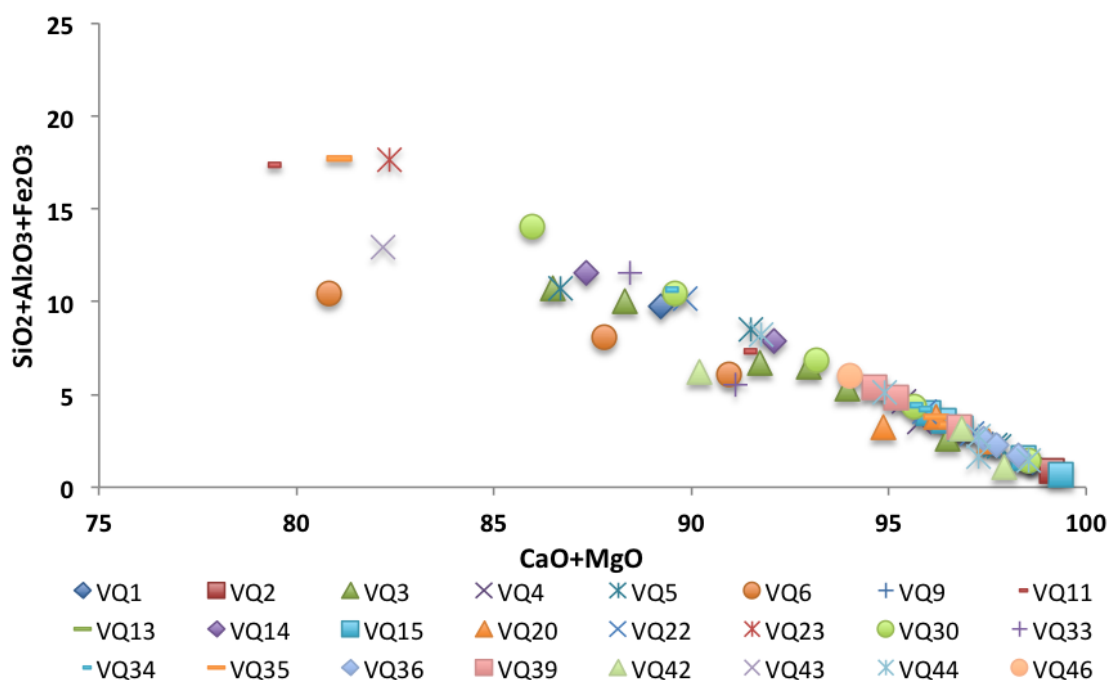


Figura 51. Diagramma CaO+MgO vs. SiO₂ relativo alle analisi SEM-EDS dei grumi presenti all'interno delle malte in esame.

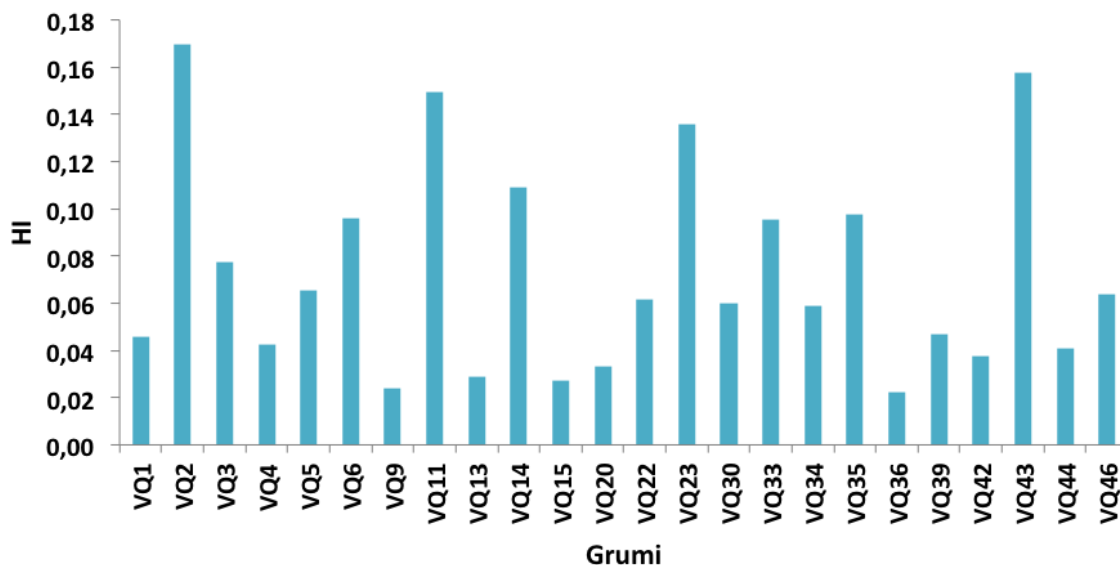


Figura 52. Istogramma mostrante la variazione dell'indice di idraulicità (HI) nei diversi grumi analizzati.

Al fine di determinare il grado d'idraulicità raggiunto dalle malte messe in opera sono state effettuate analisi SEM-EDS in modalità raster anche sulla frazione legante. Le analisi sono state condotte su 14 campioni di malta selezionati in funzione dell'indice di idraulicità osservato nei rispettivi grumi. Su ogni campione sono state effettuate in media 5 analisi raster, il cui valore medio è stato considerato come rappresentativo della composizione chimica del legante della relativa malta. Le concentrazioni degli elementi maggiori del legante delle malte esaminate sono riportate in tabella 4 (Appendice B), in cui si evidenziano concentrazioni in $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ben più elevate che nei grumi e, viceversa, tenori in $\text{CaO} + \text{MgO}$ più bassi (41 – 77%; fig. 53).

Anche per il legante è stato determinato l'indice d'idraulicità, il quale presenta valori compresi tra 0.29 e 2.96, come osservabile in figura 54. Solo tre campioni (VQ4, VQ30, VQ39) rientrano nel campo delle calce poco idrauliche ($0.16 < \text{HI} < 0.31$), mentre i campioni VQ15 e VQ33 rispettivamente nel campo delle calce idrauliche ($0.31 < \text{HI} < 0.42$) e in quello delle calce eminentemente idrauliche ($0.42 < \text{HI} < 0.50$). Tutti gli altri campioni (VQ3, VQ5, VQ6, VQ11, VQ13, VQ14, VQ20, VQ22 e VQ23) superano il valore limite di 0.50 rientrando nel campo dei cementi.

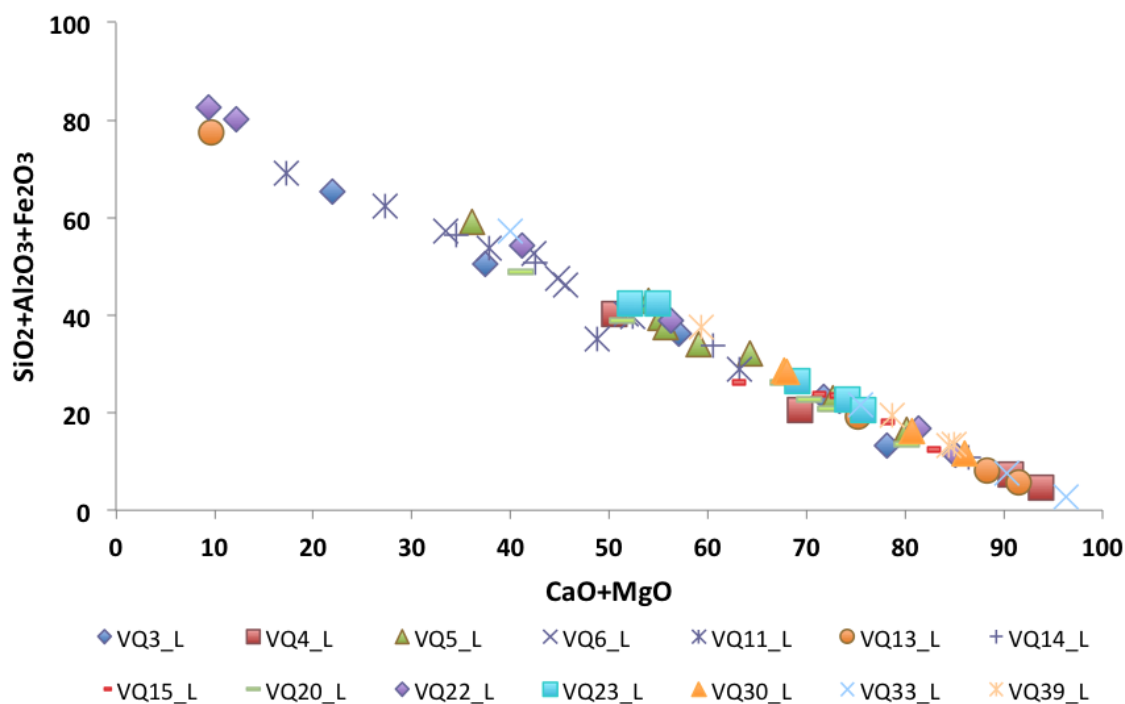


Figura 53. Diagramma CaO+MgO vs. SiO₂ relativo alle analisi SEM-EDS del legante delle malte in esame.

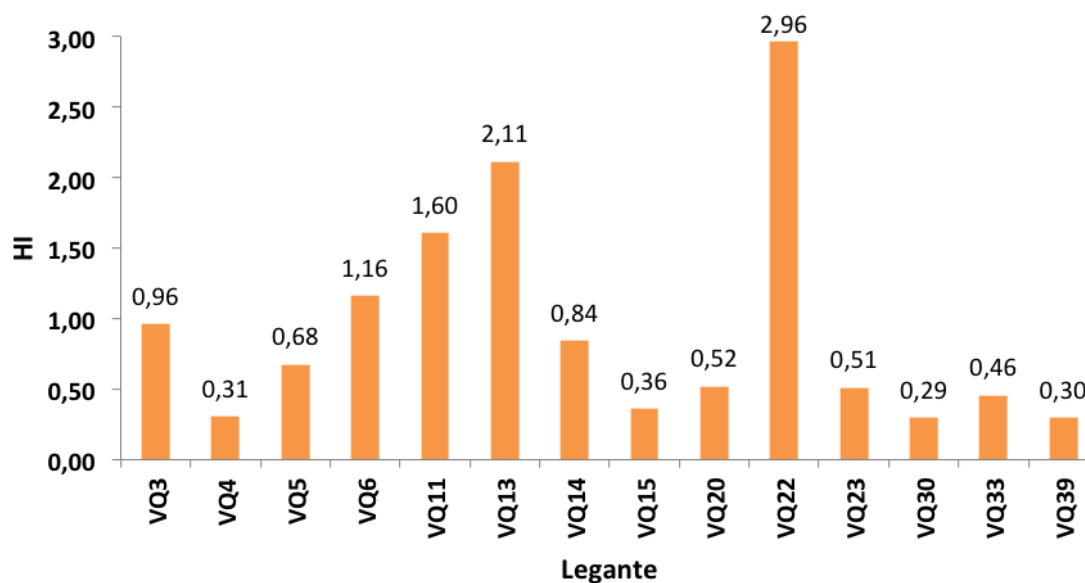


Figura 54. Istogramma mostrante la variazione dell'indice di idraulicità (HI) nel legante delle malte analizzate.

Sono stati effettuati profili composizionali mediante analisi SEM-EDS, lungo gli orli di reazione legante/aggregato (fig. 55). Le analisi sono state condotte al fine di evidenziare le eventuali variazioni delle concentrazioni degli elementi maggiori all'interno dell'orlo di reazione. In particolare, sono state esaminate le variazioni di concentrazione per elementi quali Ca, Si e Al,

osservate lungo il transetto compreso tra un frammento di aggregato vulcanico e un grumo di calce.

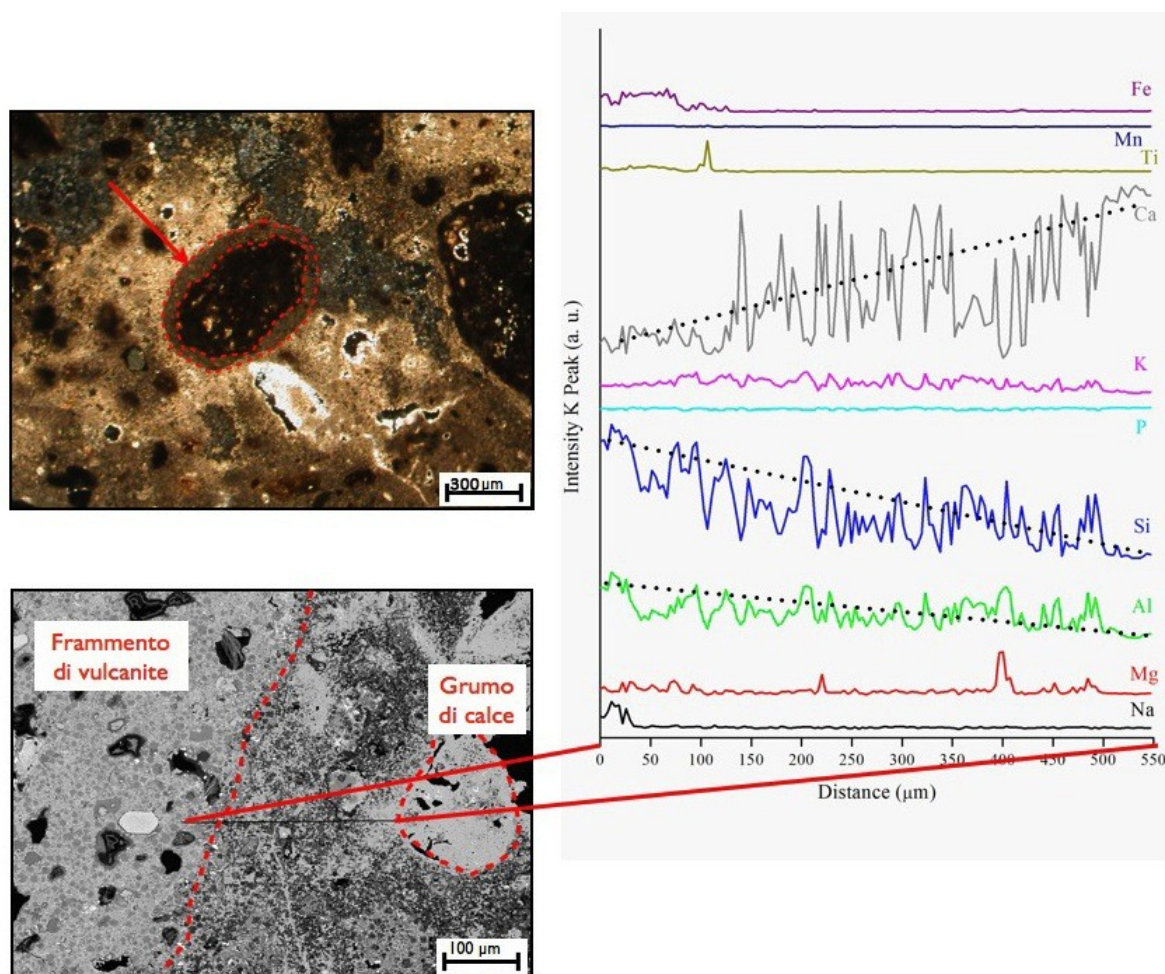


Figura 55. Profilo composizionale (SEM-EDS) effettuato lungo il transetto compreso tra l'orlo di reazione che si sviluppa attorno ad un frammento di vulcanite ed un grumo di calce.

Aggregato e fasi vulcaniche

Al fine di ottenere la composizione chimica riferita agli elementi maggiori dei frammenti di vulcaniti presenti all'interno delle malte, sono state effettuate analisi SEM-EDS in modalità raster. Le concentrazioni degli elementi maggiori sono riportate in tabella 5 (Appendice B). Il singolo punto analisi, riportato sul diagramma TAS (fig. 56), è rappresentativo e significativo da un punto di vista analitico poiché si riferisce a una media di 3 analisi in modalità raster effettuate nella porzione centrale di frammenti di maggiori dimensioni. Le composizioni dell'aggregato vulcanico variano da andesiti basaltiche a fonoliti tefritiche evidenziando un evidente arricchimento in alcali a tenori relativamente costanti in SiO_2 .

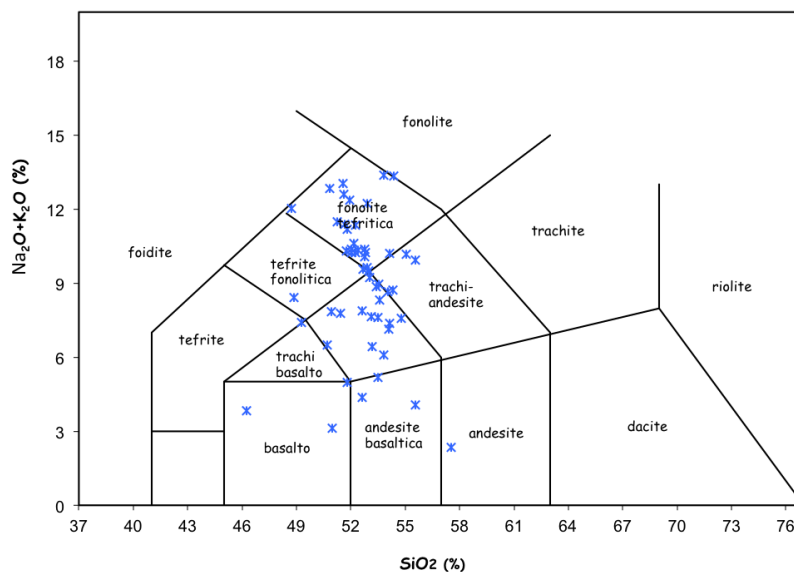


Figura 56. Diagramma TAS (Le Maitre 1989) dei dati SEM-EDS relativi agli aggregati pozzolanici delle malte esaminate.

Analisi SEM-EDS sono state effettuate anche sui clinopirosseni presenti come cristalli singoli all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte. La scelta di tali minerali è stata effettuata sulla base della loro formula strutturale che risulta essere più complessa rispetto a quella di altri costituenti le rocce magmatiche (ad es., feldspati, feldspatoidi, olivine, ecc.). Per tale motivo queste fasi mostrano differenze composizionali significative in funzione del grado evolutivo e della serie magmatica del liquido da cui cristallizzano. L'approccio metodologico proposto da Barone et al. (2010) sfrutta queste peculiari caratteristiche composizionali dei clinopirosseni finalizzato a studi di provenienza di ceramiche. Tale approccio viene qui riconsiderato ed applicato allo studio di provenienza dell'aggregato vulcanico presente nelle malte. A seguito del ricalcolo della formula strutturale, la composizione dei clinopirosseni delle malte nel diagramma QUAD (fig. 57; Morimoto 1988) ricade prevalentemente nel campo del diopside. In tabella 6 (Appendice B), unitamente al contenuto percentuale degli ossidi, sono riportate le concentrazioni cationiche e i tre end-members per ciascun clinopirosseno.

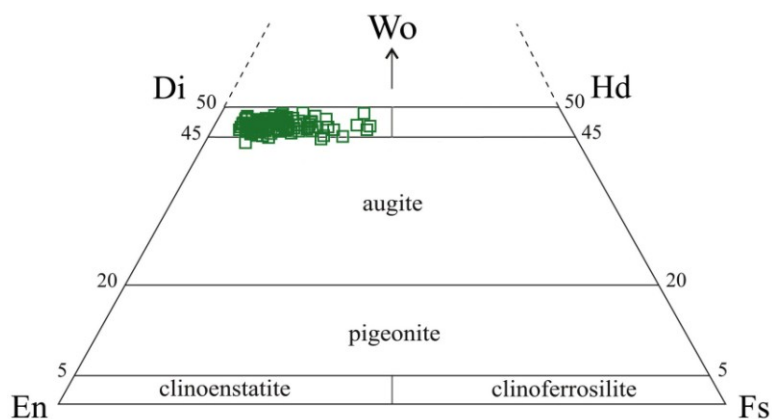


Figura 57. Diagramma QUAD di classificazione dei clinopirosseni presenti nell'aggregato delle malte analizzate (Morimoto 1988).

Nei diagrammi binari di figura 58 si può osservare come la maggior parte dei cationi (e.g., Ca, Al, Mg, Fe, Ti) coprano un ampio range composizionale per tutti i cristalli analizzati. Tra questi Ti (~ 0.01 – 0.05 a.p.f.u.), Al (~0.10 – 0.45 a.p.f.u.) e Mg (~ 0.50 – 0.90 a.p.f.u.) presentano la variabilità maggiore, mentre il Ca (~ 0.80 – 0.95 a.p.f.u.) si clusterizza su un range di valori più limitato.

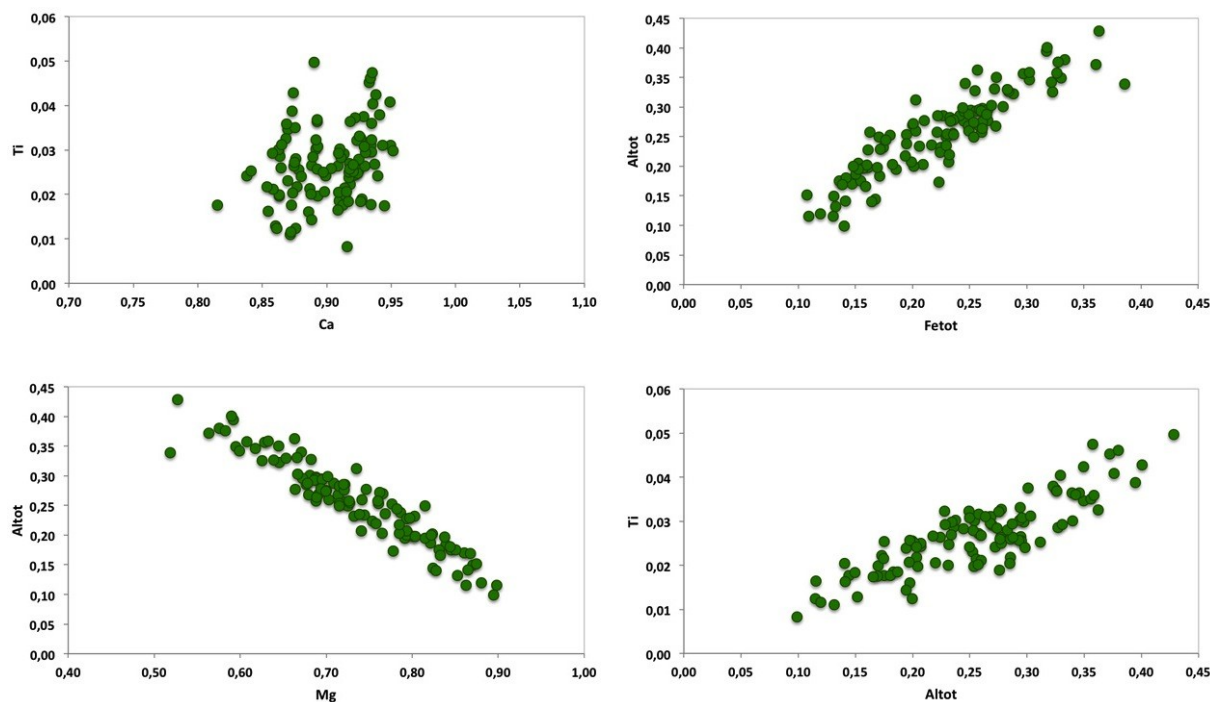


Figura 58. Diagrammi di variazione binaria delle concentrazioni cationiche degli elementi maggiori dei clinopirosseni presenti all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte.

Materiali della calcara

Le analisi mediante SEM-EDS sono state effettuate anche sui campioni prelevati dalla calcara (VQ18 e VQ_C). In tabella 7 (Appendice B) sono riportate le concentrazioni degli elementi maggiori riferite alle analisi effettuate sui due campioni. Per entrambi i materiali si evidenziano concentrazioni di CaO abbastanza elevate variabili dal 77 e all'83 % per il campione VQ18, mentre tra 97 e 99 % per il campione VQ_C.

4.1.5 Analisi LA-ICP-MS

Grumi di calce

Attraverso l'utilizzo della tecnica LA-ICP-MS, è stato condotto uno studio composizionale dei grumi in termini di elementi in tracce. In tabella 8 (Appendice B) sono riportati i risultati analitici delle analisi effettuate sui grumi di 14 campioni di malta. Sono state condotte in media

tre analisi per singolo grumo, al fine di ottenere un dato che fosse quanto più rappresentativo possibile della composizione media (fig. 59). Anche in questo caso le analisi sono state effettuate nella porzione centrale dei grumi evitando di analizzare le porzioni più esterne probabilmente soggette a contaminazione da parte dell'aggregato.

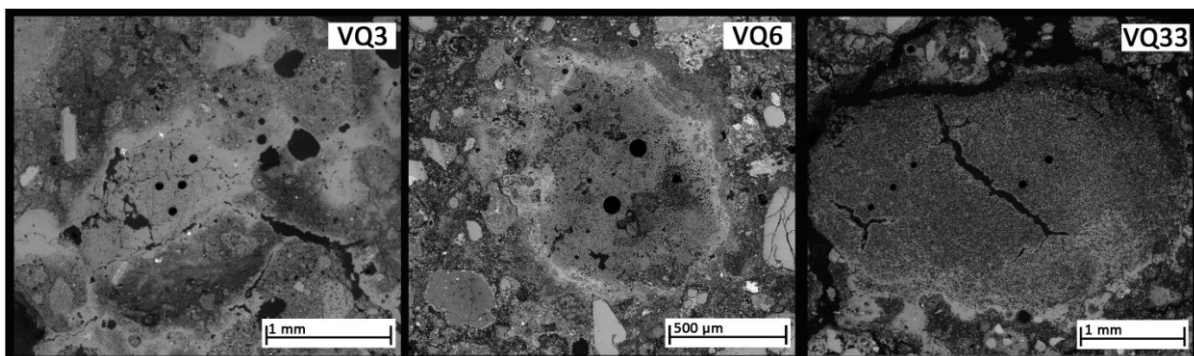


Figura 59. Immagini in BSE di alcuni grumi analizzati mediante LA-ICP-MS; sono visibili i fori causati dall'ablazione laser.

I valori medi riferiti alle concentrazioni degli elementi in tracce nei grumi sono stati confrontati tra loro e plottati in diagrammi di variazione (figure 60 e 61) al fine di evidenziare eventuali differenze tra i grumi analizzati. Nel complesso, tutti gli elementi presi in considerazione mostrano una un'ampia variabilità che talvolta è anche di alcuni ordini di grandezza (e.g. La ~ 1-100 ppm, Sr ~ 300-4500 ppm, Rb ~ 2-130 ppm). I diagrammi binari con gli elementi in tracce plottati in funzione di Sr e Ni non producono trend piuttosto significativi (fig. 60). Al contrario, i diagrammi con La e Y quali elementi indice presentano allineamenti con correlazioni generalmente positive in particolar modo per gli elementi appartenenti al gruppo delle LREE (fig. 61).

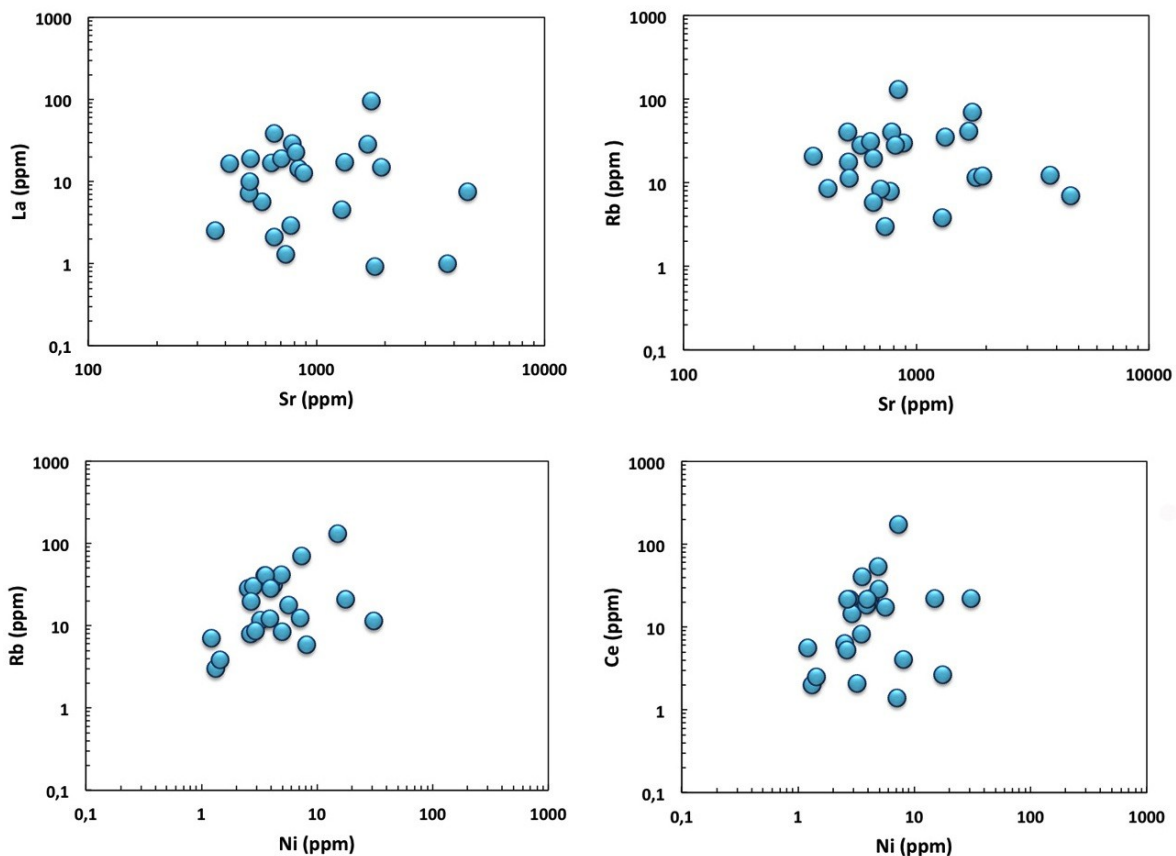


Figura 60. Diagrammi di variazione delle concentrazioni degli elementi in tracce nei grumi presenti nelle malte.

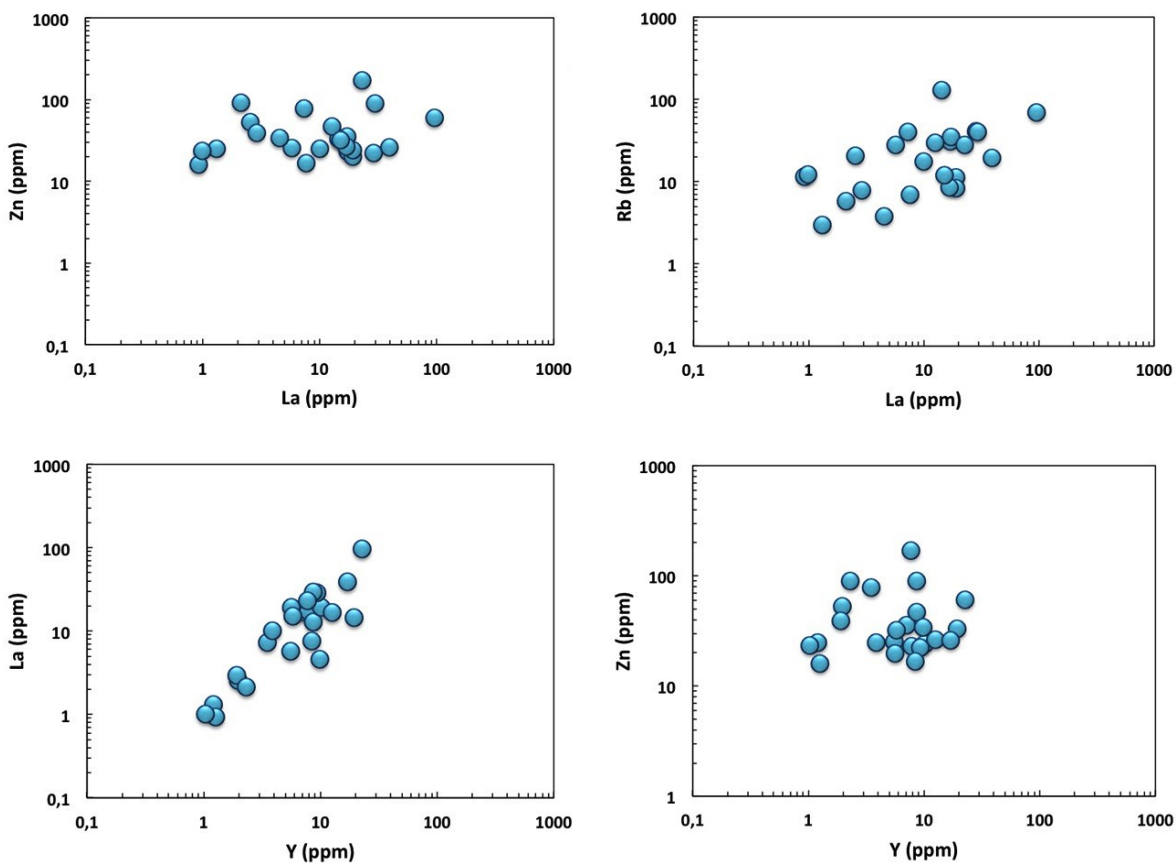


Figura 61. Diagrammi di variazione delle concentrazioni degli elementi in tracce nei grumi presenti nelle malte.

Fasi vulcaniche

Sui clinopirosseni, costituenti l'aggregato delle malte, sono state condotte una serie di analisi puntuali tramite LA-ICP-MS (fig. 62). L'indagine è stata effettuata poiché le concentrazioni degli elementi in tracce dei clinopirosseni risultano generalmente più sensibili anche a piccole variazioni composizionali del liquido da cui cristallizzano. In tabella 9 (Appendice B) si riportano le concentrazioni degli elementi in tracce relative alle fasi mineraliche analizzate.

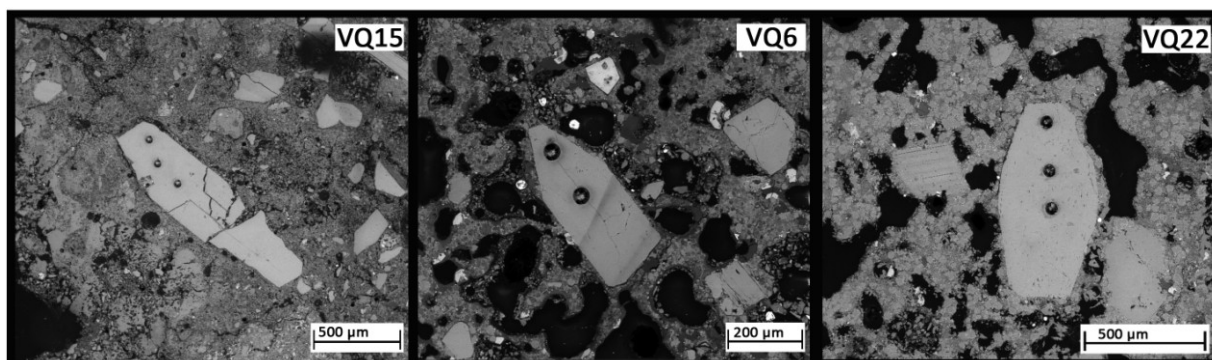


Figura 62. Immagini in BSE di alcuni clinopirosseni analizzati mediante LA-ICP-MS; sono visibili i fori causati dall'ablazione laser.

In particolare, elementi di transizione quali Sc e V sono stati scelti come elementi indice del grado evolutivo, in quanto essi, essendo elementi fortemente compatibili nel clinopirosseno, possono essere messi direttamente in relazione con il grado di differenziazione del liquido. In generale, si osserva che gli elementi appartenenti alle terre rare, sia leggere che pesanti, presentano le variazioni più significative tra il set di elementi determinabili tramite LA-ICP-MS, a causa dei più elevati coefficienti di distribuzione solido/liquido per questi elementi. Nei diagrammi binari elaborati (fig. 63), le concentrazioni degli elementi in tracce definiscono due andamenti con correlazione tendenzialmente positiva. In particolare, nei diagrammi dove l'indice di differenziazione risulta essere il V, plottato vs. Sm, Er e Dy si individuano due andamenti sub-paralleli. Tali trend risultano essere caratterizzati da concentrazioni differenti in REE a parità di valori di V.

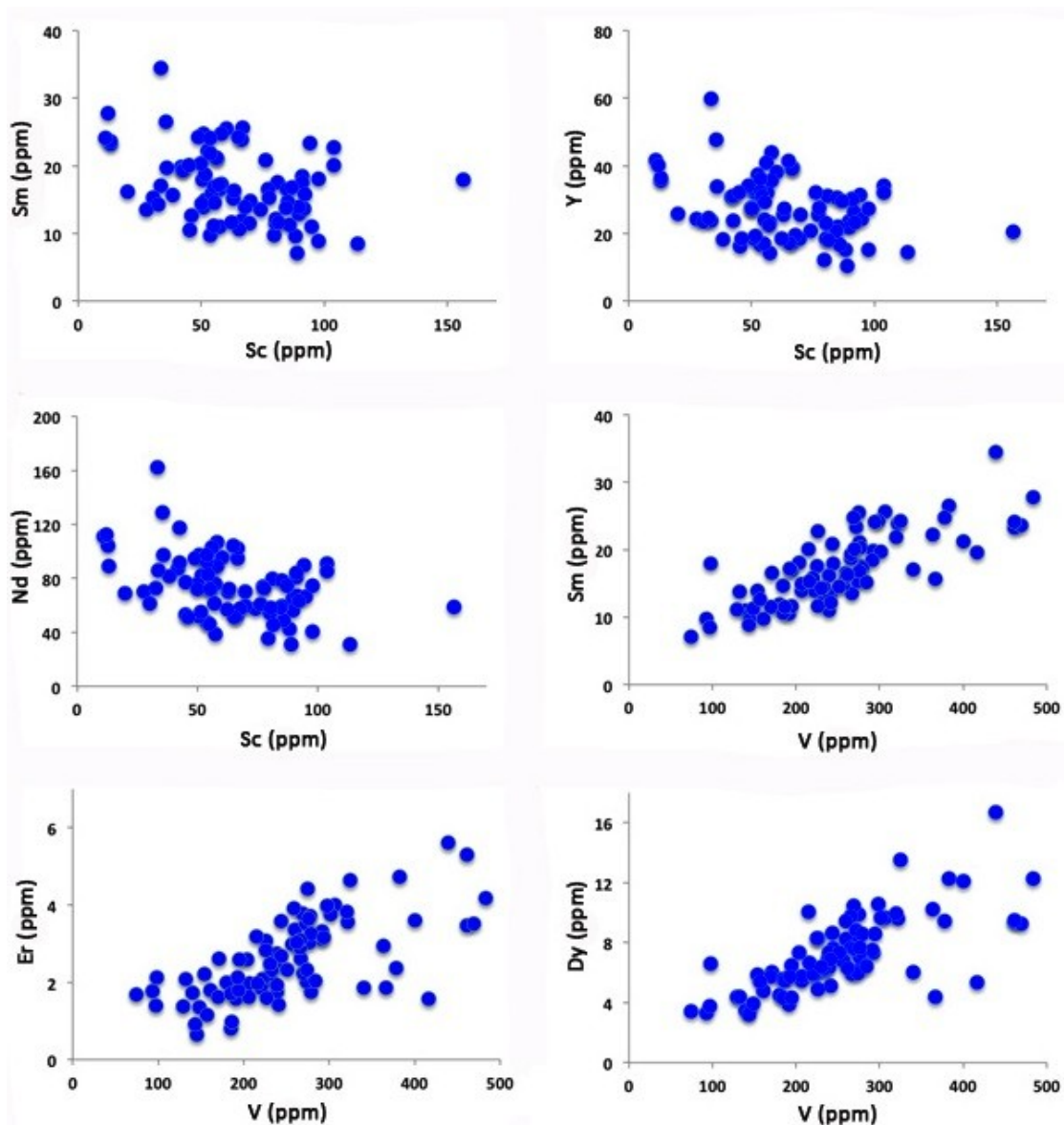


Figura 63. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce dei clinopiroseni presenti nell'aggregato pozzolanico delle malte.

Materiali della calcara

I materiali provenienti dalla calcara sono stati analizzati geochimicamente al fine di individuare eventuali corrispondenze, tra la calce prelevata dalle pareti della calcara (VQ18) e quella ritrovata al suo interno (VQ_C). In tabella 10 (Appendice B) sono riportate le concentrazioni degli elementi in tracce riferite alle analisi effettuate sui due campioni. Sebbene non emerga una sostanziale differenza tra i due campioni di calce, si osservano concentrazioni lievemente più elevate in elementi quali ad esempio V, Cr, Rb, La e Ce per il campione VQ18 rispetto al campione VQ_C.

4.1.6 Discussione

Dai risultati ottenuti dall'analisi petrografica è stato possibile ricavare importanti informazioni sia sulle principali caratteristiche dei vari costituenti sia sulle tecniche di confezionamento delle malte. Sono stati identificati quattro differenti gruppi di malte in funzione della presenza e/o abbondanza di una determinata tipologia di aggregato. La tipologia A presenta frequentemente frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Simili caratteristiche petrografiche per i frammenti di aggregato si riscontrano anche nella tipologia B, nella quale sono presenti in aggiunta frammenti di cocchiopesto. Nella tipologia C prevalgono frammenti di cocchiopesto, sebbene siano presenti anche frammenti di vulcaniti con caratteristiche simili a quelli rinvenuti nella tipologia A e B. Infine, le malte appartenenti alla tipologia D presentano frammenti di cocchiopesto e di vulcaniti in proporzioni simili. Al fine di verificare le ipotesi avanzate sulle diverse fasi costruttive, i risultati dell'analisi petrografica sono stati correlati con le ipotesi cronologiche avanzate dagli archeologi. In figura 64, per le quattro tipologie di malta individuate sono riportati i seguenti dati: a) principali caratteristiche evidenziate su base petrografica; b) numero di malte con cronologia "certa"; c) numero di campioni con cronologia "incerta o sconosciuta". Le differenti fasi costruttive sono state indicate in tabella con i nomi degli imperatori che si susseguirono nella villa: Adriano (117-138 d.C.), Antonino (138-161 d.C.), Commodo (180-192 d.C.) e Severo (193-211 d.C.).

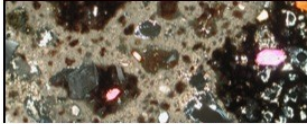
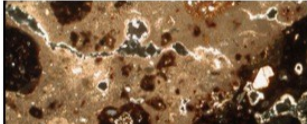

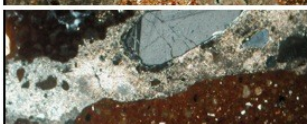
Tipologia di malta		Caratteristiche petrografiche	N° malte con cronologia "certa"	N° malte con cronologia "incerta o sconosciuta"
	A	Solo vulcaniti	2 Antonino 5 Commodo 1 Adriano	6
	B	Abbondanti vulcaniti e subordinato cocchiopesto	4 Antonino 3 Severo 2 Adriano 1 Commodo	8
	C	Abbondante cocchiopesto e subordinati vulcaniti	1 Adriano	3
	D	Abbondanti vulcaniti e cocchiopesto	1 Antonino	1

Figura 64. Correlazioni tra le quattro tipologie di malta: tipologie di malta individuate, principali caratteristiche petrografiche, numero di malte con cronologia "certa", campioni con cronologia "incerta o sconosciuta".

Correlando tali dati è evidente come non vi sia alcuna corrispondenza univoca tra le varie tipologie di malta individuate e le differenti fasi costruttive della villa. Dalle informazioni

ottenute, e considerando inoltre che l'arco temporale delle quattro fasi costruttive risulta essere alquanto ristretto (circa un secolo), è verosimile ipotizzare che nel periodo cronologico considerato non vi sia stata alcuna variazione nelle tecniche di confezionamento delle malte.

Al fine di approfondire la caratterizzazione delle malte campionate, è stato effettuato uno studio sui due componenti principali, il legante e l'aggregato.

Per quanto concerne il legante, l'analisi diffrattometrica ha mostrato una predominanza di calcite, seguita da fasi quali clinopirosseno, biotite e analcime. La presenza di queste ultime fasi può essere attribuita a contaminazione da parte dell'aggregato avvenuta durante il processo di separazione legante-aggregato. In diversi campioni sono stati individuati anche picchi attribuibili al gesso, la cui presenza può essere imputata a processi di degrado del legante carbonatico (Cultrone et al. 2008; Gobbi et al. 1998; Sabbioni et al. 2002) e quelli attribuibili all'aragonite (Adriano et al. 2009; Franzini 2000; Lopez-Arce et al. 2011). L'analisi diffrattometrica ha permesso di rilevare anche picchi relativi a fasi idrauliche (CSH, CAH). La bassa cristallinità di queste fasi e l'elevata intensità dei picchi della calcite hanno reso la loro identificazione difficoltosa (Fernandez et al. 2010; Middendorf et al. 2005). Tuttavia, la presenza di tali fasi è stata confermata dall'analisi micromorfologica effettuata al microscopio elettronico a scansione. Le analisi chimiche mediante SEM-EDS eseguite sui grumi e sul legante delle malte hanno consentito di determinare il grado di idraulicità raggiunto dalle malte messe in opera. Il metodo classificativo utilizzato è quello proposto da Vicat nel 1818 il quale propose la prima, e ancora valida, classificazione delle calce idrauliche, stabilendo in maniera precisa le proporzioni tra calcare e argilla necessaria a produrre materiali idraulici. I bassi valori di HI riscontrati nei grumi, nonché il notevole incremento di tale indice nel legante, suggeriscono che l'idraulicità delle malte esaminate è stata ottenuta mediante aggiunta di materiale idraulicizzante. I profili composizionali effettuati nei bordi di reazione vulcanite/legante confermano la suddetta ipotesi. Nei profili effettuati, infatti, gli orli di reazione presentano concentrazioni di Ca inferiori rispetto a quelle riscontrate all'interno del grumo. Ciò è sostanzialmente dovuto alla presenza di elementi quali Si e Al che migrano dal frammento di vulcanite verso il legante, con conseguente formazione delle cosiddette fasi idrauliche (CSH, CAH).

L'analisi degli elementi maggiori non è stata in grado di evidenziare differenze tra le composizioni dei grumi di calce che comunque sulla base del loro chimismo indicano la provenienza da una calce di tipo aereo, infatti per la maggior parte dei grumi si hanno valori di indice di idraulicità compresi tra 0.02 e 0.10 (tab. 3, Appendice B). Pertanto, sui medesimi grumi è stata determinata la concentrazione degli elementi in tracce da cui si evince un'ampia variabilità imputabile o a eterogeneità composizionale del calcare originario, oppure all'utilizzo di più tipologie di calcare con caratteristiche composizionali differenti. Negli stessi diagrammi sono stati plottati anche i dati relativi alle concentrazioni degli elementi in tracce dei due

campioni di calce prelevati all'interno della fornace (VQ18: calce prelevata dalle pareti della calcara; VQ_C: calce ritrovata al suo interno; figure 65 e 66).

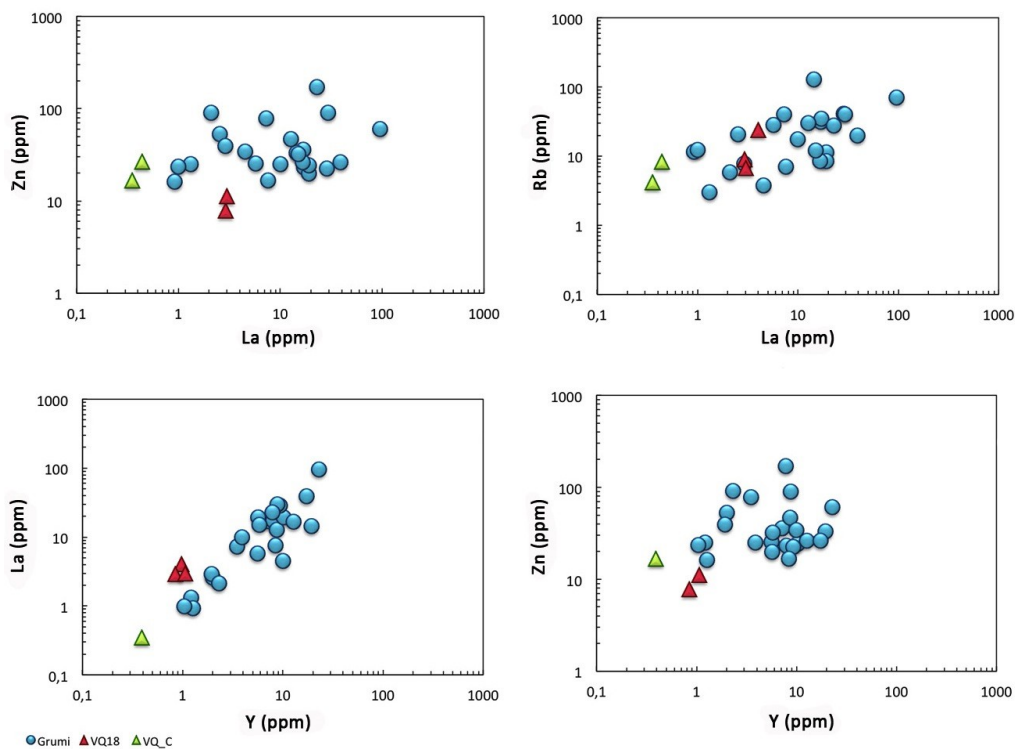


Figura 65. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce dei grumi presenti nelle malte e dei materiali della calcara (VQ18 e VQ_C).

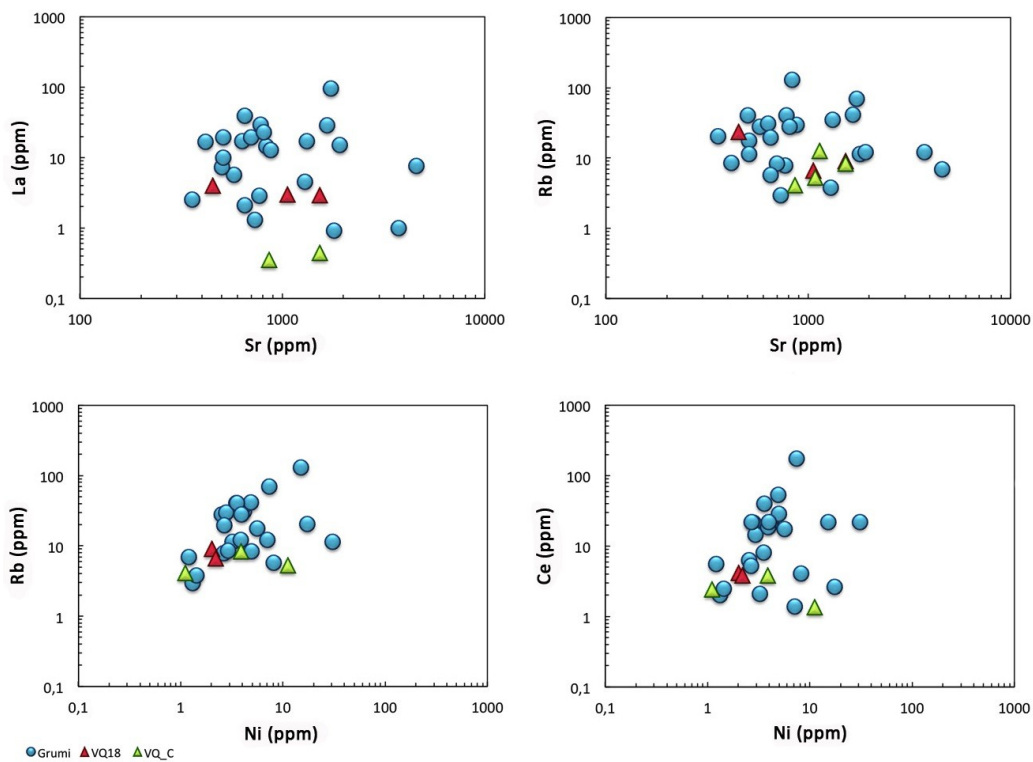


Figura 66. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce dei grumi presenti nelle malte e dei materiali della calcara (VQ18 e VQ_C).

Sulla base delle informazioni archeologiche, nello strato di calce da cui è stato prelevato tale campione, erano presenti frammenti di marmo non del tutto combusto e due frammenti di sottocornice simili a quelle che decorano l'ambiente termale del *Frigidarium*. Per tale ragione e considerando il fatto che la calcara, secondo le ipotesi archeologiche, fu costruita in epoca medievale (tra l'VIII e il IX sec. d.C.), inizialmente fu ipotizzato uno smontaggio delle decorazioni di diversi ambienti della villa e un recupero di questi per la cottura e la produzione di calce (Frontoni & Galli 2010). Nonostante i materiali analizzati siano riferibili a periodi storici differenti, i dati geochimici mettono in evidenza una sostanziale omogeneità per quanto concerne le composizioni sia dei campioni di calce della fornace sia dei grumi delle malte della villa. Si può dunque dedurre che il calcare originario utilizzato per ottenere le calci prelevate nella calcara potrebbe essere lo stesso di quello impiegato per produrre la calce per il confezionamento delle malte della villa.

Dall'analisi petrografica effettuata è risultato evidente che le quattro tipologie di malte hanno come caratteristica comune la presenza di un aggregato di natura vulcanica. La paragenesi è costituita essenzialmente da cristalli di leucite, clinopirosseno (sia incolore che verde) e biotite, e risulta compatibile con quella di prodotti ad affinità ultrapotassica dell'area magmatica romana. Da tali caratteristiche petrografiche è stato inoltre possibile risalire al distretto vulcanico di appartenenza. In particolare, i distretti vulcanici più vicini al sito in esame sono il distretto dei Colli Albani e il distretto dei Monti Sabatini. L'affinità con quest'ultimo può essere esclusa dal momento che le vulcaniti dei Sabatini presentano leucite come minerale caratteristico della pasta di fondo, ma la stessa fase solo raramente si rinviene in fenocristalli (Peccerillo, 2005), il che contrasta con l'abbondante presenza di grossi cristalli di leucite nelle malte esaminate. Inoltre, nei termini fonolitici (i più differenziati della serie iperalcalina sottosatura) la leucite è sostituita dal plagioclasio e sanidino, minerali totalmente assenti nell'aggregato delle malte analizzate (Peccerillo, 2005).

Dal punto di vista micromorfologico le analisi al SEM hanno messo in evidenza una marcata variabilità tessiturale dei frammenti di aggregato per quanto riguarda sia la pasta di fondo sia il grado di vescicolarità (forma e dimensioni delle bolle). E' da sottolineare che tale variabilità non è peculiare delle diverse tipologie di malte individuate, bensì risulta essere una caratteristica riscontrabile anche all'interno di ciascun gruppo di malte. Maggiori informazioni si ottengono dall'analisi composizionale effettuata sull'aggregato. Le composizioni dell'aggregato vulcanico analizzate tramite SEM-EDS ricadono in un'ampia regione del diagramma TAS (fig. 56) presentando un caratteristico arricchimento in alcali rispetto alla variabilità della silice. Questa variabilità composizionale non è ascrivibile ad un semplice processo di differenziazione magmatica e dovrebbe pertanto riflettere variazioni non dovute ai caratteri primari dell'aggregato vulcanico. Tali caratteri potrebbero essere acquisiti o in seguito ad alterazione da

agenti atmosferici, che possono generare arricchimenti/impoverimenti selettivi specie in alcali, o al coinvolgimento di più tipologie di aggregato vulcanico con caratteristiche geochemiche differenti in origine.

La caratterizzazione chimica dell'aggregato vulcanico è stata ulteriormente approfondita attraverso le analisi composizionali effettuate sui clinopiroseni presenti. Le composizioni chimiche dei fenocristalli di clinopiroseno nell'aggregato sono state confrontate con quelle di clinopiroseni in rocce vulcaniche provenienti da diversi distretti appartenenti alla Provincia magmatica Romana, ed in particolare con quelli del distretto dei Colli Albani. Nel diagramma QUAD (Morimoto 1988) in figura 67, la composizione dei clinopiroseni delle malte ricade prevalentemente nel campo del diopside e ben si accorda con il range composizionale dei clinopiroseni della Provincia Romana (area grigia; Perini et al. 2004; Conticelli et al. 1997, 2010; Funicello et al. 2003; Dallai et al. 2004; Gaeta et al. 2006; Boari et al. 2009).

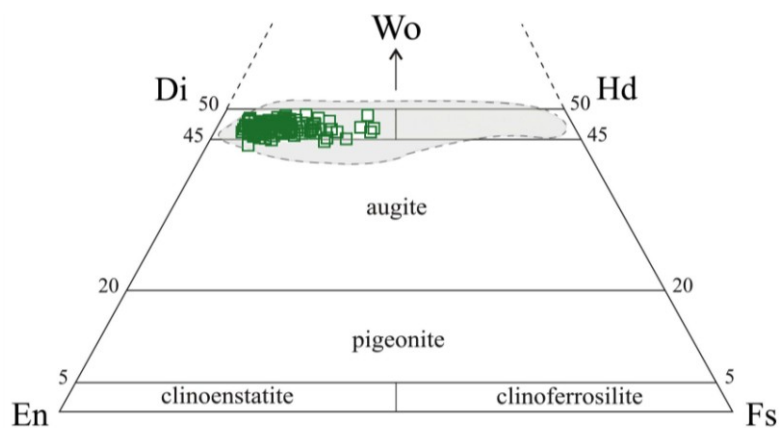


Figura 67. Diagramma QUAD di classificazione per i clinopiroseni (Morimoto, 1988); l'area in grigio rappresenta il range composizionale dei clinopiroseni della Provincia Romana; i punti i clinopiroseni presenti nell'aggregato delle malte analizzate.

Per quanto riguarda la variazione degli elementi maggiori (considerati qui sulla base di valori cationici; fig. 58), la distribuzione dei punti analizzati assume una netta correlazione positiva in diagrammi Al_{tot} vs. Ti, Fe_{tot} vs. Al_{tot} e Ca vs. Ti, mentre nel diagramma Mg vs. Al_{tot} la correlazione è negativa. Tali dati risultano essere in accordo con i trend evolutivi che si riscontrano generalmente in clinopiroseni di cristallizzazione magmatica. L'analisi degli elementi in tracce tramite LA-ICP-MS sui medesimi clinopiroseni ha evidenziato la presenza di due trend evolutivi su diagrammi in cui V e Sc sono stati scelti come indici di differenziazione (fig. 63). Ciò porta a supporre la presenza di almeno due famiglie di clinopiroseni, caratterizzate da concentrazioni in REE variabili a parità di contenuti in Sc. Tale tendenza è meno evidente nei diagrammi dove l'indice di differenziazione risulta essere il V. Anche in essi, tuttavia, si notano due trend con correlazioni positive, caratterizzati da concentrazioni differenti in REE a parità di valori di V. L'esistenza di due trend evolutivi tra le concentrazioni degli elementi in tracce dei pirosseni presenti all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte assume un significato geochemico-

petrologico di rilievo in quanto, denota la presenza di clinopirosseni in equilibrio con almeno due liquidi di composizione differente.

4.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE MATERIE PRIME

4.2.1 Pozzolane

4.2.1.1 Analisi petrografica (MO)

Le tre tipologie di pozzolana campionate in cava (*Pozzolana Rossa*, *Pozzolana Nera* e *Pozzolanelle*) sono state analizzate mediante microscopia ottica in sezione sottile al fine di evidenziare i principali caratteri petrografici. La *Pozzolana Rossa* (RED; fig. 68) si presenta con una struttura oligofirica e scarsi fenocristalli di leucite (di piccole dimensioni, fino a ~ 1.5 mm), clinopirosseno e biotite. La pasta di fondo ha struttura vitrofirica. La *Pozzolana Nera* (PNR; fig. 68) presenta una struttura porfirica con abbondanti fenocristalli di leucite (di grandi dimensioni, fino a ~ 5 mm) e subordinati clinopirosseno e biotite. La pasta di fondo ha struttura intersertale con la frazione vetrosa in proporzioni variabili e prevalenti microliti di leucite. La *Pozzolanelle* (VSN2; fig. 69) presenta una struttura oligofirica con fenocristalli di leucite, clinopirosseno e biotite di piccole dimensioni e in simili proporzioni. La pasta di fondo ha struttura generalmente vitrofirica.

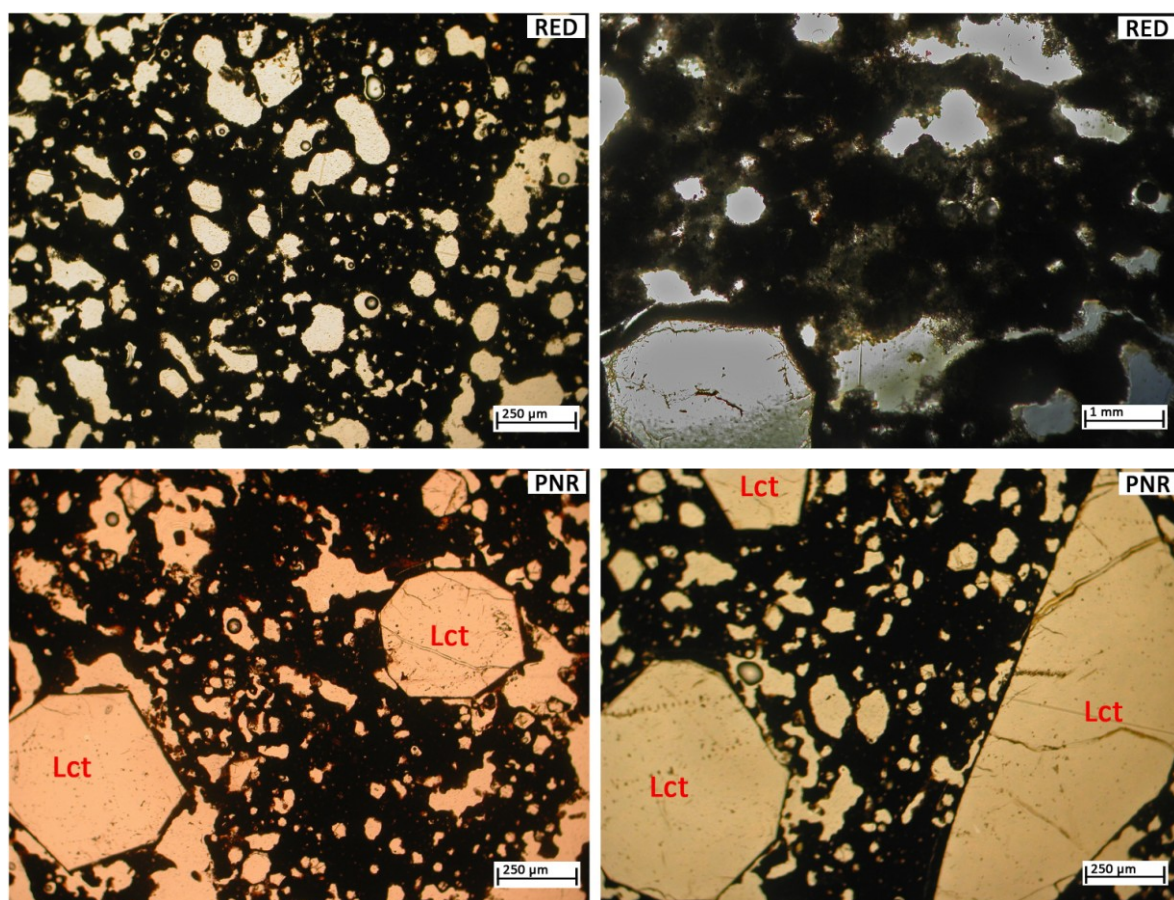


Figura 68. Fotografie al microscopio ottico di due tipologie di pozzolana: *Pozzolana Rossa* (RED); *Pozzolana Nera* (PNR).

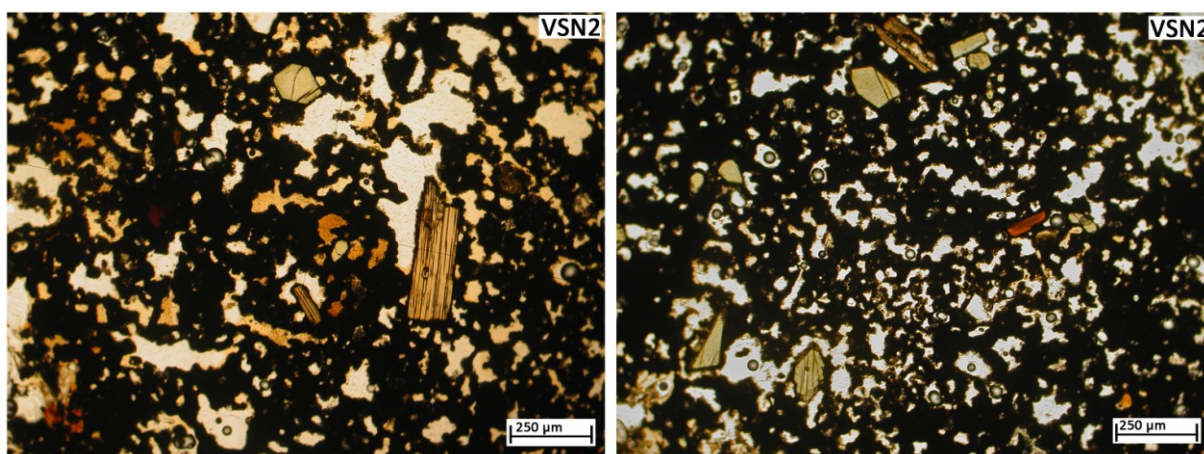


Figura 69. Fotografie al microscopio ottico della tipologia di pozzolana denominata *Pozzolabella* (VSN2).

4.2.1.2 Analisi micromorfologica mediante microscopia elettronica a scansione (SEM)

L'analisi micromorfologica delle tre tipologie di pozzolana è stata condotta tramite immagini in BSE al microscopio elettronico, al fine di evidenziare eventuali differenze nelle caratteristiche tessiturali delle vulcaniti. Lo studio dettagliato, condotto su ciascuna tipologia di pozzolana ha tuttavia evidenziato che sia le tessiture della pasta di fondo sia l'abbondanza, le dimensioni e la forma dei vacuoli risultano essere estremamente variabili anche nell'ambito della medesima tipologia (fig. 70). Tramite lo studio ad elevati ingrandimenti, in modalità BSE, è stato possibile risolvere la pasta di fondo sia per quanto concerne le tessiture sia per l'abbondanza e la tipologia delle fasi presenti. In particolare è emerso che oltre alla presenza di leucite e porzioni di vetro variabili in estensione, solo nella tipologia di *Pozzolana Rossa*, è presente anche un fitto feltro di microliti di clinopirosseno diopsidico. La forma dei vacuoli varia da sferica a fortemente irregolare, spesso dovuto al grado di coalescenza tra le diverse bolle, le quali presentano dimensioni variabili da poche decine di micron a ~ 1 mm.

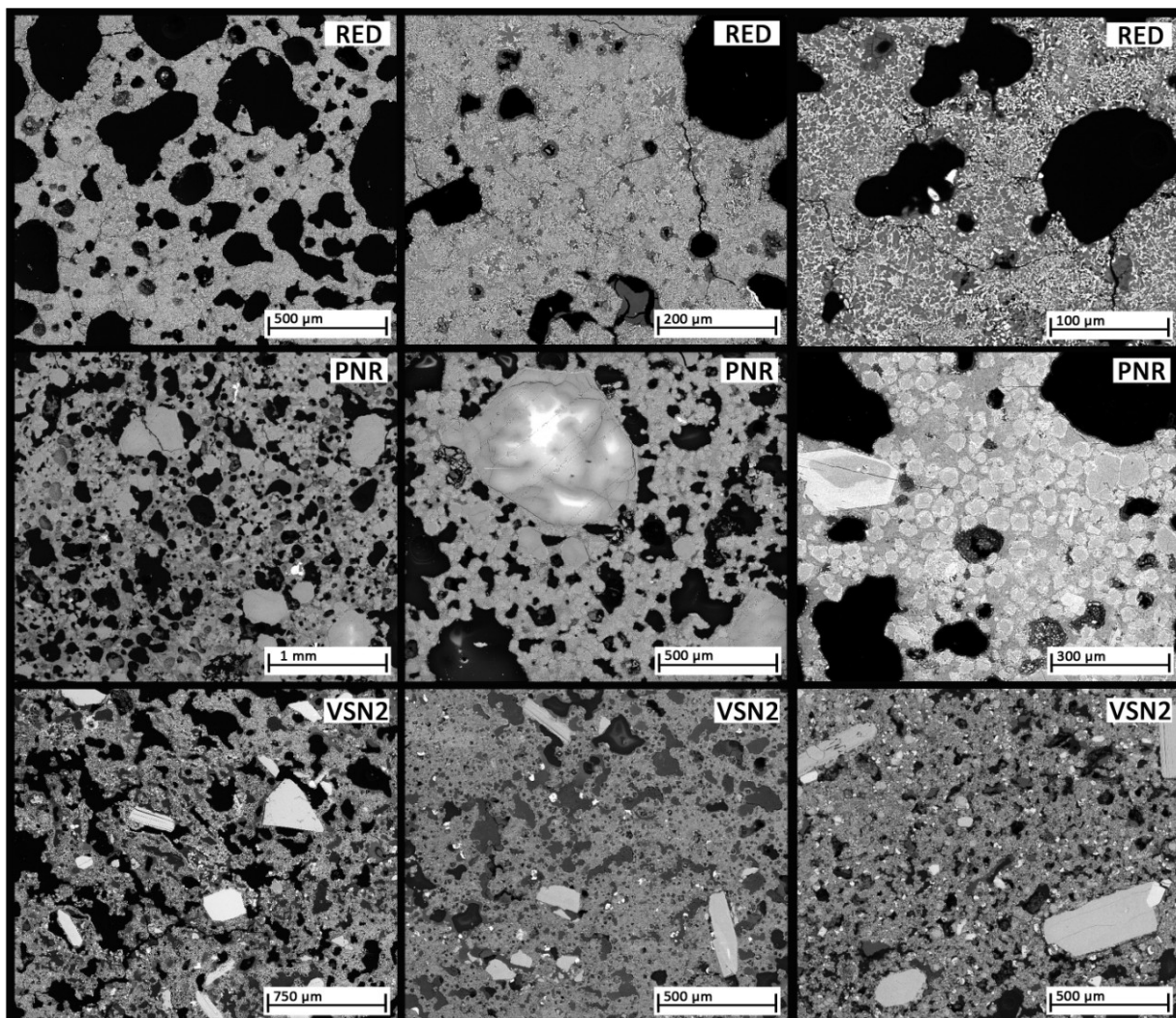


Figura 70. Immagini BSE acquisite al SEM: *Pozzolana Rossa* (RED); *Pozzolana Nera* (PNR); *Pozzolanelle* (VSN2).

4.2.1.3 Analisi chimica SEM-EDS

Le analisi raster effettuate tramite SEM-EDS sui campioni delle tre tipologie di pozzolana ricadono, nel complesso, in un'ampia regione del diagramma TAS (Fig. 71) sia in termini di variazioni dovute alla serialità sia al grado evolutivo. Sebbene sia presente un elevato grado di dispersione, le composizioni per ciascuna tipologia di pozzolana possono essere ricondotte a quelle già evidenziate da dati di letteratura (Fornaseri et al. 1963, Bakos et al. 1994, Trigila et al. 1995, Boari et al. 2009, Jackson et al. 2009, Dickie J. M. 2010, Jackson et al. 2010). I dati relativi alle composizioni delle pozzolane analizzate sono riportati in tabella 11 (Appendice B). In particolare, le composizioni delle *Pozzolane Rosse* risultano essere le meno evolute tra le tre tipologie, in quanto variano in una regione composizionale definita dai campi delle tefriti, andesiti basaltiche e trachi-andesiti basaltiche. Le *Pozzolane Nere* presentano composizioni intermedie tra quelle delle *Pozzolane Rosse* e delle *Pozzolanelle*. Nel complesso, la distribuzione dei dati presenta un caratteristico arricchimento in alcali rispetto alla silice tra i campi delle

andesiti basaltiche/andesiti e le fonoliti tefritiche, in accordo con quanto già osservato in letteratura (cf. Conticelli et al 2010). Le composizioni delle *Pozzolanelle* sono le più evolute tra le tre tipologie di vulcaniti considerate. Esse variano tra i campi dei basalti, delle andesiti e delle trachiti. E' da sottolineare, tuttavia, come alcune delle composizioni non ricadano all'interno del campo già definito da letteratura (in particolare dai termini basaltici a quelli andesitici), in quanto caratterizzati da un significativo decremento in alcali a valori di SiO_2 confrontabili.

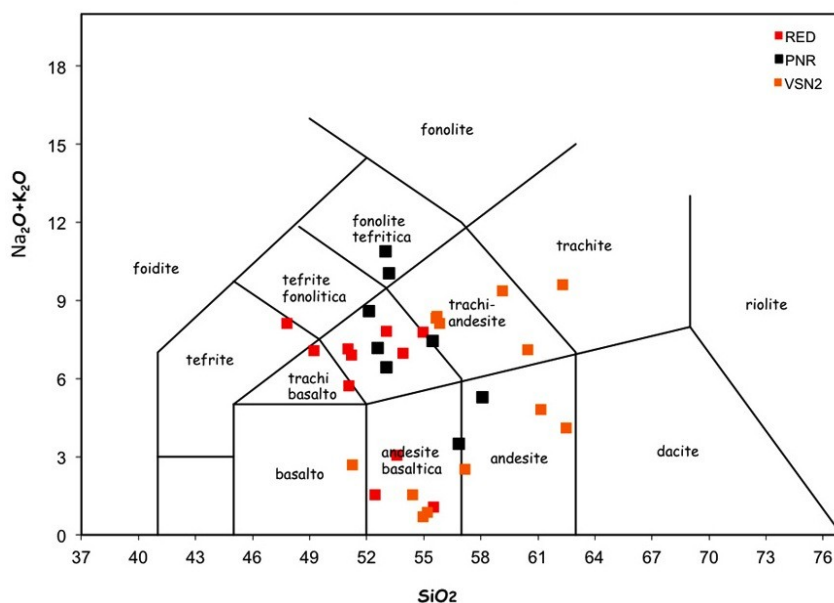


Figura 71. Diagramma TAS (Le Maitre 1989) in cui sono riportate le concentrazioni (wt%) delle tre tipologie di pozzolana di cava. *Pozzolana Rossa* (rosso), *Pozzolana Nera* (nero), *Pozzolanelle* (arancio).

La caratterizzazione delle materie prime di natura vulcanica è stata approfondita attraverso lo studio dei clinopirosseni presenti in fenocristalli nelle tre tipologie di pozzolana, sulla base dell'approccio metodologico precedentemente descritto. A tal proposito, sono state effettuate analisi SEM-EDS su fenocristalli di clinopirosseno selezionati in ciascuna delle tre pozzolane considerate. I risultati di tali analisi sono riportati in tabella 12 (Appendice B). A seguito del ricalcolo della formula strutturale, i clinopirosseni analizzati ricadono nel campo del diopside al limite con le augiti sul diagramma QUAD (Fig. 72).

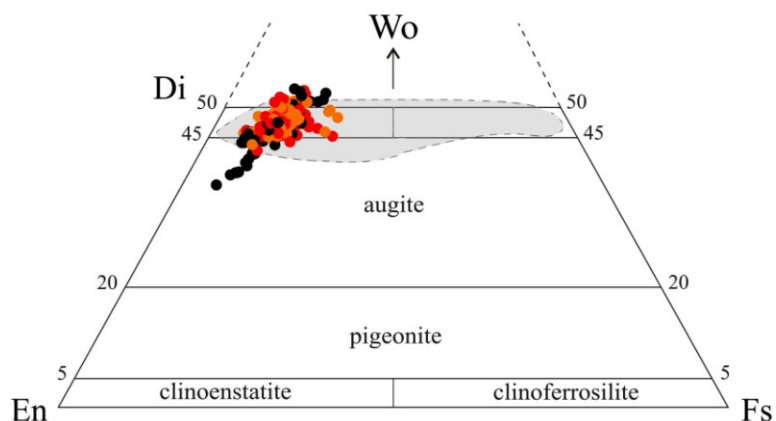


Figura 72. Diagramma QUAD di classificazione per i clinopirosseni (Morimoto 1988); i punti rappresentano i clinopirosseni presenti all'interno delle tre tipologie di pozzolana; in rosso *Pozzolane Rosse*, in nero *Pozzolane Nere*, in arancio *Pozzolanelle*; l'area in grigio i pirosseni della Provincia Romana (Perini et al. 2004; Conticelli et al. 1997, 2010; Funicello et al. 2003; Dallai et al. 2004; Gaeta et al. 2006; Boari et al. 2009).

Più significativi risultano essere i diagrammi binari in cui sono plottati i valori cationici per gli elementi maggiori. La maggior parte degli elementi che occupano significativamente le posizioni strutturali nei clinopirosseni (e.g., Ca, Al, Mg, Fe) coprono un ampio range composizionale per tutti i pirosseni considerati. Sulla base degli elementi analizzati le differenze più marcate tra i pirosseni delle tre tipologie di vulcaniti si riscontrano per Al, Ti e Ca (fig. 73).

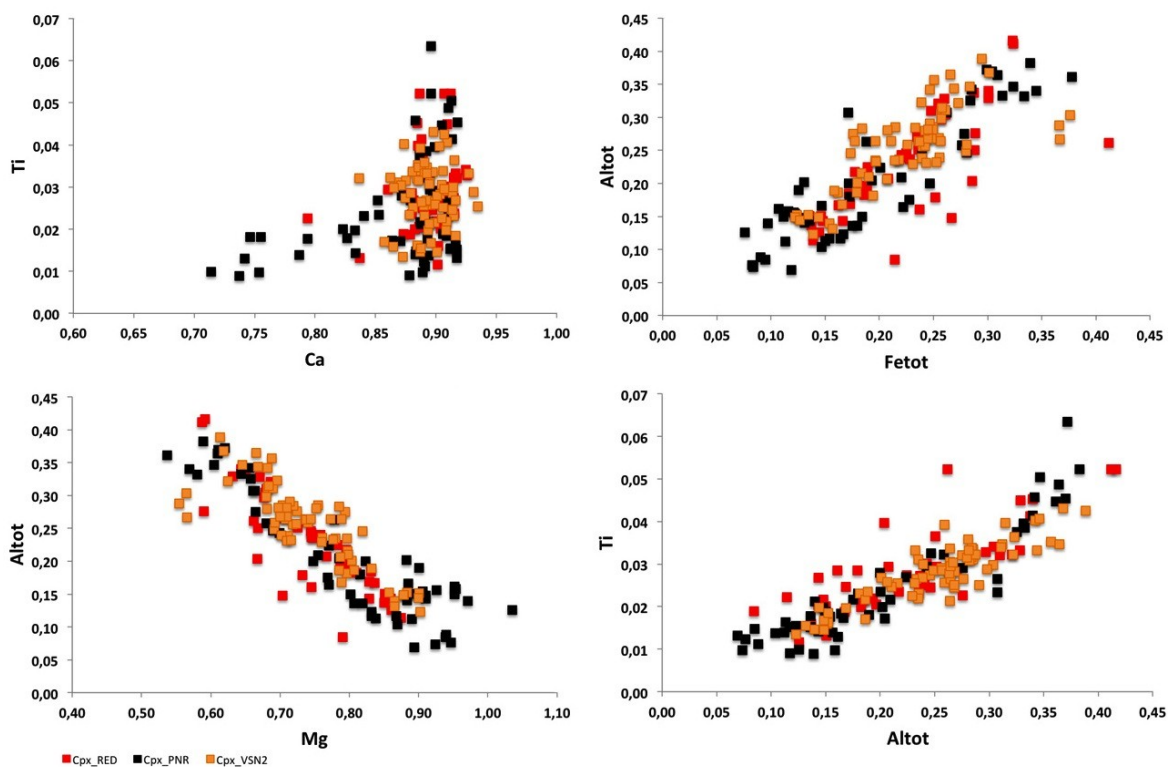


Figura 73. Variazioni dei valori cationici per gli elementi maggiori dei clinopirosseni presenti all'interno delle tre tipologie di pozzolana (in rosso i cpx delle *Pozzolane Rosse*; in nero i cpx delle *Pozzolane Nere*; in arancio i cpx delle *Pozzolanelle*).

Sebbene sul diagramma Al vs. Ti (fig. 73) i pirosseni delle tre tipologie di pozzolana ricoprono un range composizionale relativamente simile con correlazione positiva, alcuni cristalli rinvenuti nelle *Pozzolane Rosse* presentano, per bassi valori in Al, concentrazioni più elevate in Ti. Per quanto concerne il Ca, le variazioni più significative si osservano per i clinopirosseni delle *Pozzolane Nere*, i quali presentano una variazione composizionale più ampia (~ 0.7 – 0.9 a.p.f.u.) rispetto ai clinopirosseni delle altre due tipologie (clusterizzati tra 0.86 e 0.91 a.p.f.u.).

4.2.1.4 Analisi LA-ICP-MS

Sui clinopirosseni rinvenuti nelle tre tipologie di pozzolana prelevate in cava sono state effettuate analisi puntuali al fine di ottenere le concentrazioni degli elementi in tracce. In tabella 13 (Appendice B) si riportano le concentrazioni degli elementi in tracce dei clinopirosseni analizzati. Anche per questi cristalli, Sc e V sono stati utilizzati come elementi indice del grado evolutivo per evidenziare la variabilità di altri gruppi di elementi in tracce. In generale, gli elementi ad alta forza di campo, quali ad esempio Zr e Nb, non presentano trend ben definiti. Variazioni più significative sono invece più evidenti per gli elementi delle terre rare, in particolar modo per le MREE e HREE. Nei diagrammi binari in cui Sc rappresenta l'elemento indice (fig. 74), i pirosseni delle *Pozzolane Rosse* e delle *Pozzolanelle* hanno concentrazioni di elementi delle terre rare relativamente simili, sebbene i primi presentino un'evidente suddivisione in due gruppi distinti. I pirosseni delle *Pozzolane Nere* sono caratterizzati da concentrazioni in Sc che si distribuiscono con un range comparabile a quello delle altre due tipologie di pozzolana ma con valori di REE tendenzialmente più bassi. Nei diagrammi binari V vs. REE (fig. 75), i pirosseni delle tre tipologie di pozzolana presentano una netta correlazione positiva definita dalla sovrapposizione di due trend principali. Un allineamento, caratterizzato da più elevate concentrazioni di terre rare, è definito dai pirosseni delle *Pozzolane Rosse* e delle *Pozzolanelle*, mentre il secondo, con più bassi valori di REE, è esclusivo delle *Pozzolane Nere*.

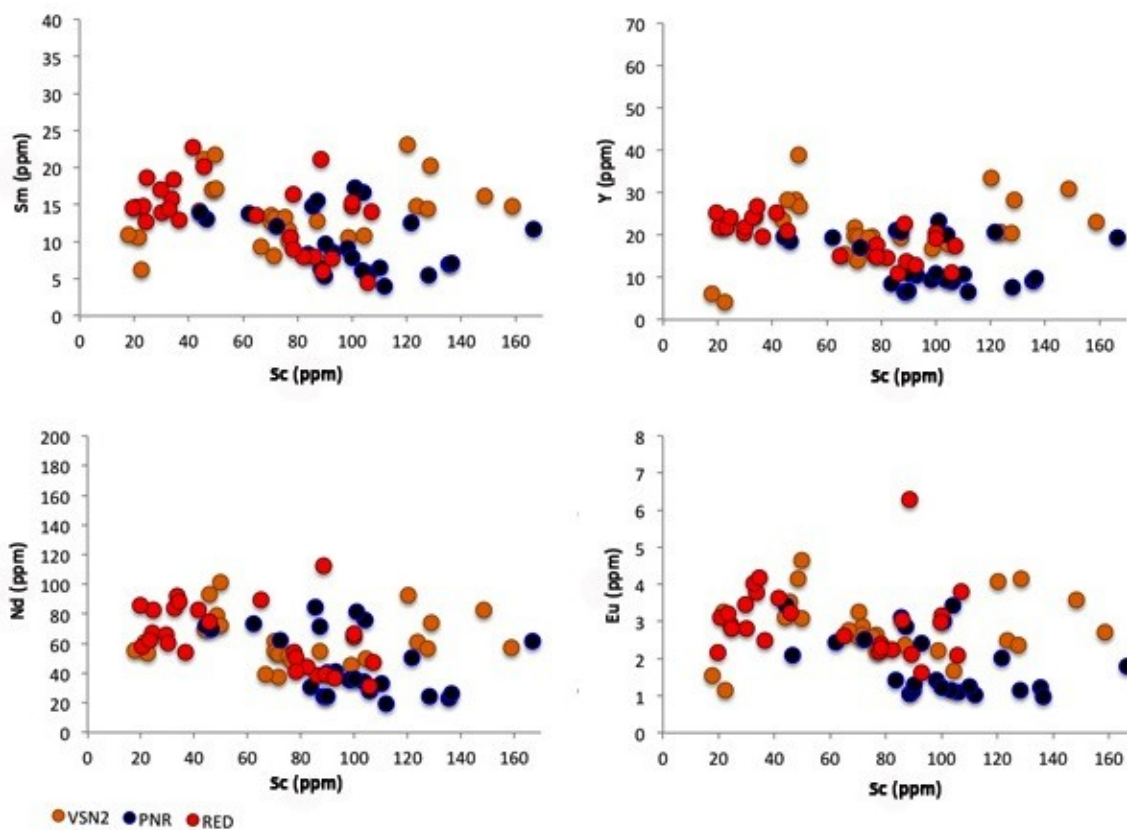


Figura 74. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce dei clinopirosseni presenti nelle tre tipologie di pozzolana.

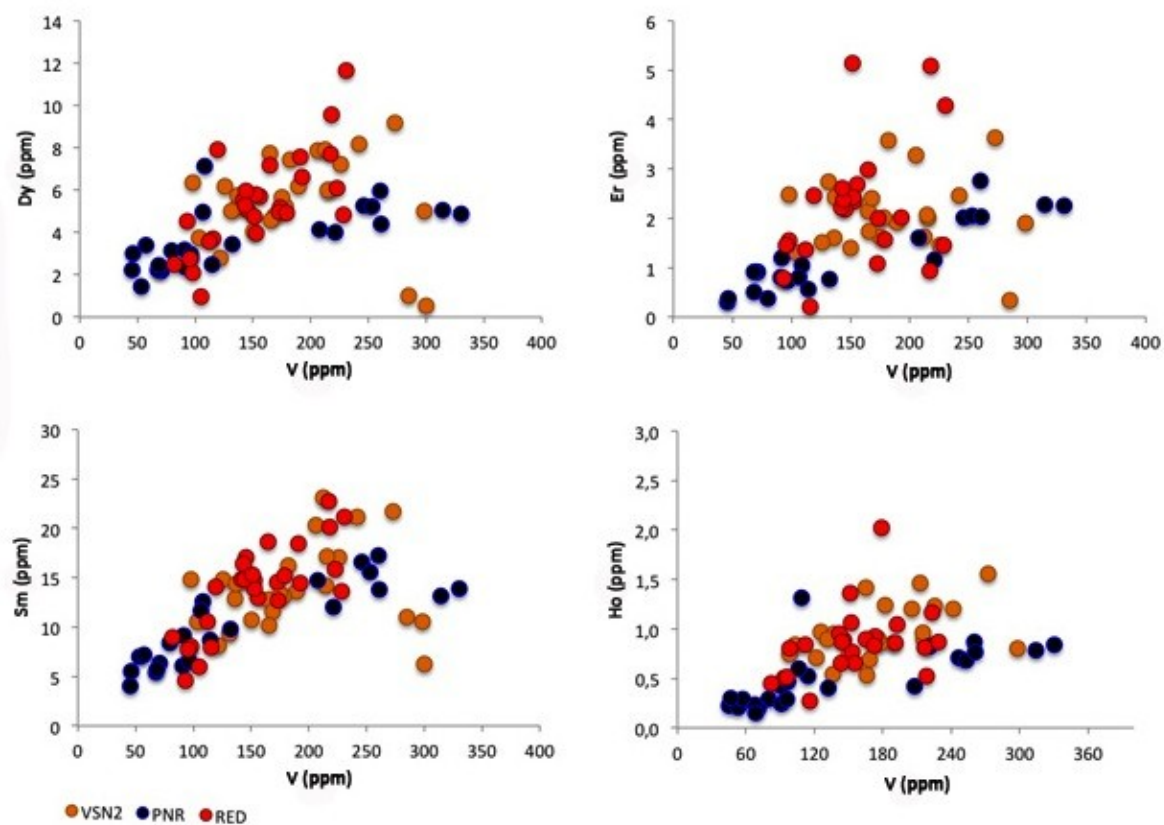


Figura 75. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce dei clinopirosseni presenti nelle tre tipologie di pozzolana.

4.2.1.5 Discussione

L'analisi petrografica dei campioni di pozzolana ha messo in evidenza come le tre tipologie presentino caratteristiche abbastanza simili tra loro per quanto riguarda la struttura e la tessitura della pasta di fondo. Le differenze emerse riguardano prevalentemente la natura e l'abbondanza delle fasi mineraliche costituenti le vulcaniti. I caratteri distintivi dominanti sono la presenza di fenocristalli di leucite di grande taglia esclusivamente nelle *Pozzolane Nere* e una marcata abbondanza di fasi femiche quali clinopirosseno e biotite particolarmente nelle *Pozzolanelle*. L'analisi micromorfologica al SEM condotta sui campioni di pozzolana ha evidenziato una spiccata variabilità anche all'interno di ciascun gruppo di vulcaniti per quanto concerne le tessiture della pasta di fondo, le dimensioni e l'abbondanza dei vacuoli. Questi caratteri sono principalmente da imputare alle differenti dinamiche di raffreddamento del deposito piroclastico e possono essere pertanto particolarmente variabili anche in affioramenti di limitato spessore ed estensione. Ne consegue che tali caratteristiche micromorfologiche, intrinseche a tutte le tipologie di pozzolane, non possono essere considerate un efficace metodo discriminante. Per tale ragione, lo studio è stato focalizzato sugli aspetti composizionali delle tre tipologie di pozzolana. Le composizioni delle pozzolane studiate ricadono in un'ampia regione del diagramma TAS. Sebbene ci sia una notevole sovrapposizione tra le tre composizioni, le *Pozzolane Rosse* ricadono tendenzialmente in settori meno evoluti del TAS, mentre le *Pozzolanelle* presentano le composizioni più differenziate; le *Pozzolane Nere* si dispongono in un campo intermedio tra questi due termini estremi. Sul diagramma TAS di figura 76 sono riportati anche i campi composizionali delle tre tipologie di pozzolana derivanti da dati di letteratura (cf. Conticelli et al. 2010).

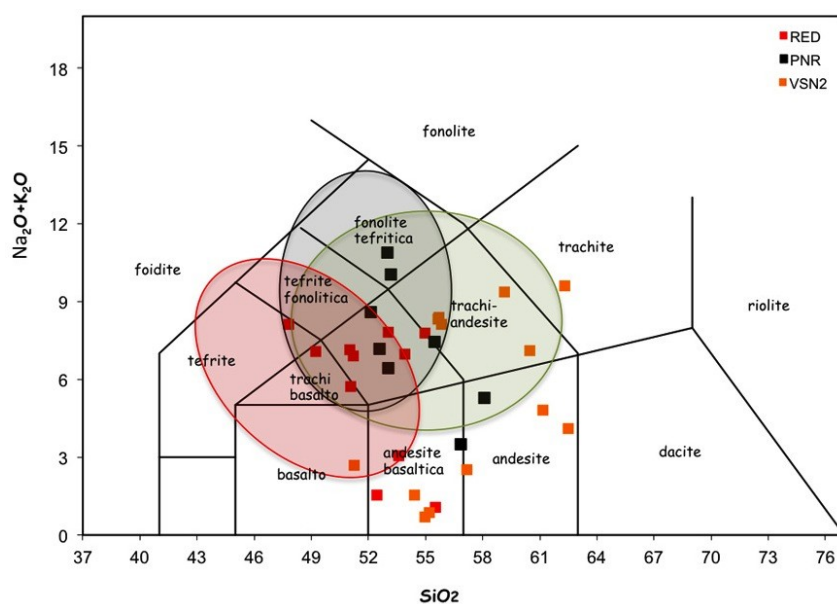


Figura 76. Diagramma TAS (Le Maitre 1989) in cui si riportano le concentrazioni di SiO_2 vs. $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ delle tre tipologie di pozzolana prelevate in cava (*Pozzolana Rossa* in rosso, *Pozzolana Nera* in nero, *Pozzolanelle* in arancio). Le aree rappresentano dati di letteratura riferiti a *Pozzolane Rosse* (area rossa), *Pozzolane Nere* (area nera), *Pozzolanelle* (area verde).

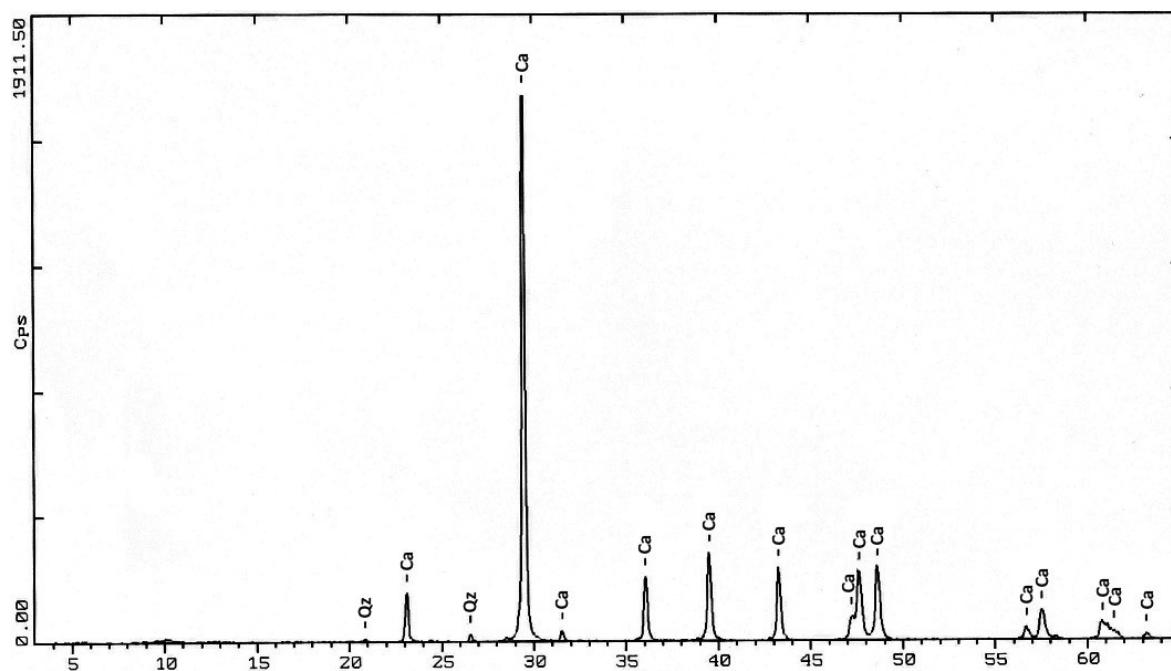
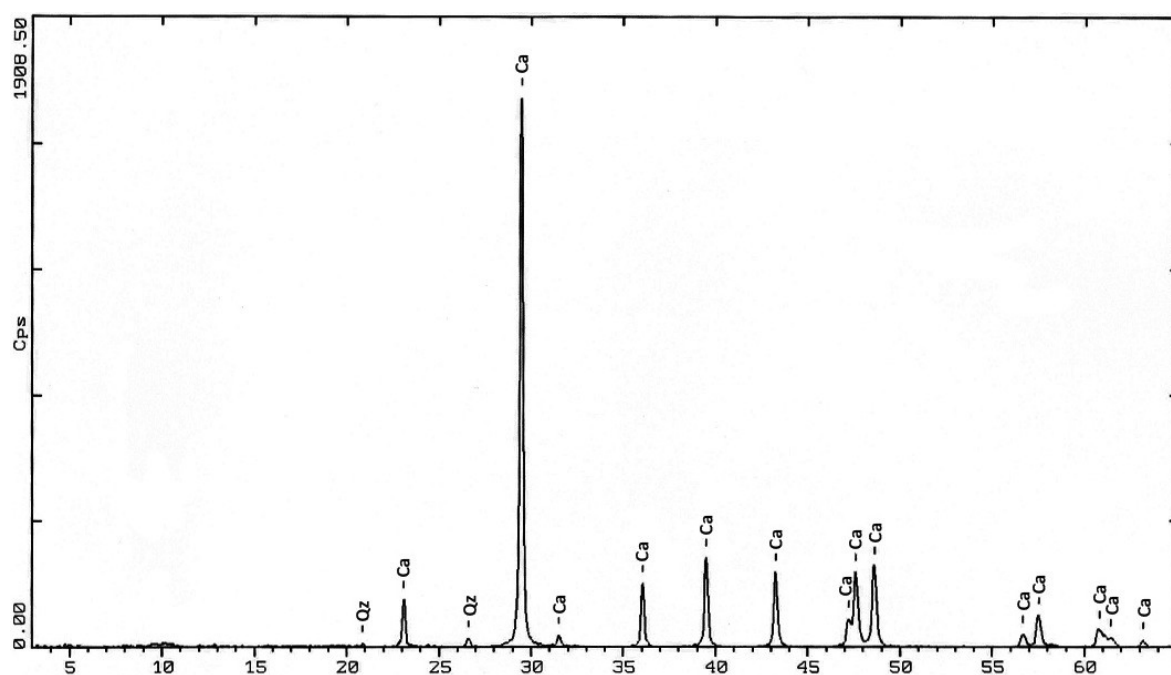
Nel complesso i dati ottenuti tramite analisi raster al SEM-EDS presentano una buona corrispondenza con i dati di letteratura, in quanto ricadono all'interno dei campi definiti per ciascuna delle tre tipologie di pozzolana. Solo alcune composizioni appartenenti alle *Pozzolanelle* presentano un netto decremento di alcali. Ciò determina un forte discostamento dal campo individuato da letteratura. Tuttavia, come riportato da Conticelli et al. (2010), questa caratteristica può essere attribuita a weathering della frazione cineritica.

La caratterizzazione chimica delle pozzolane di cava è stata approfondita tramite analisi degli elementi maggiori e in tracce effettuate su fenocristalli di clinopiroseni. Le composizioni dei clinopiroseni ricavate da analisi SEM-EDS, plottate sul diagramma QUAD (fig. 72), ben si accordano con il range composizionale individuato per i pirosseni della Provincia Romana (Perini et al. 2004; Conticelli et al. 1997, 2010; Funicello et al. 2003; Dallai et al. 2004; Gaeta et al. 2006; Boari et al. 2009). Sulla base delle concentrazioni degli elementi maggiori non sono emerse marcate distinzioni tra i pirosseni rinvenuti nelle tre pozzolane. Solo il Ca nelle *Pozzolane Nere* e Al e Ti in alcuni cristalli delle *Pozzolane Rosse* si discostano lievemente dai trend principali definiti dalla suite di pirosseni analizzati e possono pertanto costituire un parziale elemento diagnostico. L'analisi degli elementi in tracce, ottenuti tramite LA-ICP-MS, ha messo in evidenza che i pirosseni delle tre tipologie di pozzolane presentano una variabilità composizionale in un range relativamente simile. Tuttavia, le concentrazioni in terre rare più basse per i clinopiroseni delle *Pozzolane Nere* costituiscono un elemento discriminante rispetto ai cristalli delle altre due tipologie di pozzolana. In particolare nei diagrammi in figura 74 e 75, è evidente la presenza di due trend distinti, uno caratteristico dei pirosseni delle *Pozzolane Rosse* e delle *Pozzolanelle*, l'altro esclusivo dei clinopiroseni delle *Pozzolane Nere*.

4.2.2 Calcari

4.2.2.1 Analisi mineralogica mediante diffrazione a raggi x (XRD)

Dall'analisi diffrattometrica è emerso che le due tipologie di calcari (calcare *Massiccio* e *Maiolica*) presentano la medesima composizione mineralogica, costituita essenzialmente da calcite e quarzo. In figura 77 è riportato il diffrattogramma relativo alla tipologia di calcare *Massiccio*, mentre in figura 78 quello relativo al calcare *Maiolica*.

Figura 77. Diffratogramma XRD relativo al calcare *Massiccio* (MAS).Figura 78. Diffratogramma XRD relativo al calcare della formazione della *Maiolica* (MAI).

4.2.2.2 Analisi chimica SEM-EDS

Al fine di determinare la composizione chimica riferita agli elementi maggiori dei calcari campionati, sono state effettuate analisi puntuali mediante SEM-EDS. La composizione chimica di tali calcari indica che essi sono costituiti principalmente da CaO. Le concentrazioni degli elementi maggiori delle due tipologie di calcari sono riportate in tabella 14 (Appendice B). La variazione delle concentrazioni di CaO vs. SiO₂ è espressa nel diagramma binario di figura 79. Il

calcare *Massiccio* mostra valori di CaO compresi tra 90.3 e 72.3 wt%, mentre quelli del calcare della formazione *Maiolica* variano in un range più ristretto (95.9 - 86.6 wt%).

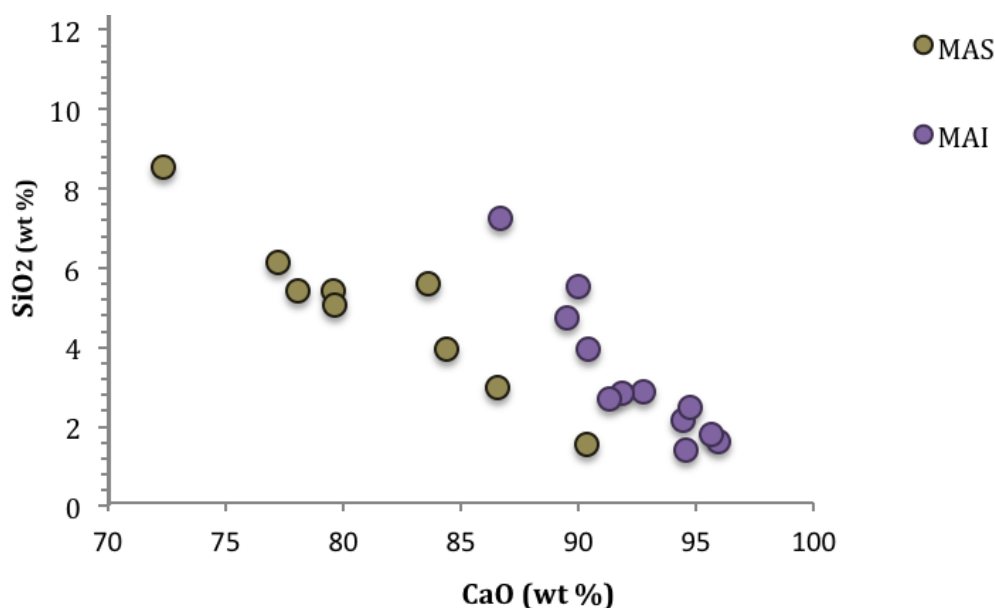


Figura 79. Variazioni delle concentrazioni di CaO vs. SiO₂ (wt%) relative al calcare *Massiccio* (MAS) e *Maiolica* (MAI).

4.2.2.3 Analisi LA-ICP-MS

Analisi mediante LA-ICP-MS sono state effettuate sulle due tipologie di calcare campionate al fine di determinare le aree di approvvigionamento delle materie prime utilizzate nel confezionamento delle malte. Le concentrazioni degli elementi in tracce per il calcare *Massiccio* e *Maiolica* sono riportate in tabella 15 (Appendice B). Nei diagrammi di variazione binaria di figura 80 le composizioni relative alle due tipologie di calcare risultano generalmente ben distinguibili. In particolare, elementi LILE quali Rb e Sr presentano concentrazioni più elevate nel calcare della formazione della *Maiolica* (valori medi 4.89 e 406 ppm, rispettivamente) rispetto a quelle del calcare *Massiccio* (valori medi 0.15 e 2.11 ppm, rispettivamente). Anche gli elementi appartenenti al gruppo delle LREE insieme ad Y presentano un comportamento simile a quello dei LILE, in quanto mostrano generalmente concentrazioni maggiori nel calcare *Maiolica* (e.g., valori medi per calcare *Massiccio*: La = 0.41 ppm e Y = 1.03 ppm; valori medi per calcare *Maiolica*: La = 6.79 ppm e Y = 11.32 ppm). Sebbene graficamente le differenze tra i due calcari appaiano più limitate, la variabilità composizionale per i metalli di transizione considerati (Ni e Zn) è comparabile con quella osservata per i LILE e LREE (valori medi per calcare *Massiccio*: Ni = 0.96 ppm e Zn = 10.16 ppm; valori medi per calcare *Maiolica*: Ni = 5.28 ppm e Zn = 22.67 ppm).

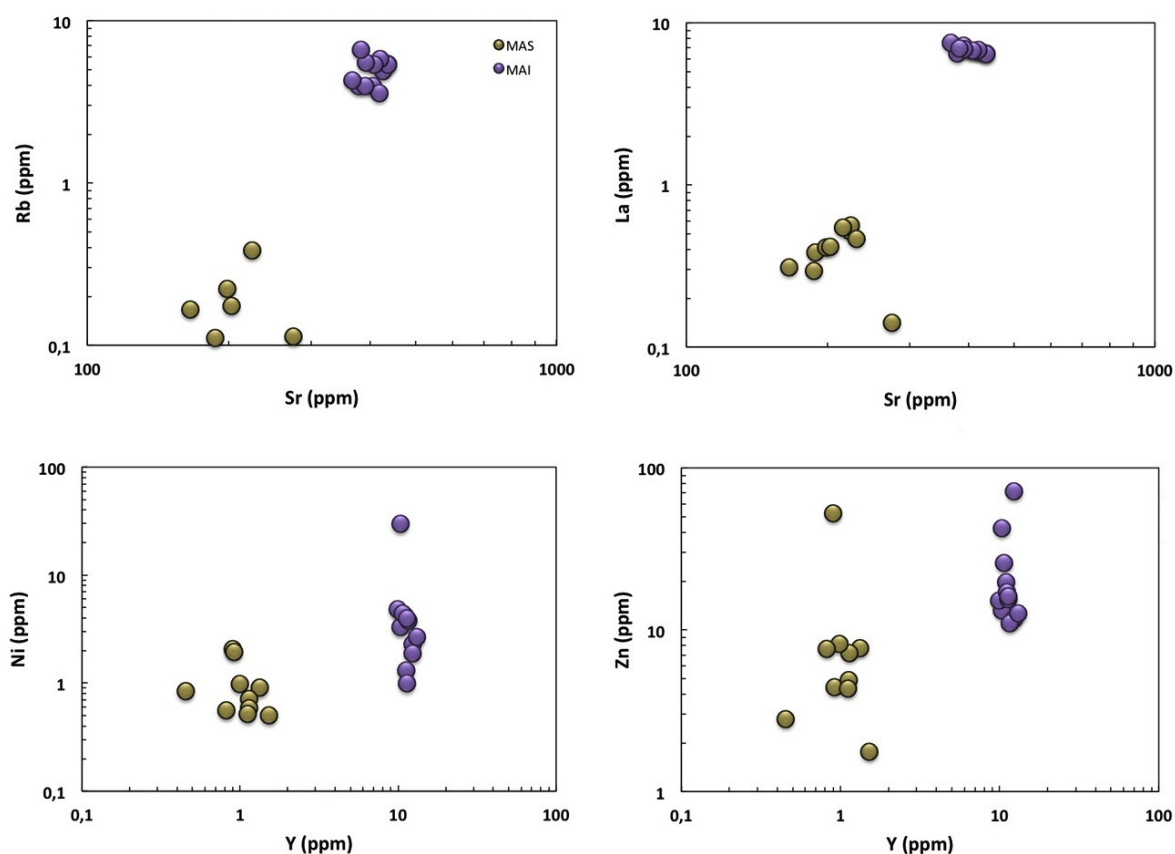


Figura 80. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce del calcare *Massiccio* (MAS) e *Maiolica* (MAI).

4.2.2.4 DISCUSSIONE

L'analisi mineralogica effettuata sui due calcari campionati (calcare *Massiccio* e *Maiolica*) non mostra differenze significative tra le due tipologie in quanto esse sono costituite essenzialmente da fasi mineraliche quali calcite e quarzo. Informazioni maggiori si ottengono invece dall'analisi degli elementi maggiori ed in tracce. Dal diagramma CaO vs. SiO₂ di fig. 79 è possibile effettuare una prima discriminazione tra le due tipologie di calcare poiché emergono abbastanza chiaramente due trends distinti e sub-paralleli tra loro. Nello specifico, risulta evidente che per elevati valori di CaO il calcare appartenente alla formazione *Maiolica* è caratterizzato da concentrazioni in SiO₂ superiori rispetto a quelle del calcare *Massiccio*. Le differenze tra le due tipologie di calcare risultano più evidenti dall'analisi degli elementi in tracce. Per tutti i gruppi di elementi considerati (LILE, LREE + Y e metalli di transizione) si osservano infatti concentrazioni decisamente più elevate per i campioni di calcare della formazione *Maiolica* rispetto a quelle proprie del calcare *Massiccio*.

V CAPITOLO

INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI APPROVVIGIONAMENTO DELLE MATERIE PRIME

Al fine di definire le aree di approvvigionamento delle materie prime utilizzate per il confezionamento delle malte, i diversi dati chimici ottenuti sono stati confrontati tra di loro. In particolare, nel diagramma CaO vs. SiO₂ di figura 81, le composizioni dei grumi di calce presenti all'interno delle malte e quelle dei frammenti di calce della fornace sono state messe in relazione con i dati degli elementi maggiori ricavati sulle due tipologie di calcare, i quali, dalle considerazioni effettuate in precedenza, risultano essere le potenziali materie prime impiegate nella preparazione della calce. Dal diagramma emerge un'ottima corrispondenza delle composizioni dei grumi e dei frammenti di calce con quelle del calcare appartenente alla formazione *Maiolica*.

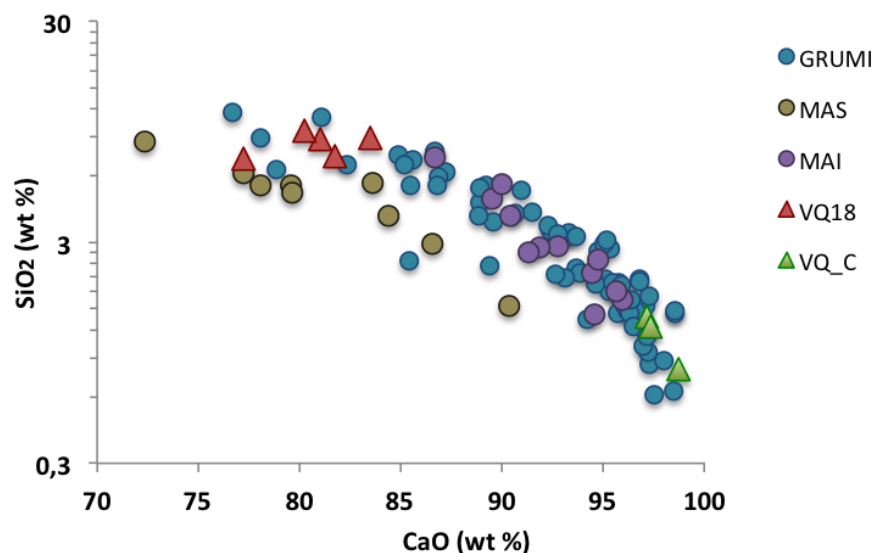


Figura 81. Diagramma di variazione CaO vs. SiO₂ relativo a: grumi delle malte (GRUMI), calcare *Massiccio* (MAS), calcare *Maiolica* (MAI), campioni prelevati dalla fornace (VQ18 e VQ_C).

L'ipotesi che quest'ultima tipologia di calcare fosse dunque quella utilizzata nel confezionamento delle malte trova supporto dal confronto effettuato anche sulla base delle concentrazioni degli elementi in tracce. Dai diagrammi di figura 82 è evidente che per gran parte

degli elementi considerati i grumi ed i frammenti di calce della fornace presentano una buona sovrapposizione con i valori presentati dal calcare della *Maiolica*. Solo Zn, Y ed in minor misura La per i frammenti di calce prelevati dalla calcara presentano concentrazioni che non permettono l'attribuzione inequivocabile ad una delle due tipologie di calcare. Dal confronto di tutti i dati disponibili è evidente che la tipologia di calcare utilizzata nel confezionamento delle malte della villa è il calcare appartenente alla formazione della *Maiolica*. L'ampia variabilità composizionale dei grumi di calce evidenziata in precedenza potrebbe essere dunque attribuita a eterogeneità composizionali intrinseche al calcare stesso, piuttosto che all'utilizzo di più tipologie di materiali.

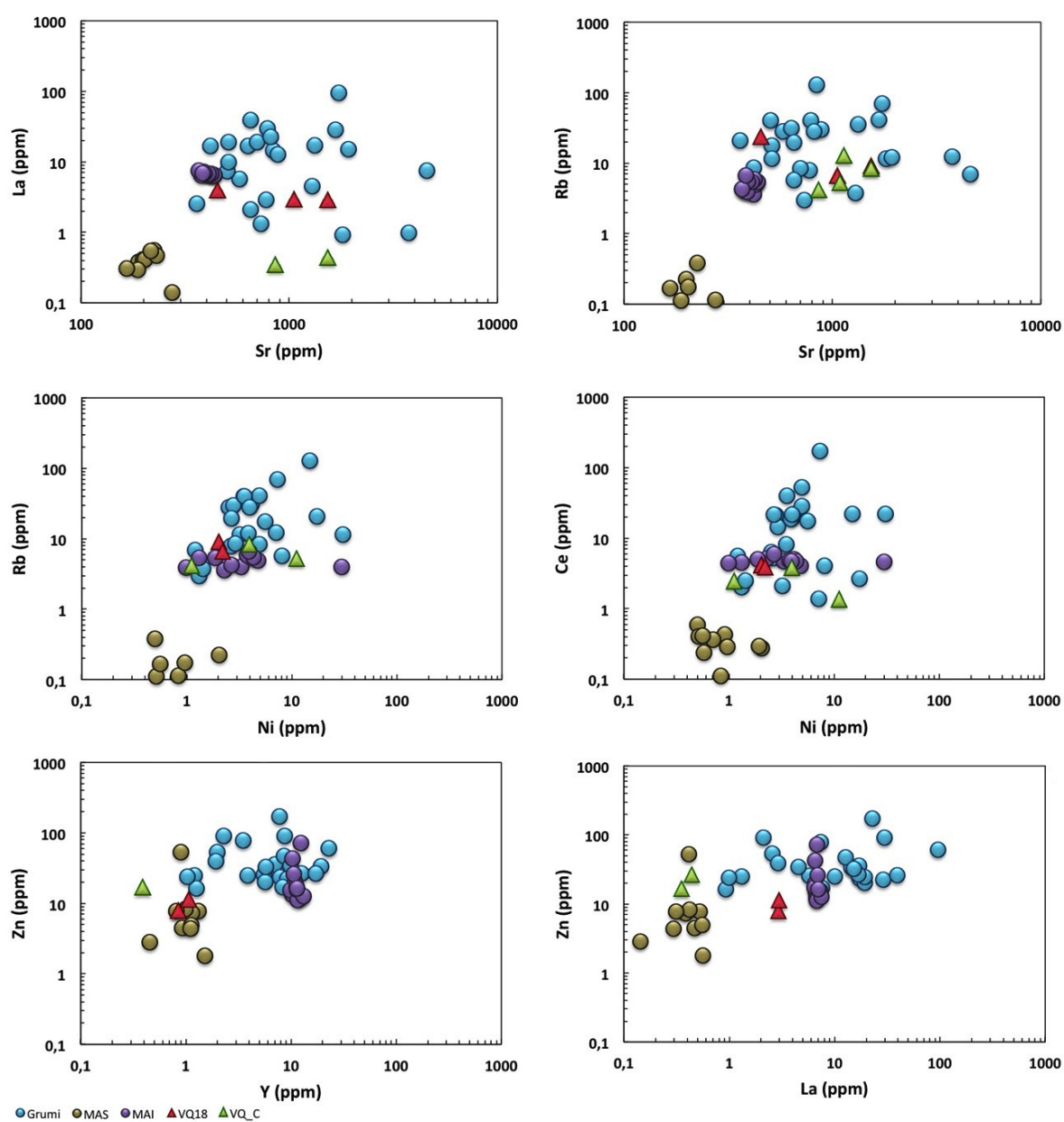


Figura 82. Diagrammi di variazione binaria riferiti alle concentrazioni degli elementi in tracce dei grumi di calce (Grumi), calcare *Massiccio* (MAS), calcare *Maiolica* (MAI) e campioni prelevati dalla fornace (VQ18 e VQ_C).

Per quanto concerne l'aggregato, lo studio in sezione sottile delle tre tipologie di pozzolana ha permesso di evidenziare che gran parte dei frammenti di vulcaniti e dei minerali presenti nelle malte analizzate potrebbe essere riconducibile a due tipologie di pozzolana, precisamente la *Pozzolanelle* e la *Pozzolana Nera*. In particolare, l'abbondante presenza di fenocristalli, generalmente di piccole dimensioni, costituiti da clinopirosseno e biotite in associazione con leucite è risultata essere una prerogativa delle *Pozzolanelle*. Abbondanti fenocristalli di leucite di grandi e piccole dimensioni, e subordinati clinopirosseno e biotite, caratterizzano invece la tipologia delle *Pozzolane Nere*. La scarsa abbondanza di fasi femiche associata alla presenza di fenocristalli di leucite di dimensioni ridotte hanno portato ad escludere l'utilizzo nelle malte della *Pozzolana Rossa*.

Osservando le caratteristiche micromorfologiche dei frammenti di aggregato pozzolanico presenti all'interno delle malte, è evidente una spiccata variabilità sia per quanto concerne le tessiture della pasta di fondo sia per le dimensioni e l'abbondanza dei vacuoli. Tali caratteristiche micromorfologiche sono state osservate anche nelle tre tipologie di pozzolana prelevate in cava. Ne consegue che, essendo le caratteristiche tessiturali della pasta di fondo e dei vacuoli, fortemente dipendenti dalla velocità di raffreddamento del deposito piroclastico, esse non possono essere considerate un efficace elemento discriminante.

Al fine di ricavare possibili elementi discriminanti per quanto concerne le tipologie di pozzolana utilizzate nel confezionamento delle malte, lo studio è stato approfondito ottenendo dati composizionali (di roccia totale e microanalitici) sia sull'aggregato vulcanico sia sulle pozzolane prelevate in cava. Le composizioni dell'aggregato vulcanico e quelle dei materiali campionati in cava sono state plottate in funzione dei campi composizionali delle tre tipologie di pozzolana dei Colli Albani derivanti da dati di letteratura (fig. 83; cf. Conticelli et al. 2010). Sebbene emerga una notevole sovrapposizione tra le composizioni delle tre tipologie di pozzolana, le *Pozzolane Rosse* ricadono tendenzialmente in settori meno evoluti del diagramma TAS, mentre le *Pozzolanelle* presentano le composizioni più differenziate; le *Pozzolane Nere* si dispongono in un campo intermedio tra questi due termini estremi. E' evidente come la maggior parte dei dati relativi ai frammenti di aggregato vulcanico rinvenuto nelle malte, ricada in una regione di forte sovrapposizione tra il campo delle *Pozzolane Nere* e delle *Pozzolanelle*, suggerendo il possibile utilizzo di queste due tipologie. Tali caratteristiche composizionali si accordano con l'ipotesi avanzata sulla base delle osservazioni petrografiche.

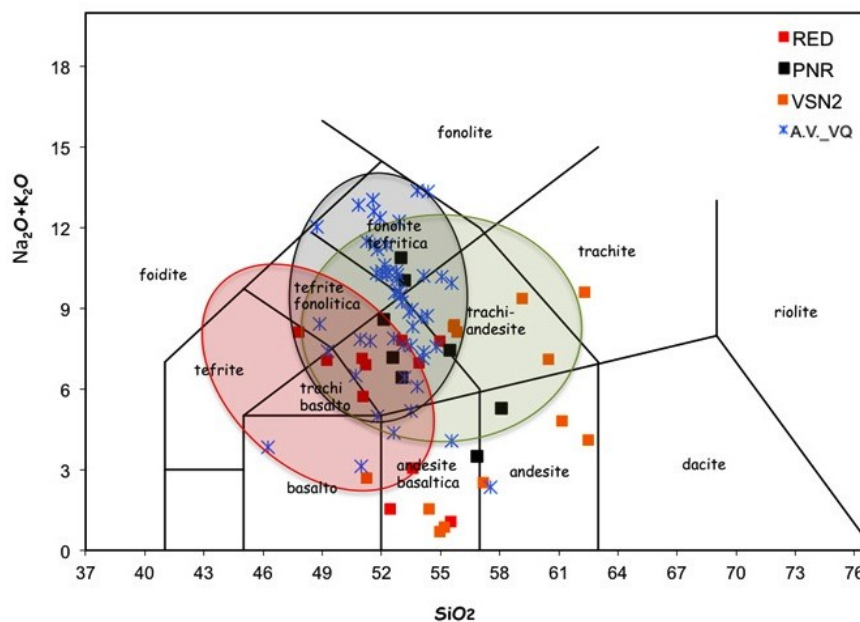


Figura 83. Diagramma TAS (Le Maitre 1989) in cui sono riportate le concentrazioni (wt%) dell'aggregato vulcanico delle malte (A.V._VQ), delle tre tipologie di pozzolana di cava, *Pozzolana Rossa* (RED), *Pozzolana Nera* (PNR), *Pozzolanelle* (VSN2). Le aree rappresentano i dati di letteratura riferiti alle *Pozzolane Rosse* (area rossa), *Pozzolane Nere* (area nera) e *Pozzolanelle* (area verde).

Le indagini microanalitiche mediante SEM-EDS si sono concentrate esclusivamente sui clinopiroseni rinvenuti nell'aggregato vulcanico delle malte e nelle pozzolane di cava. La composizione diopsidica dei pirosseni delle malte ricade in un range composizionale che ben si accorda quello delle tre tipologie di pozzolana. Il confronto effettuato su diagrammi binari in cui sono plottati i valori cationici derivanti dal ricalcolo della formula strutturale (fig. 84) ha evidenziato che i pirosseni delle *Pozzolane Nere* e *Pozzolanelle* definiscono un trend che si sovrappone con i pirosseni rinvenuti nell'aggregato vulcanico delle malte. Sebbene anche i clinopiroseni delle *Pozzolane Rosse* ricoprano un range composizionale relativamente simile a quello dei cristalli dell'aggregato, alcuni di essi presentano concentrazioni più elevate in Ti per bassi valori in Al. Alla luce di tali considerazioni ne deriva che la sola analisi degli elementi maggiori non è in grado di discriminare inequivocabilmente quale suite di pirosseni, tra quelle delle *Pozzolane Rosse*, *Pozzolane Nere* e *Pozzolanelle*, sia presente all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte.

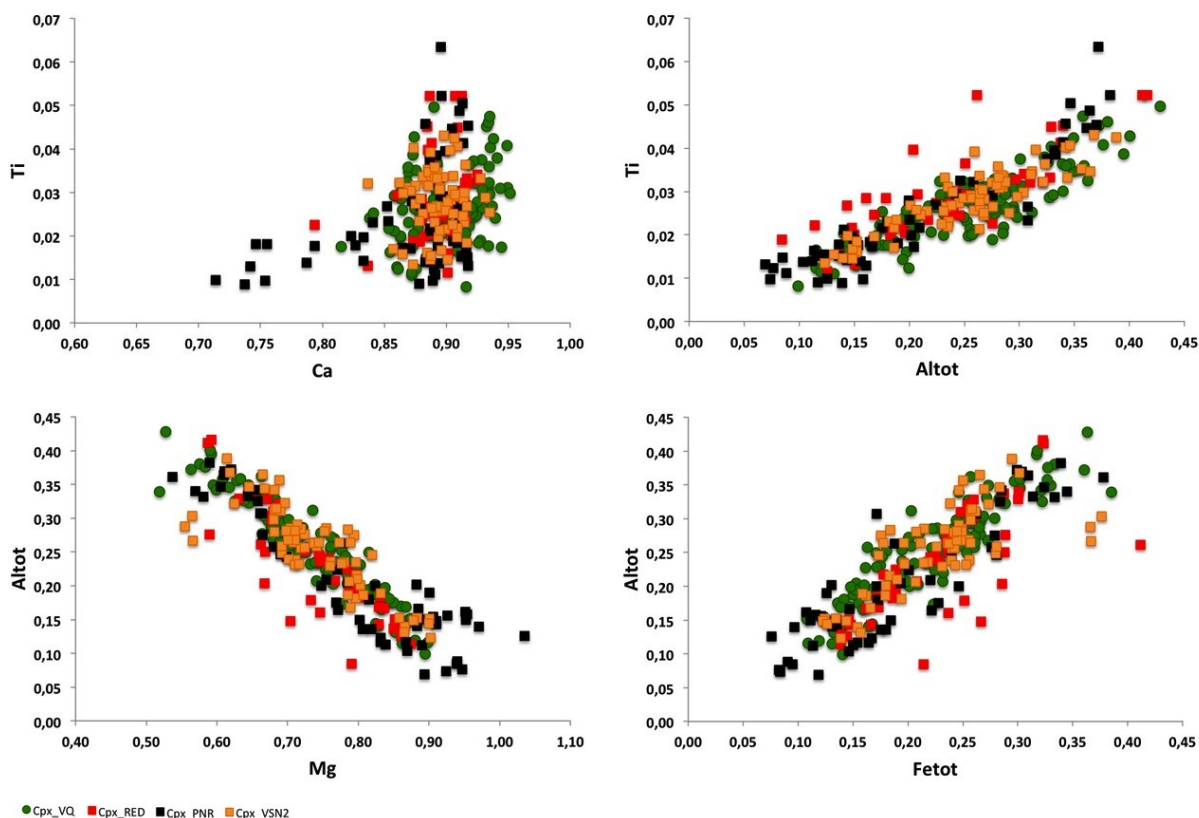


Figura 84. Variazioni dei valori cationici per gli elementi maggiori dei clinopirosseni presenti all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte (Cpx_VQ) e di quelli presenti nelle tre tipologie di pozzolana (Pozzolana Rossa: Cpx_RED; Pozzolana Nera: Cpx_PNR; Pozzolanelle: Cpx_VSN2).

Sulla base dei dati ottenuti tramite LA-ICP-MS è stato possibile verificare che i due trends osservati per le composizioni dei clinopirosseni presenti nelle pozzolane di cava (fig. 74 e 75) coprono con un buon grado di sovrapposizione il range composizionale dei clinopirosseni presenti all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte. Le variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce di tali clinopirosseni sono riportate nelle figure 85 e 86. Nel complesso, i cristalli delle *Pozzolanelle* meglio si accordano con l'intervallo di composizioni presentato da quello dell'aggregato. Si è osservato tuttavia che nessuna delle tre tipologie di pozzolana considerate è in grado di giustificare le composizioni ad alti valori di V per i clinopirosseni rinvenuti nell'aggregato. La variabilità degli elementi in tracce presentata dai clinopirosseni dell'aggregato vulcanico suggerisce che per il confezionamento delle malte siano state utilizzate più tipologie di pozzolana in quanto, il trend definito da una sola delle tre tipologie non giustificerebbe la dispersione delle concentrazioni delle REE. In particolare, l'andamento osservato per più bassi valori di REE nei clinopirosseni delle malte potrebbe essere attribuito alla presenza di cristalli delle *Pozzolane Nere*, mentre gli alti valori di REE potrebbero corrispondere a cristalli delle *Pozzolane Rosse* e/o *Pozzolanelle*. Tuttavia, il confronto tra tutti i dati disponibili ottenuti sull'aggregato vulcanico delle malte e le pozzolane considerate ha portato ad escludere l'utilizzo delle *Pozzolane Rosse* nel confezionamento delle malte. Risulta

pertanto confermata ulteriormente l'ipotesi che le tipologie di pozzolana presenti nelle malte romane della Villa dei Quintili corrispondano alle *Pozzolanelle* e *Pozzolane Nere*.

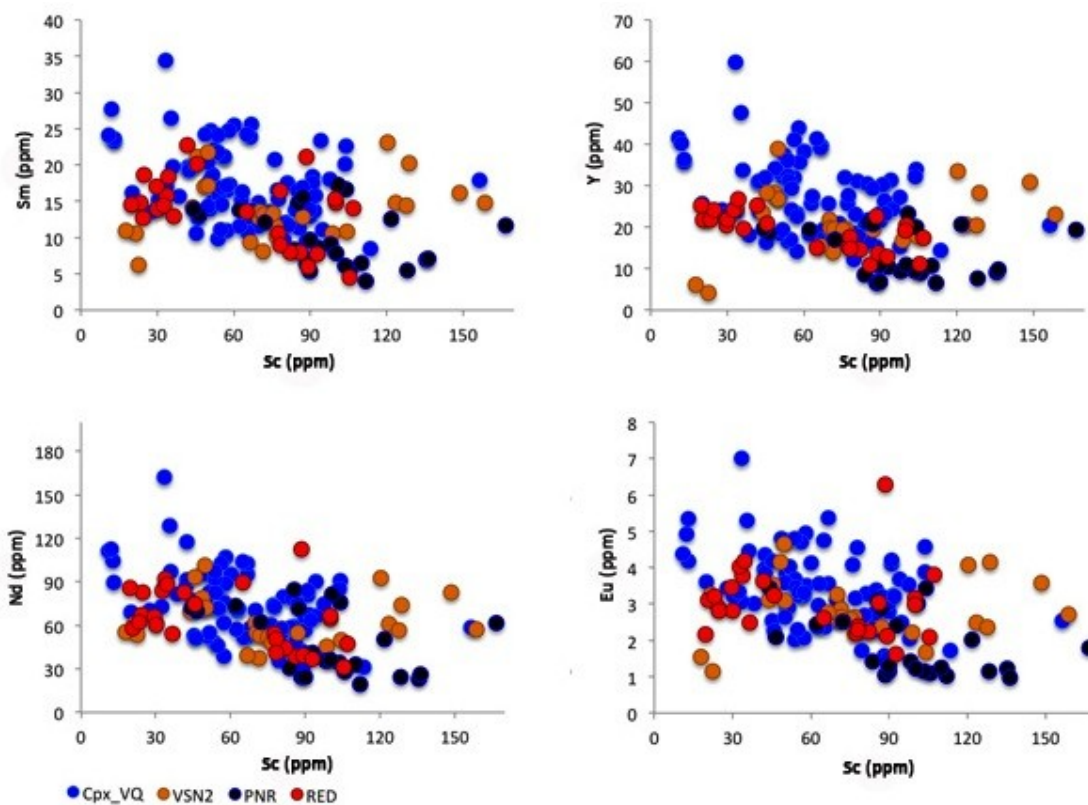


Figura 85. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce vs. Sc dei clinopirosseni presenti nell'aggregato pozzolanico delle malte (Cpx_VQ), nelle *Pozzolane Rosse* (RED), nelle *Pozzolane Nere* (PNR) e nelle *Pozzolanelle* (VSN2).

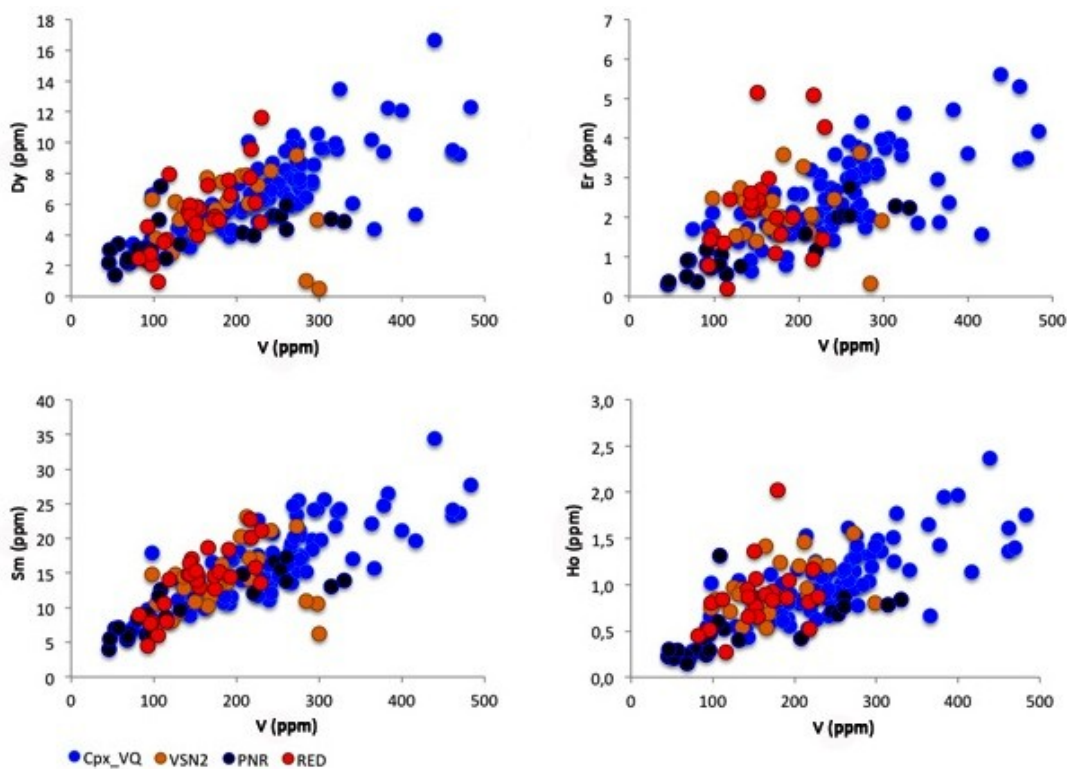


Figura 86. Variazioni delle concentrazioni degli elementi in tracce vs. V dei clinopirosseni presenti nell'aggregato pozzolanico delle malte (Cpx_VQ), nelle *Pozzolane Rosse* (RED), nelle *Pozzolane Nere* (PNR) e nelle *Pozzolanelle* (VSN2).

CONCLUSIONI

Lo studio effettuato sulle malte della Villa dei Quintili ha permesso di ottenere importanti informazioni relative alla caratterizzazione completa delle malte, con particolare riferimento sia alle tecniche di confezionamento sia alle aree di provenienza delle materie prime utilizzate. La villa, che appartenne nel corso dei secoli a diversi imperatori romani, risulta essere caratterizzata da diverse fasi edilizie. I risultati ottenuti mediante l'analisi petrografica hanno dimostrato che non vi è alcuna corrispondenza tra le differenti tipologie di malta e le ipotesi cronologiche avanzate dagli archeologi. In generale le malte sono costituite da un legante abbastanza compatto, dalla presenza di un aggregato di natura vulcanica, e da un rapporto legante/aggregato estremamente variabile anche nell'ambito della stessa tipologia. Dai risultati ottenuti e considerando inoltre che l'arco temporale delle quattro fasi costruttive risulta essere alquanto ristretto (circa un secolo), è verosimile ipotizzare che nel periodo cronologico considerato non vi sia stata alcuna variazione nelle tecniche di confezionamento delle malte.

La caratterizzazione delle malte ha previsto uno studio più approfondito dei due componenti principali, il legante e l'aggregato. Per quanto concerne il legante, sia le analisi mineralogiche mediante diffrazione a raggi x sia quelle chimiche mediante SEM-EDS effettuate sui numerosi grumi di calce presenti nei campioni esaminati hanno permesso di definire la calce utilizzata per il confezionamento delle malte come una calce di tipo aereo. In aggiunta, i bassi valori dell'indice di idraulicità (HI) riscontrati nei grumi, nonché il notevole incremento di tale indice nel legante, suggeriscono che l'idraulicità delle malte esaminate è stata ottenuta mediante aggiunta di materiale idraulizzante (pozzolana e cocchiopesto). A supporto di tale risultato sono state effettuate analisi micromorfologiche (SEM) ad alti ingrandimenti sul legante e profili composizionali (SEM-EDS) negli orli di reazione pozzolana-legante. In entrambi i casi è stato possibile verificare la presenza di fasi idrauliche di neoformazione (CSH e CAH) formatesi dalla reazione della calce con gli ossidi della pozzolana e/o del cocchiopesto.

Al fine di determinare le eventuali differenze nel calcare utilizzato nel confezionamento delle malte è stato effettuato uno studio più approfondito sui grumi di calce presenti in grande quantità nei campioni oggetto di questo studio. Dall'analisi degli elementi maggiori effettuata mediante SEM-EDS non sono emerse differenze significative tra le composizioni dei grumi di calce. Pertanto sui medesimi grumi è stata determinata la concentrazione degli elementi in tracce mediante analisi LA-ICP-MS, la quale ha messo in evidenza un'ampia variabilità per gli elementi considerati. Per comprendere dunque se l'origine di tale variabilità sia da attribuire ad un'eterogeneità composizionale del calcare originario o all'utilizzo di più tipologie di calcare con

caratteristiche composizionali differenti, sono state studiate due tipologie di calcari provenienti dai Monti Cornicolani (calcare *Massiccio* e *Maiolica*). Dall'analisi degli elementi maggiori effettuata mediante SEM-EDS è risultata evidente un'ottima corrispondenza delle composizioni dei grumi di calce con quelle del calcare appartenente alla formazione *Maiolica*. Tale corrispondenza è stata confermata anche dall'analisi degli elementi in tracce effettuata mediante LA-ICP-MS la quale convalida l'ipotesi che il calcare utilizzato nel confezionamento delle malte della villa è il calcare appartenente alla formazione della *Maiolica*. L'ampia variabilità composizionale dei grumi di calce evidenziata in precedenza potrebbe quindi essere attribuita a eterogeneità composizionali intrinseche al calcare stesso, piuttosto che all'utilizzo di più tipologie di materie prime. Per quanto concerne i due frammenti di calce prelevati dalla calcara della villa, essi presentano una buona corrispondenza con i grumi di calce sia in termini di concentrazioni di elementi maggiori sia in tracce. Nonostante i materiali analizzati siano riferibili a periodi storici differenti, si può ipotizzare che il calcare originario utilizzato per ottenere le calce prelevate nella calcara sia lo stesso di quello impiegato per produrre la calce per il confezionamento delle malte della villa.

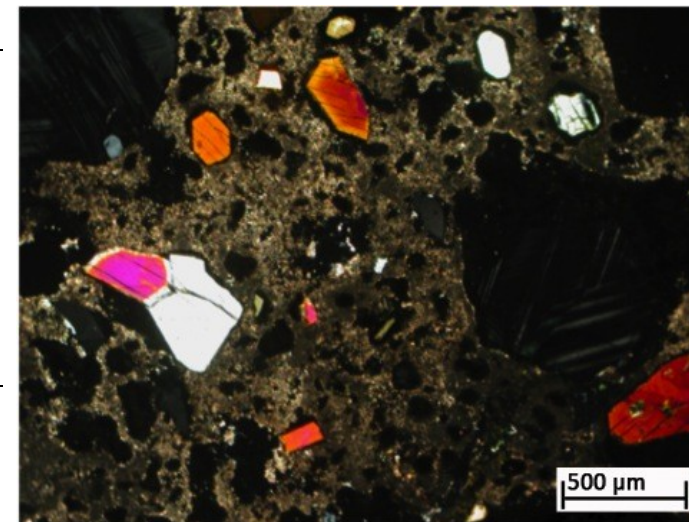
Al fine di determinare, inoltre, quale tipologia di pozzolana sia stata utilizzata è stato effettuato uno studio approfondito sull'aggregato vulcanico delle malte e su tre tipologie di pozzolana provenienti dai Colli Albani (*Pozzolana Nera*, *Pozzolana Rossa* e *Pozzolanelle*). Da una prima analisi petrografica è emerso che gran parte dei frammenti di vulcaniti e dei minerali presenti come aggregato può essere riconducibile a due tipologie di pozzolana, precisamente la *Pozzolanelle* e la *Pozzolana Nera*. Tale corrispondenza non emerge invece dall'analisi micromorfologica effettuata mediante microscopia elettronica a scansione. Le caratteristiche micromorfologiche, infatti, non possono essere considerate un efficace elemento discriminante a causa della spiccata variabilità sia per quanto concerne le tessiture della pasta di fondo sia per le dimensioni e l'abbondanza dei vacuoli. Le caratteristiche composizionali ottenute mediante SEM-EDS si accordano bene con l'ipotesi avanzata sulla base delle osservazioni petrografiche. Le composizioni riferite agli elementi maggiori dell'aggregato vulcanico rinvenuto nelle malte trovano infatti una buona corrispondenza con quelle delle *Pozzolane Nere* e delle *Pozzolanelle*, suggerendone il loro possibile utilizzo. Ad ulteriore conferma è stato effettuato uno studio sui cristalli di clinopirosseno rinvenuti nell'aggregato vulcanico delle malte e nelle pozzolane di cava. La composizione diopsidica dei pirosseni delle malte ricade in un intervallo composizionale che ben si accorda con quello delle tre tipologie di pozzolana; tuttavia la sola analisi degli elementi maggiori non è in grado di discriminare inequivocabilmente quale suite di pirosseni, tra quelle delle *Pozzolane Rosse*, *Pozzolane Nere* e *Pozzolanelle*, sia presente all'interno dell'aggregato vulcanico delle malte. Per tale ragione è stato effettuato uno studio mediante LA-ICP-MS sugli elementi in tracce dei medesimi clinopirosseni. I risultati di tale analisi sembrano convalidare le

ipotesi avanzate precedentemente. In particolare, la variabilità degli elementi in tracce presentata dai clinopiroseni dell'aggregato vulcanico suggerisce che per il confezionamento delle malte della villa siano state utilizzate più tipologie di pozzolana. Il confronto di tutti i dati ottenuti ha portato ad escludere l'utilizzo delle *Pozzolane Rosse* come aggregato nelle malte studiate. Risulta pertanto confermata ulteriormente l'ipotesi che le tipologie di pozzolana presenti nelle malte romane della Villa dei Quintili corrispondano alle *Pozzolanelle* e *Pozzolane Nere*.

APPENDICI

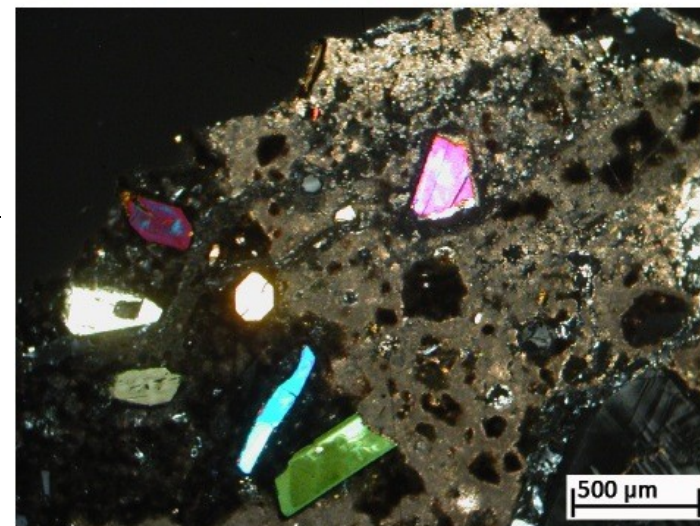
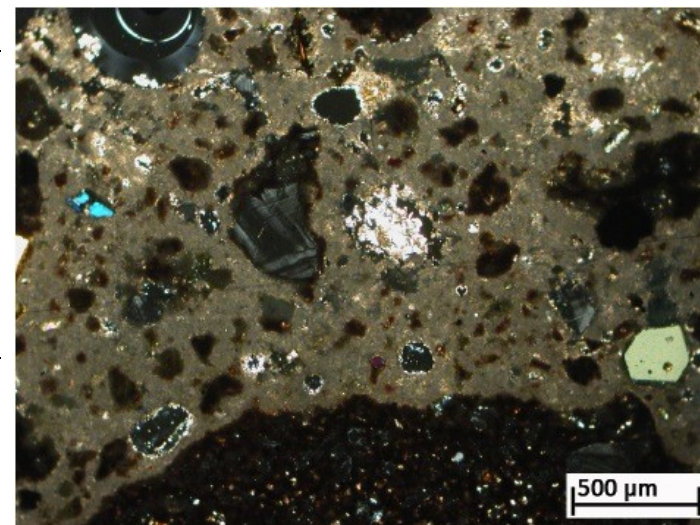
VQ1 TIPOLOGIA:

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro, un bordo della sezione presenta un colore più chiaro (beige)
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti, alcuni quasi completamente dissolti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da spigolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60



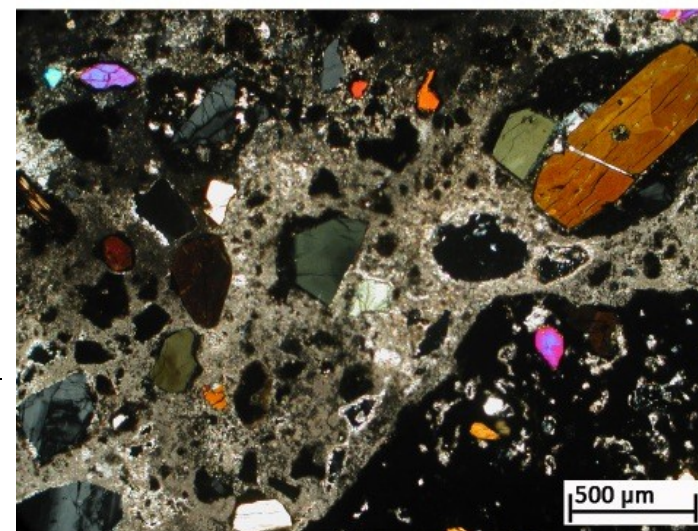
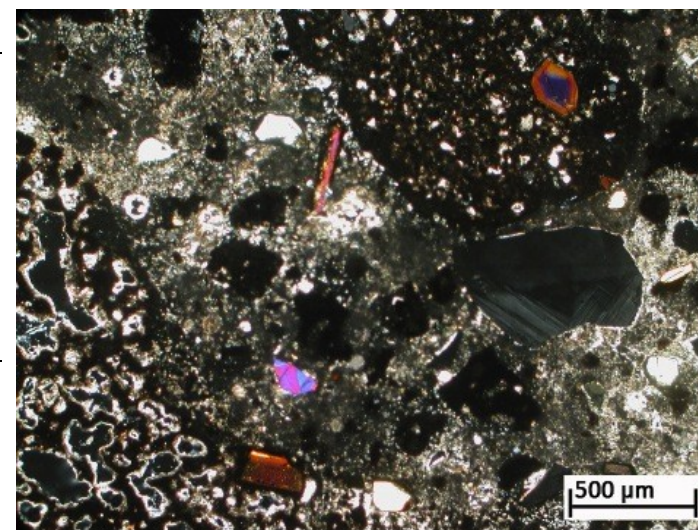
VQ2 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti nel legante
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da spigolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	30-35%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60



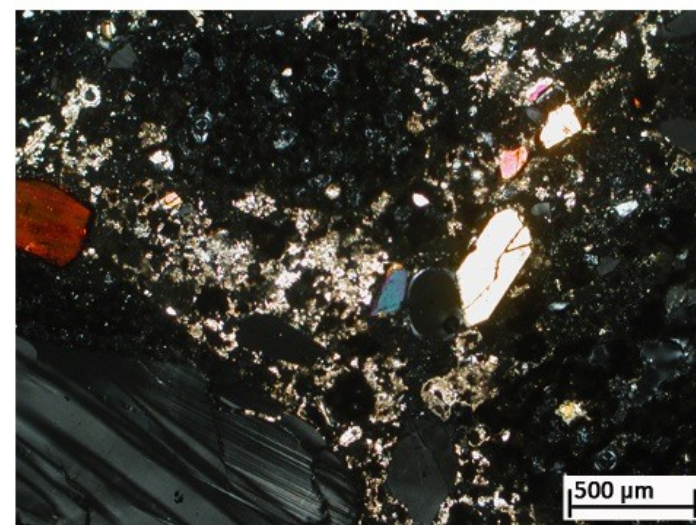
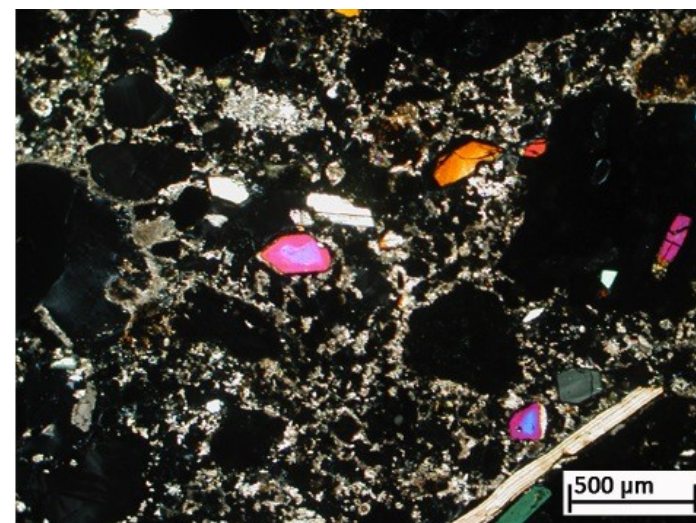
VQ10 TIPOLOGIA A:

LEGANTE	COLORE	Da grigio scuro a grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	No
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di rocce vulcaniche effusive caratterizzate da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari
FORMA		Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		20/80%



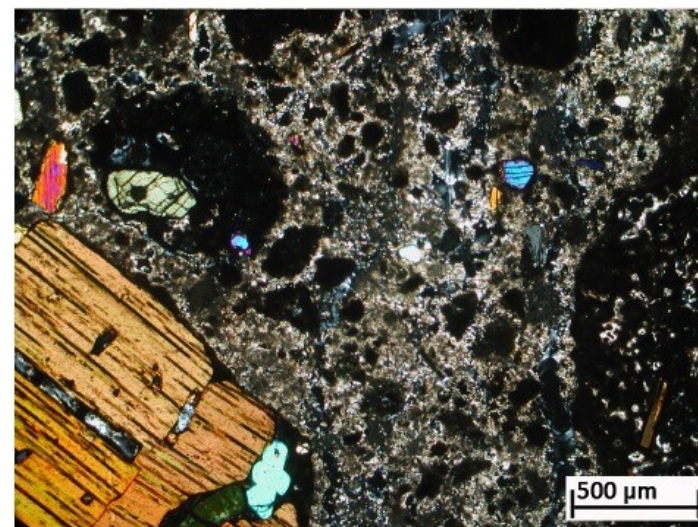
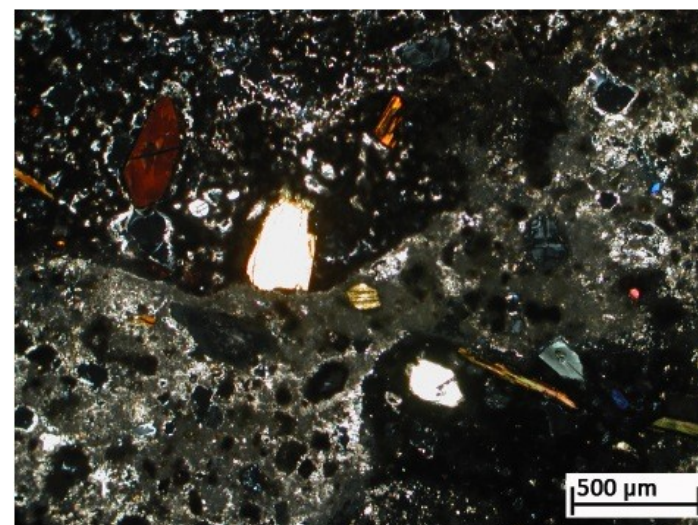
VQ12 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Da micritica a microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	No
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		20/80%



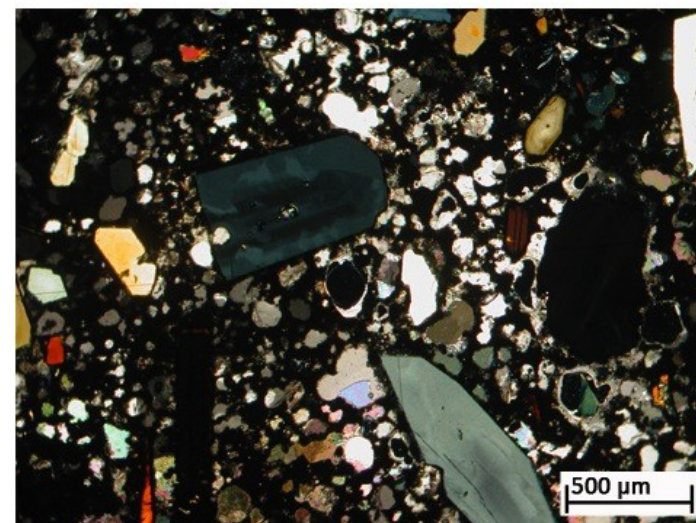
VQ16 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	No
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Generalmente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		20/80%



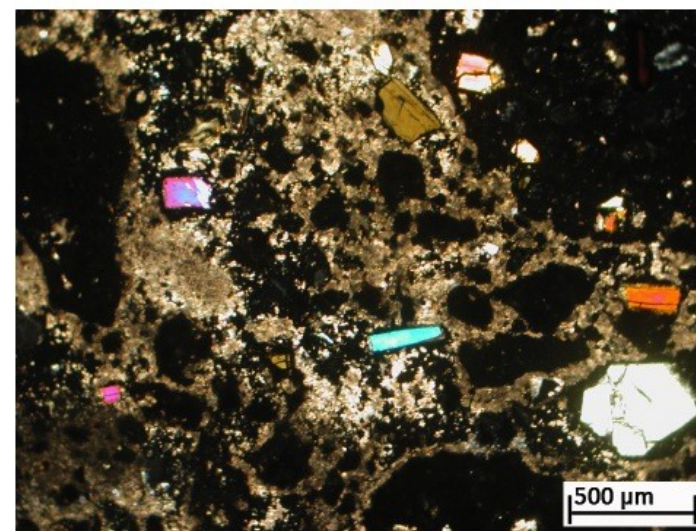
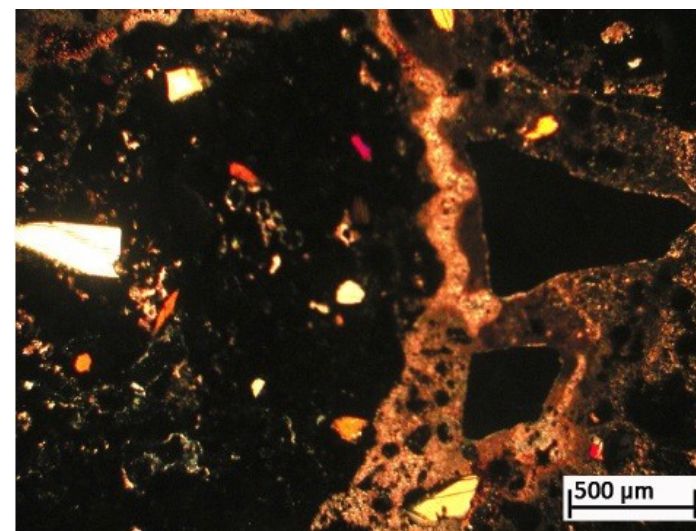
VQ21 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da spigolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		35/65%



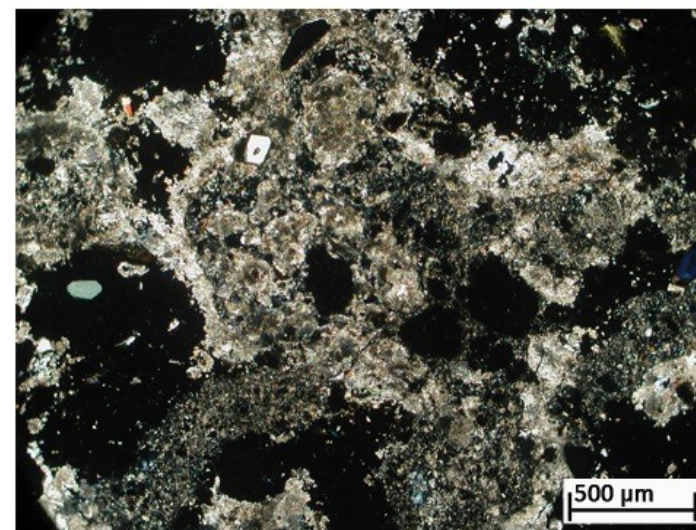
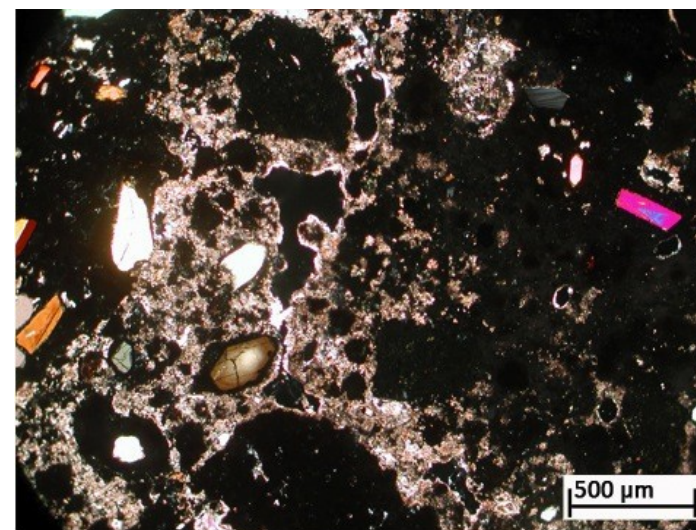
VQ22 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da spigolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



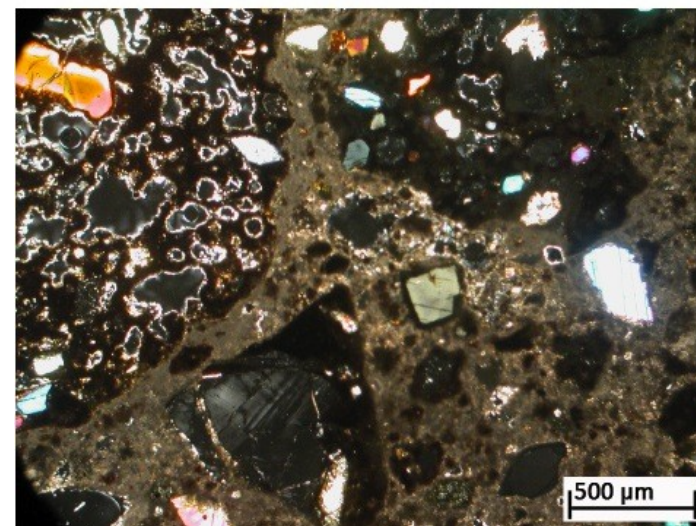
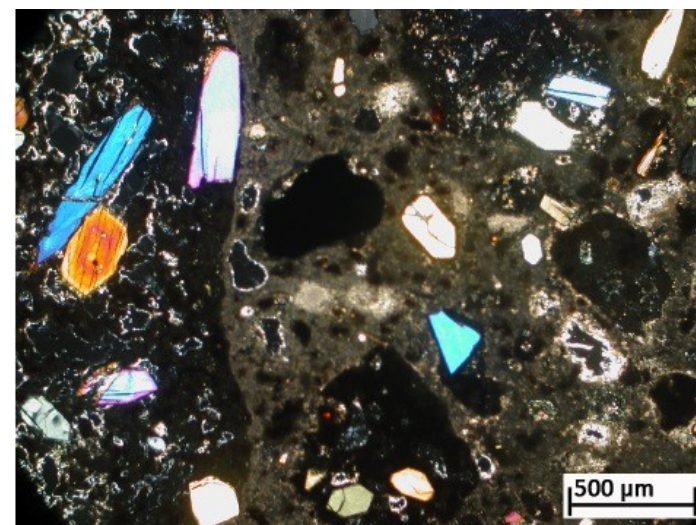
VQ32 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da spigolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	35-40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



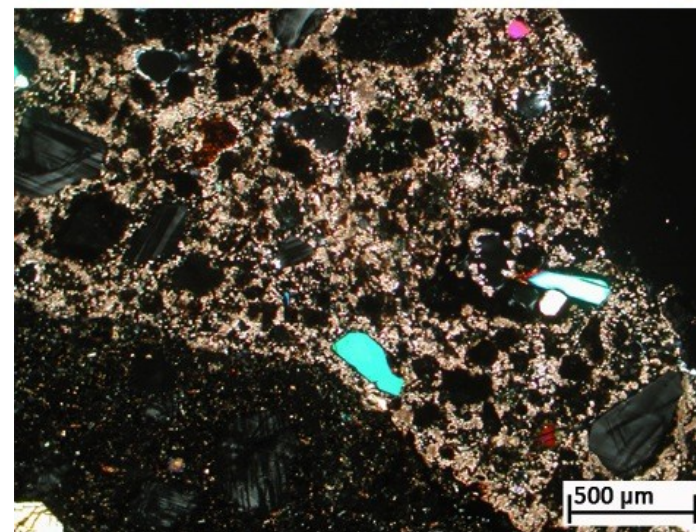
VQ40 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Notevoli
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Generalmente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 35%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



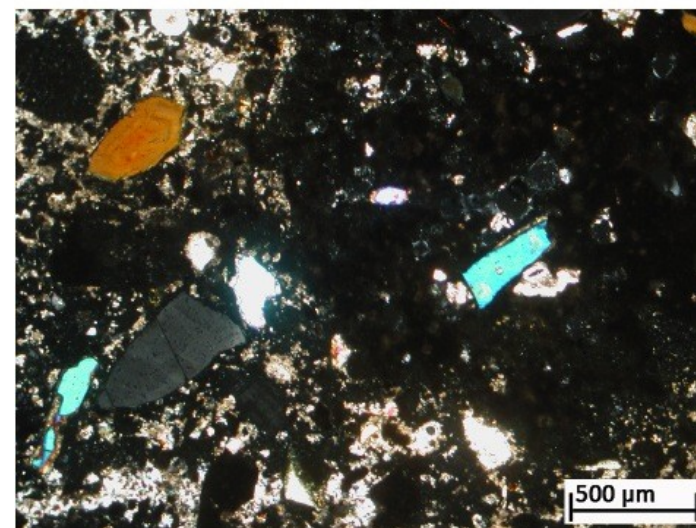
VQ41 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a beige
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Generalmente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Pori primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



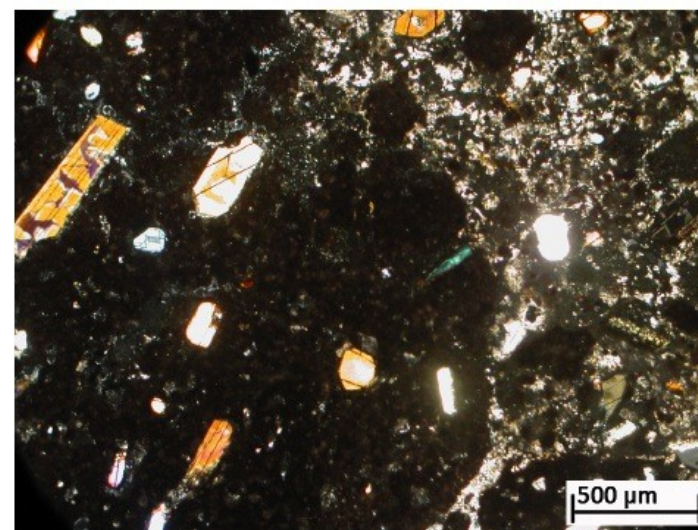
VQ42 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da bruno chiaro a beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 35%
	TIPOLOGIA DI PORI	Molti pori primari e secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



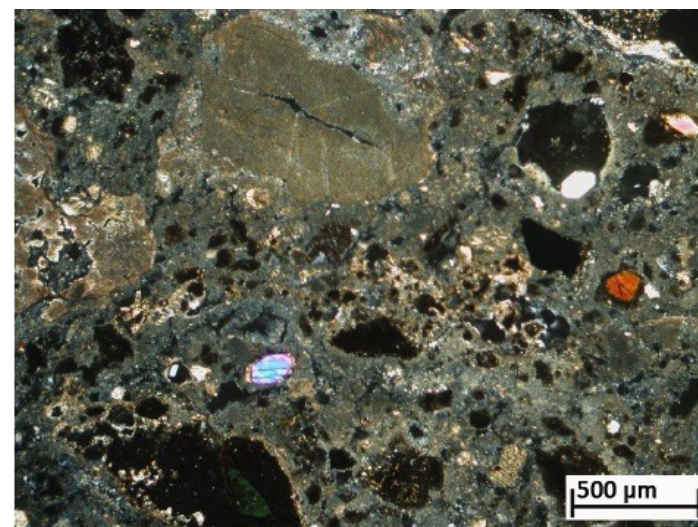
VQ43 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Molti pori primari ma anche secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



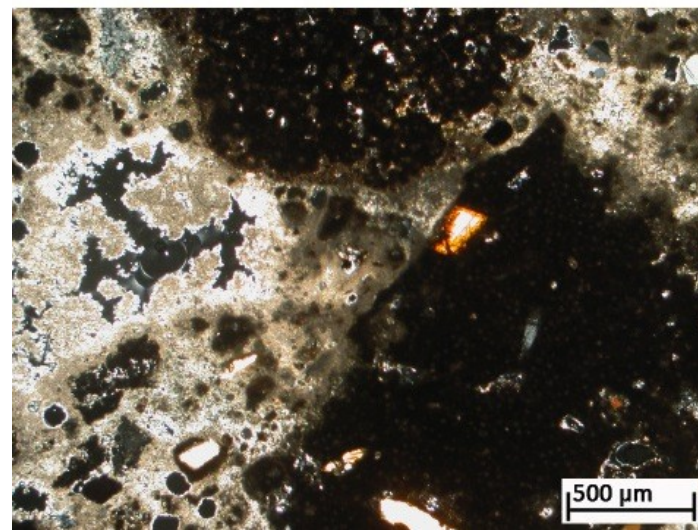
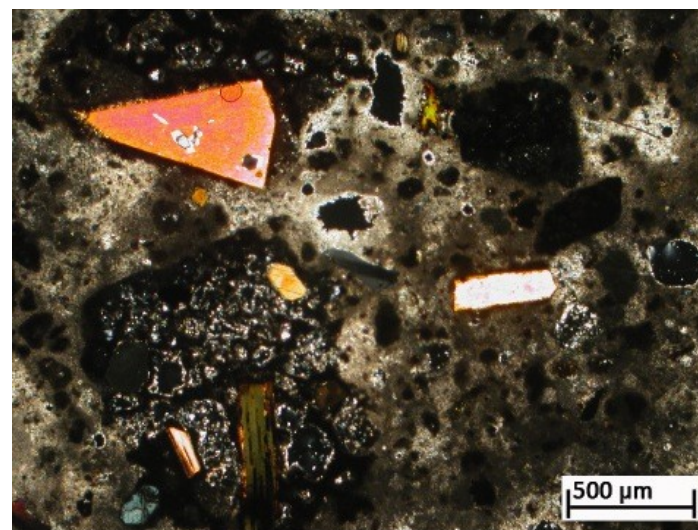
VQ44 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Bruno chiaro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Notevoli
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Generalmente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



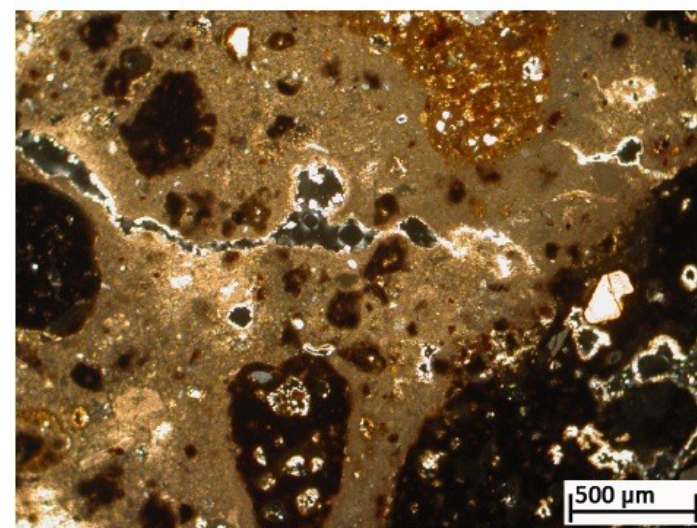
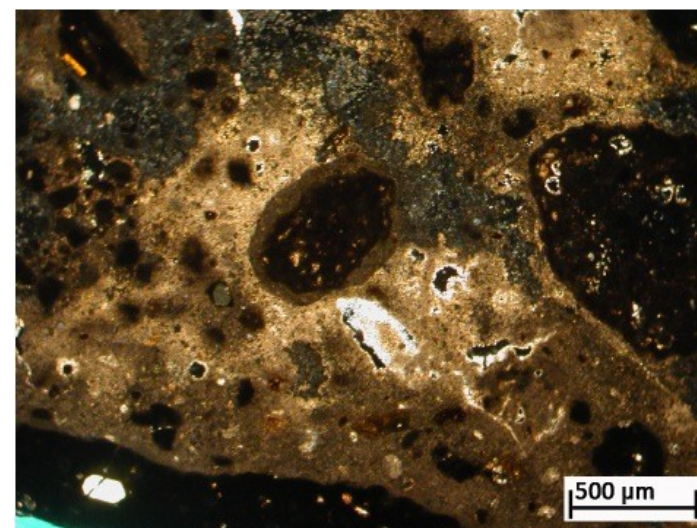
VQ46 TIPOLOGIA: A

LEGANTE	COLORE	Da grigio scuro a beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microsparita
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Generalmente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso (bimodale)
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 35%
	TIPOLOGIA DI PORI	Molti pori primari ma anche secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



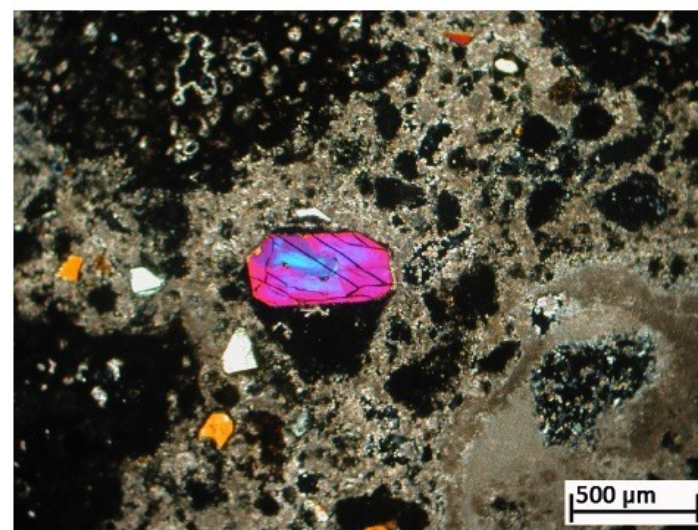
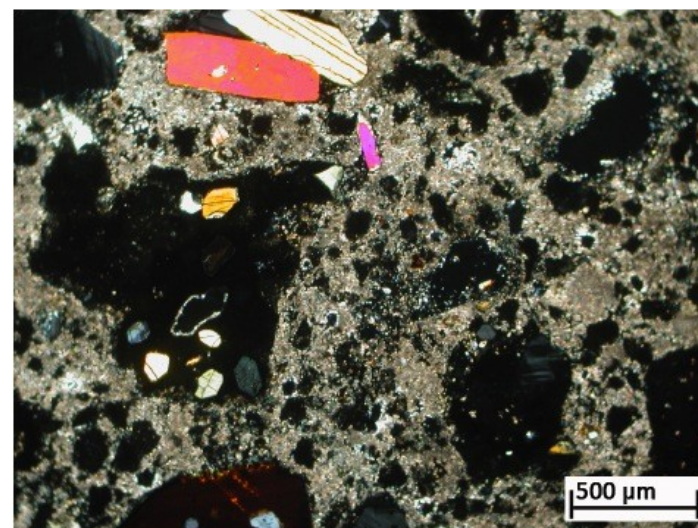
VQ3 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro eccetto alcune porzioni in cui il colore tende al beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti nelle fratture e nei grumi
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Notevoli
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt) Un frammento di marmo
	FORMA DEI GRANULI	Sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



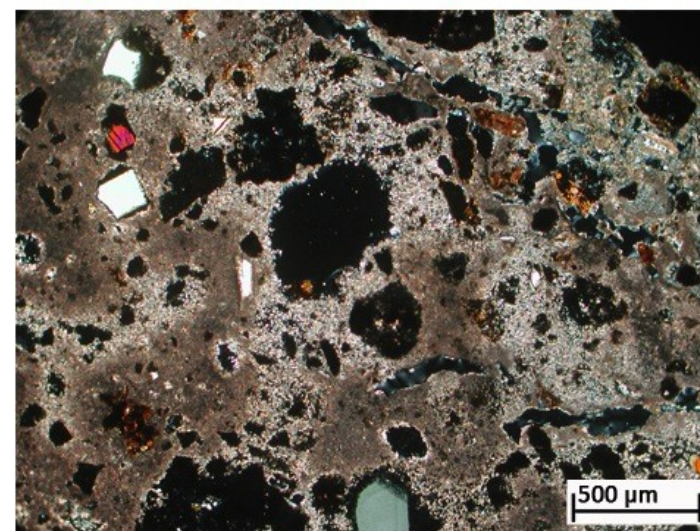
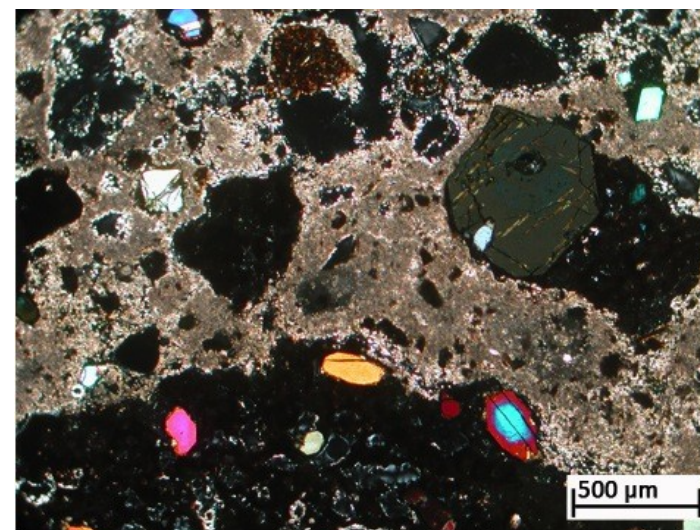
VQ6 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Dal grigio chiaro al grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Molto variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		25/75%



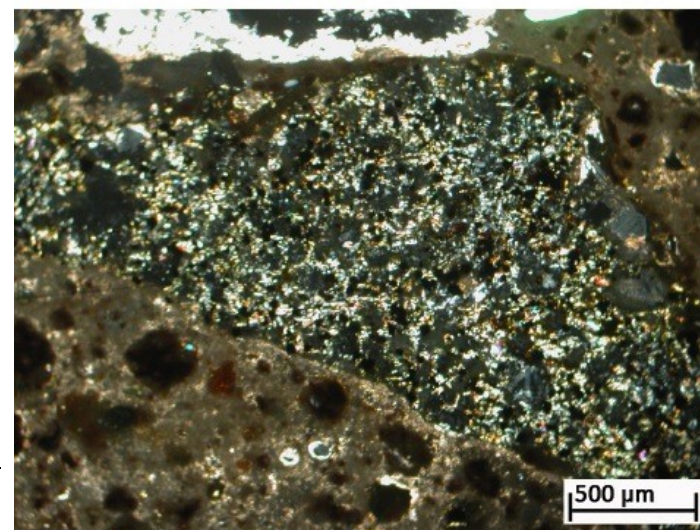
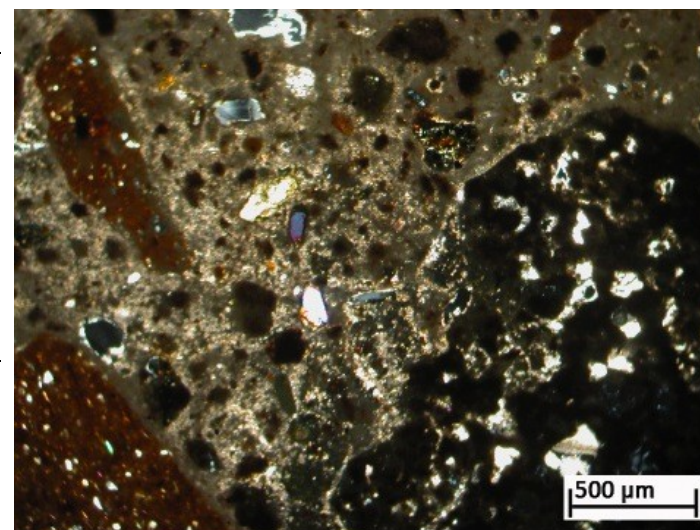
VQ7 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio chiaro a beige
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		I pori primari hanno forma sferica, mentre è irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



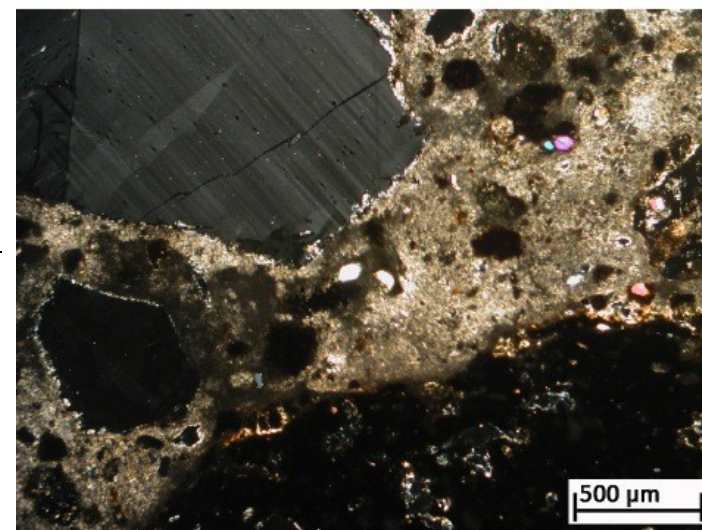
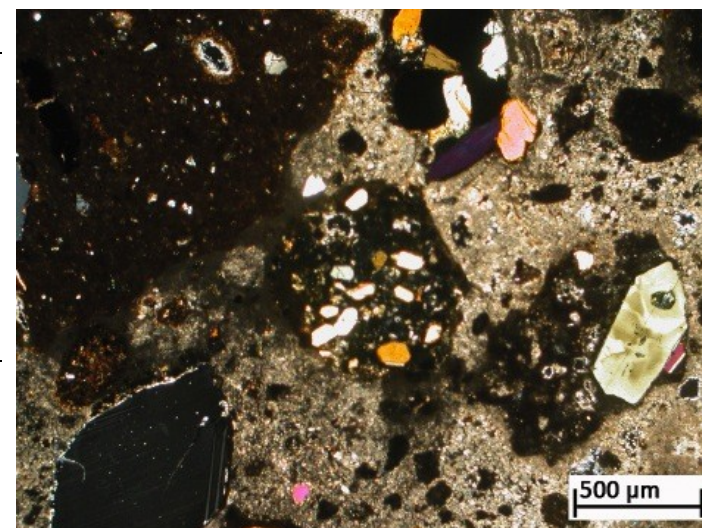
VQ8 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigiastro, in alcune porzioni tende al beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Scarse
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	No
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm), frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo vetrosa e grossi fenoscristalli di leucite. Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di Lct e Cpx
	FORMA DEI GRANULI	Leggermente allungati i frammenti di cocchiopesto, da angolosa a sub-arrotondata quelli di vulcaniti
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



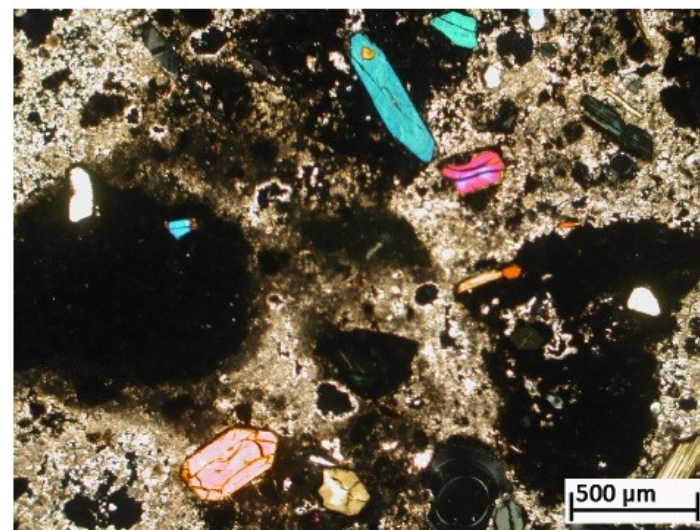
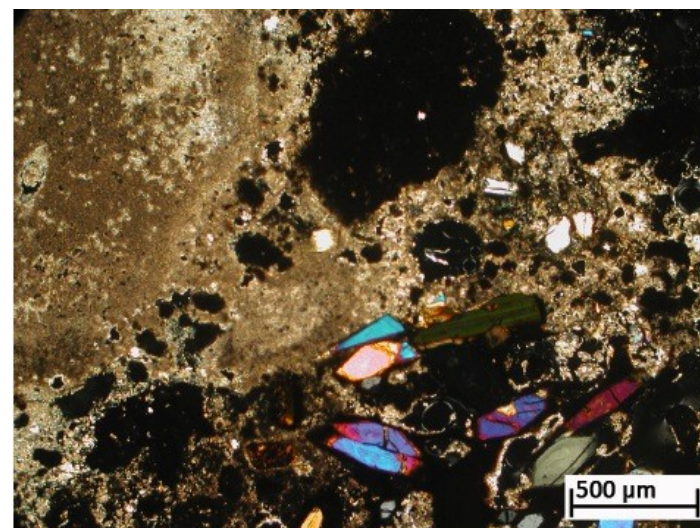
VQ11 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigiastro, in alcune porzioni tende al beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
POROSITÀ	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	I pori primari hanno forma sferica, mentre è irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



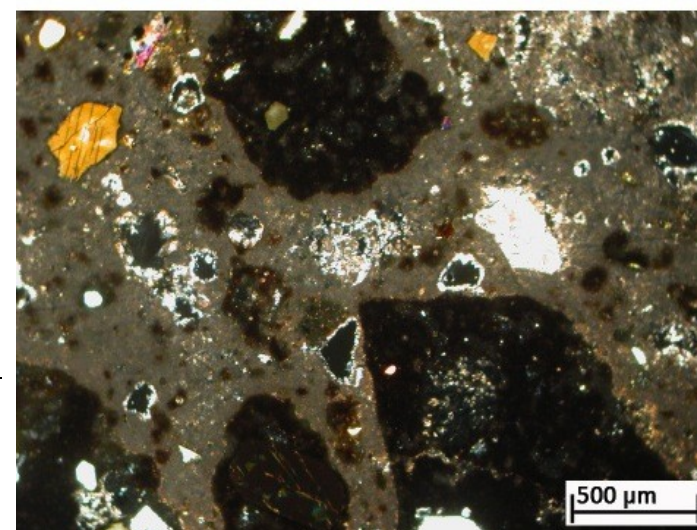
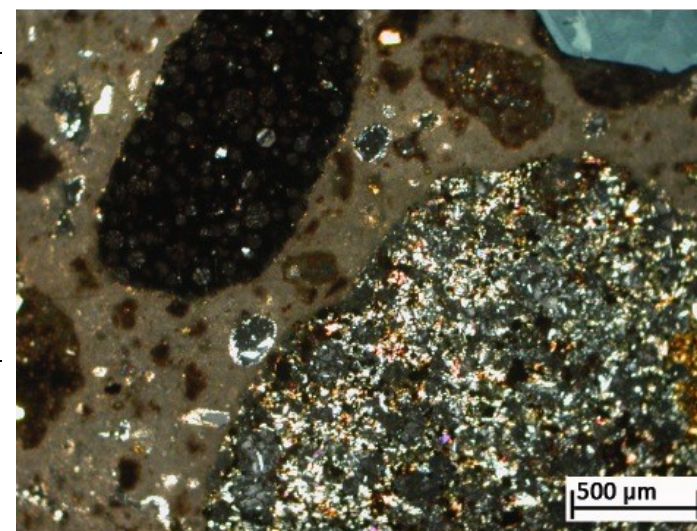
VQ13 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Dal grigio chiaro al grigio scuro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Irregolare, alcuni leggermente sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		25/75%



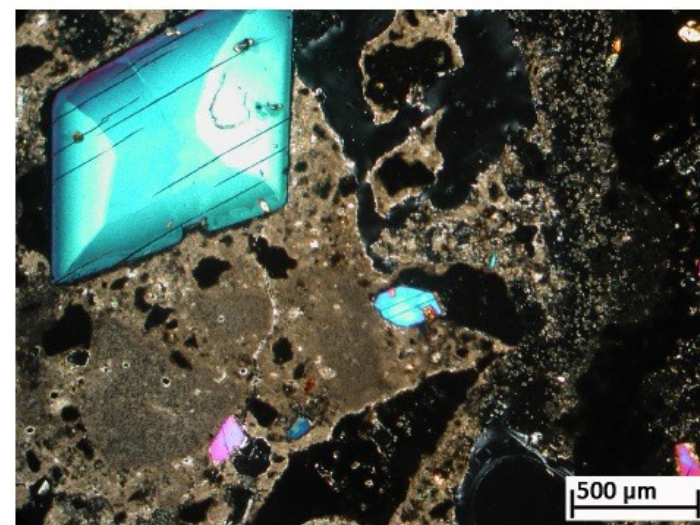
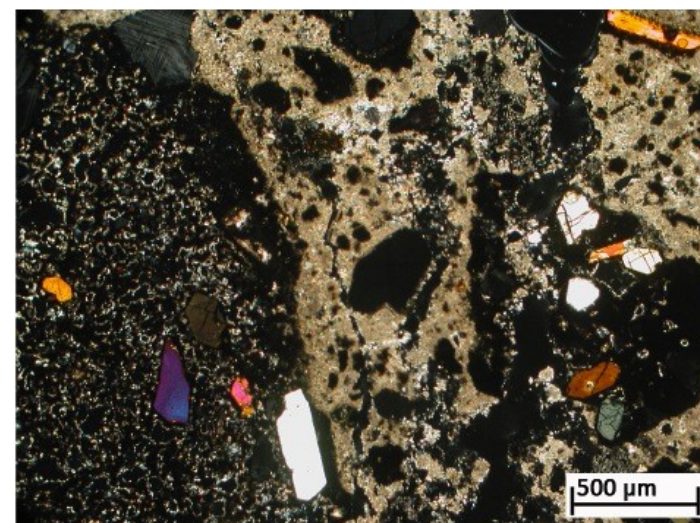
VQ14 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		I pori primari hanno forma sferica, mentre è irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



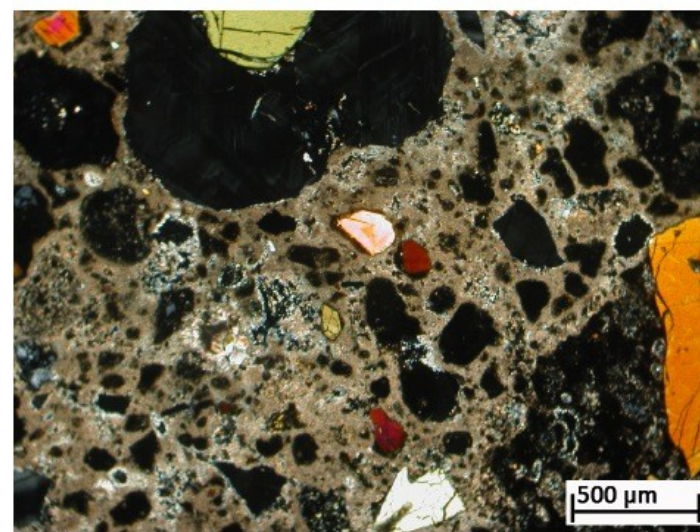
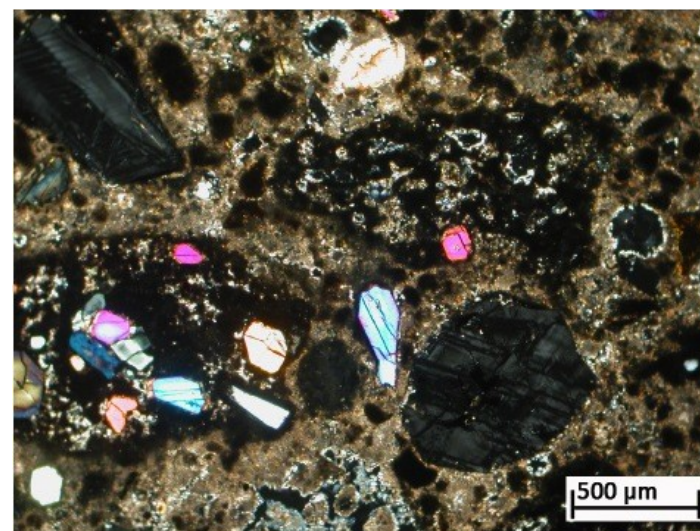
VQ15 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio-bruno
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di marmo e diversi di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		I pori primari hanno forma sferica, mentre è irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



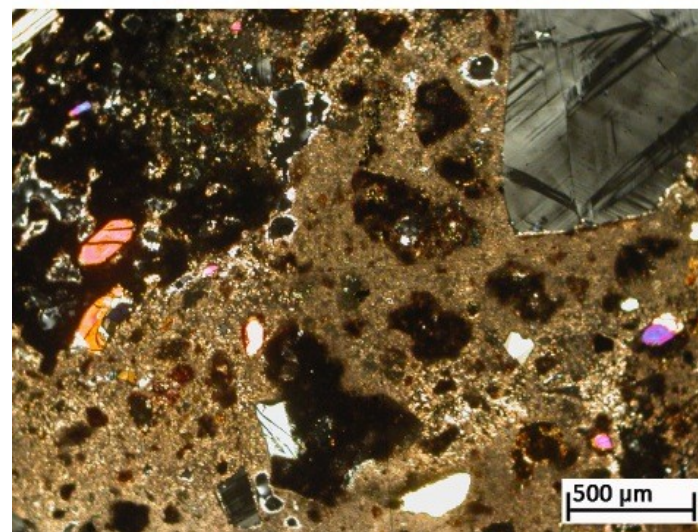
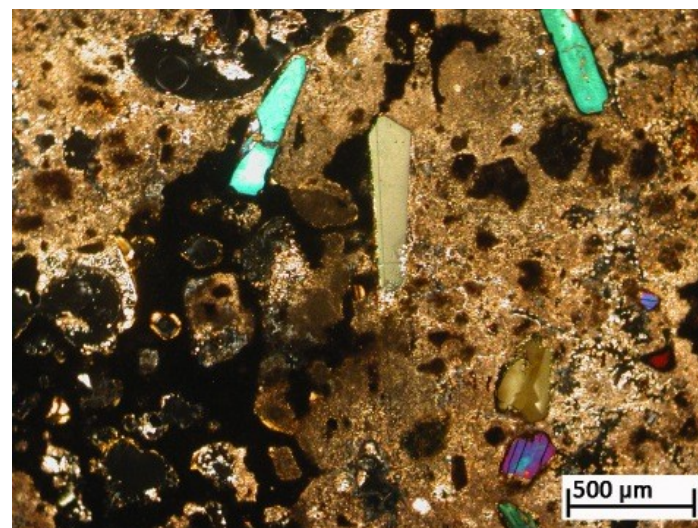
VQ20 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Bruno-grigiastro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Notevoli
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Diversi frammenti di marmo e roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	
	PERCENTUALE TOTALE	20-30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	I pori primari hanno forma sferica, mentre è irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



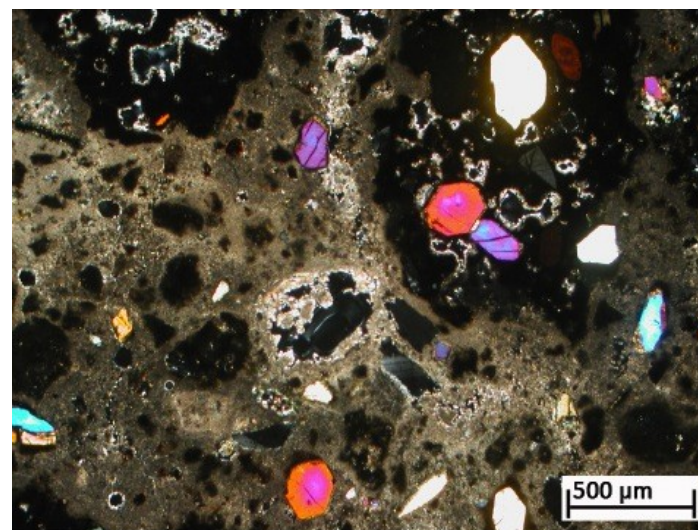
VQ23 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



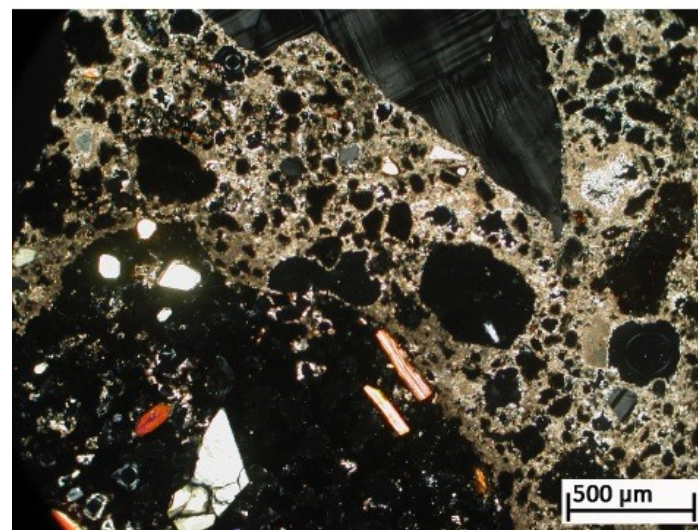
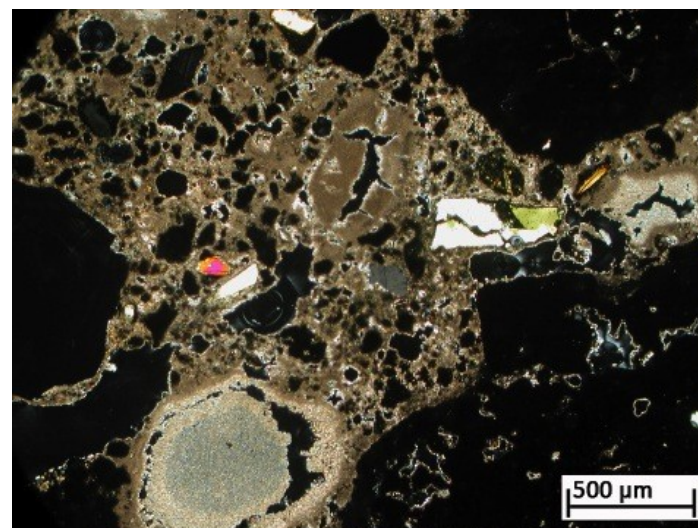
VQ24 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio-beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Frammenti di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	In prevalenza sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



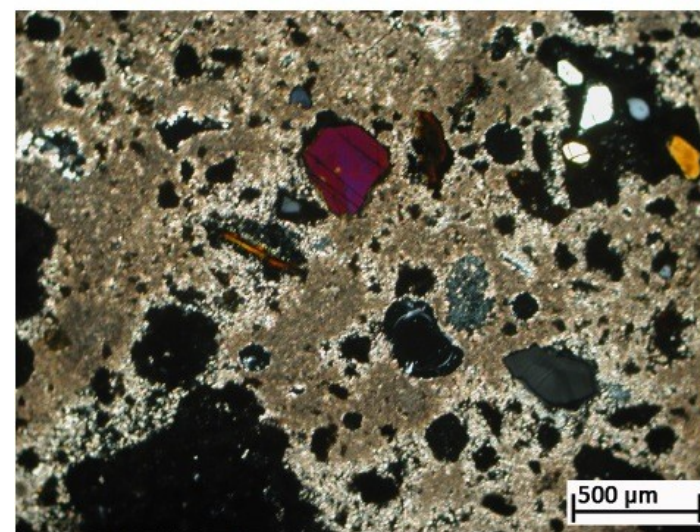
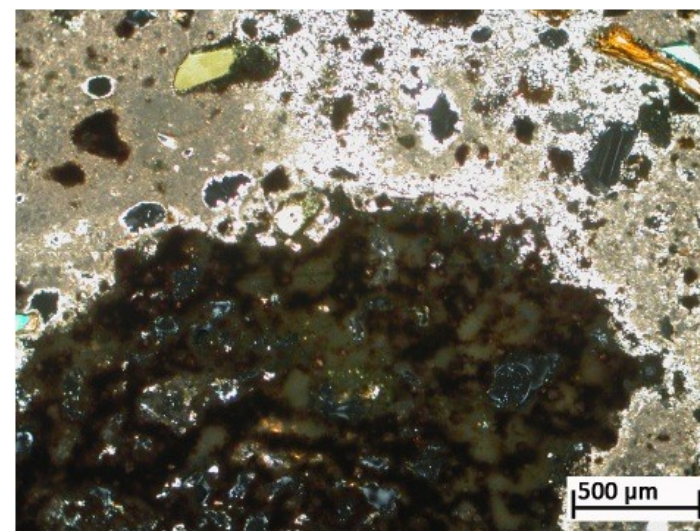
VQ30 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Da bruno a grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Notevoli
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	In prevalenza sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	35-40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



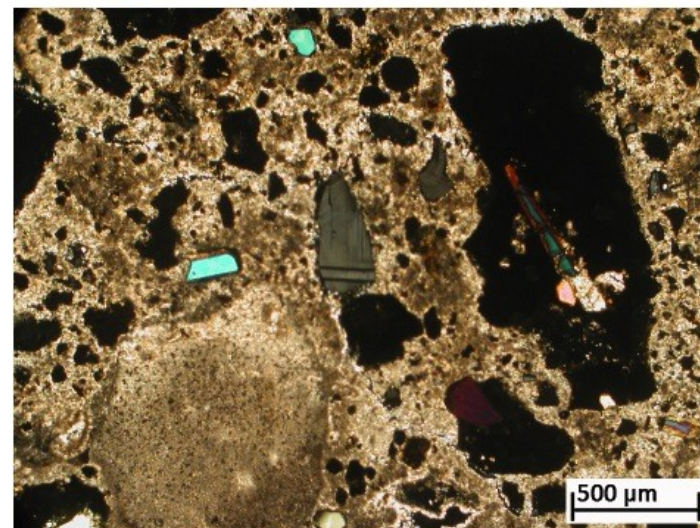
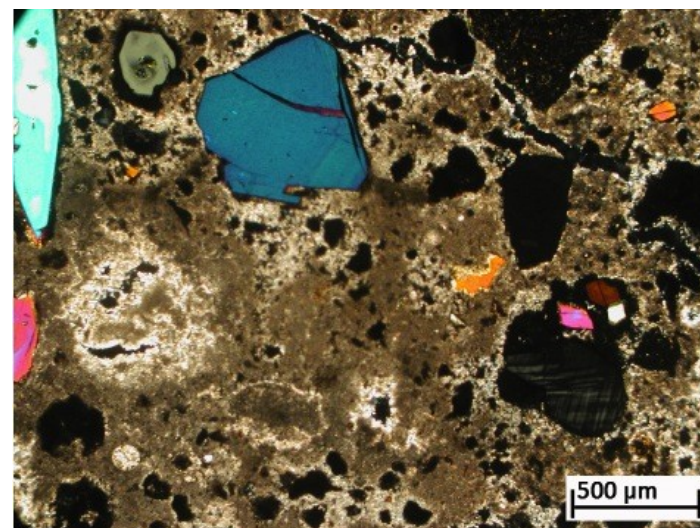
VQ31 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	In prevalenza sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	35-40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		45/55%



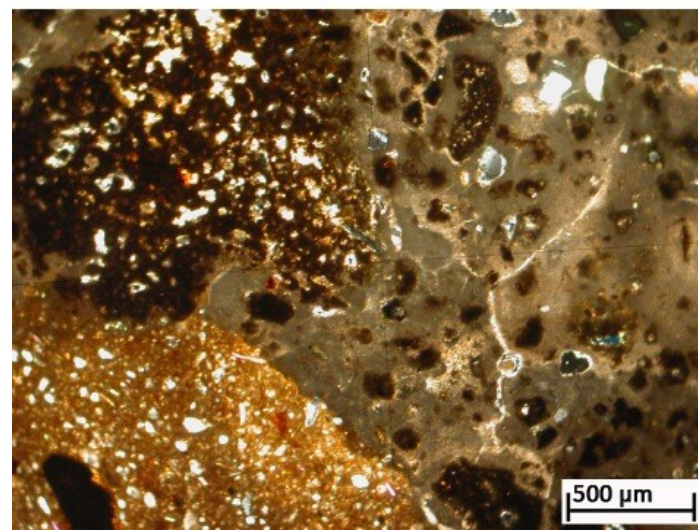
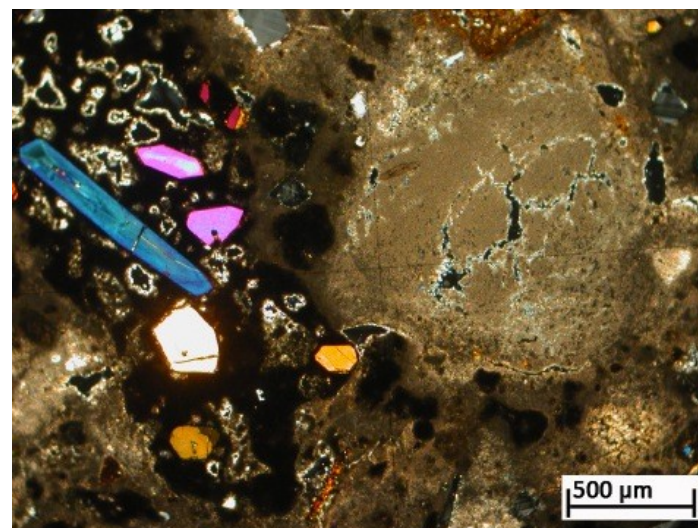
VQ33 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Notevoli
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite (alcuni di grandi dimensioni). Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	35-40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



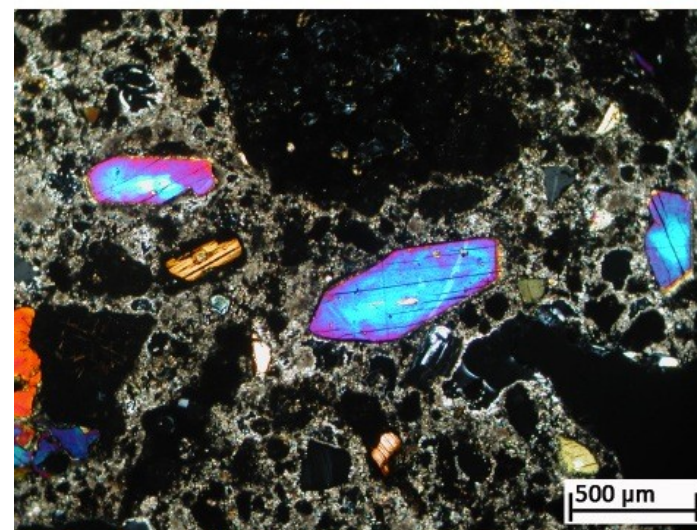
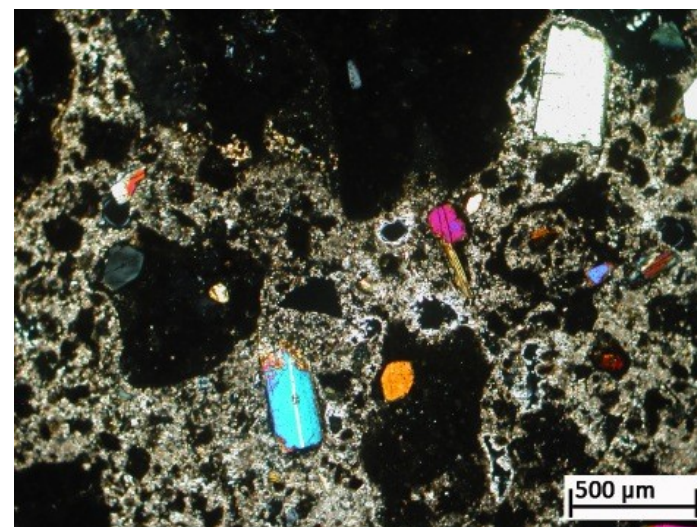
VQ34 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Notevoli
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite (alcuni di grandi dimensioni). Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto, cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt) e rari frammenti di marmo. Frammenti di marmo e di rocce vulcaniche effusive caratterizzate da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
POROSITÀ	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		45/55%



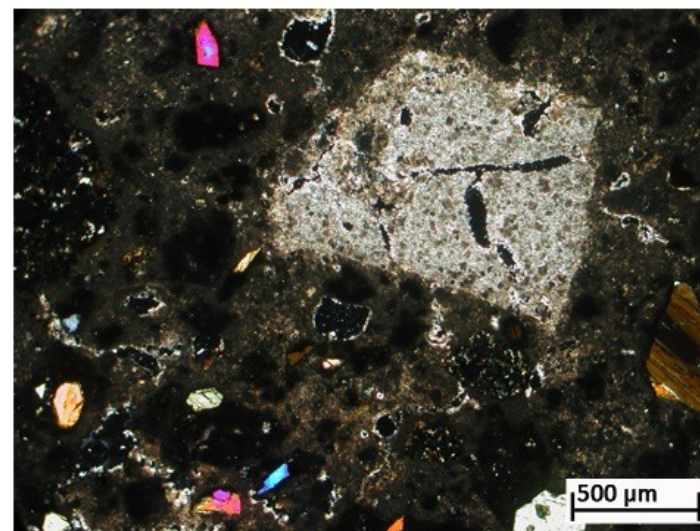
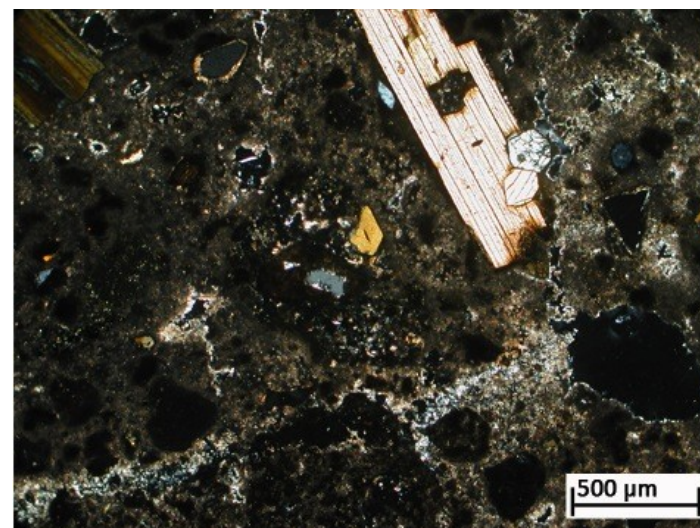
VQ35 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Da grigio chiaro a grigio scuro
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Notevoli
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite (alcuni di grandi dimensioni). Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocciopesto, cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt) e rari frammenti di marmo
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotolata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Da sferica a irregolare
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		35/65%



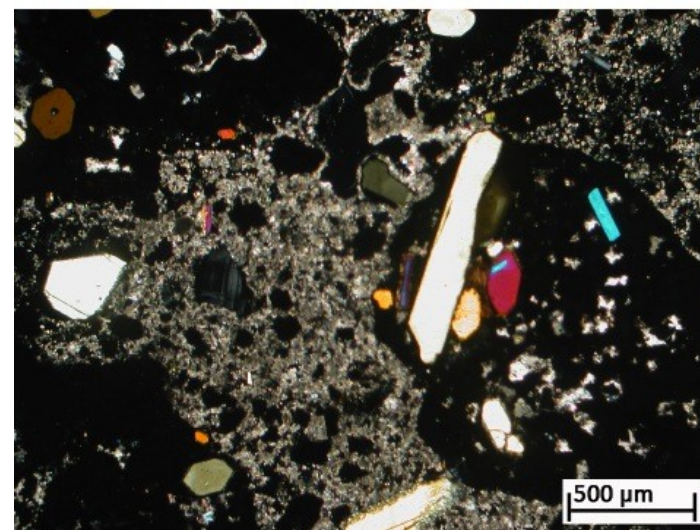
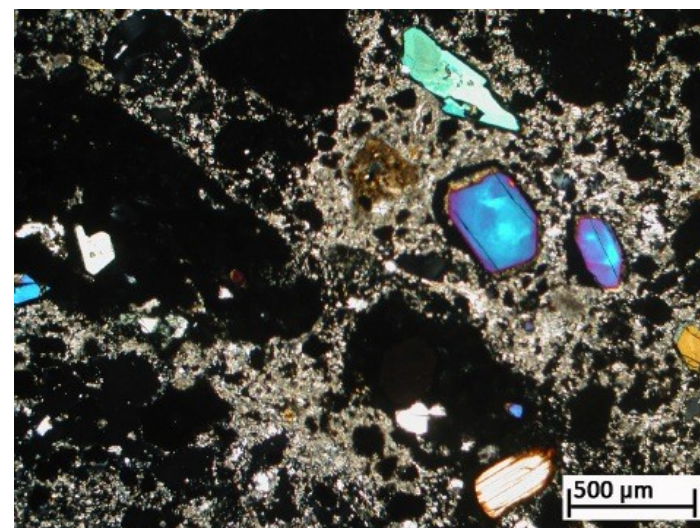
VQ38 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio scuro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	In prevalenza sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	35-40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Variabile
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



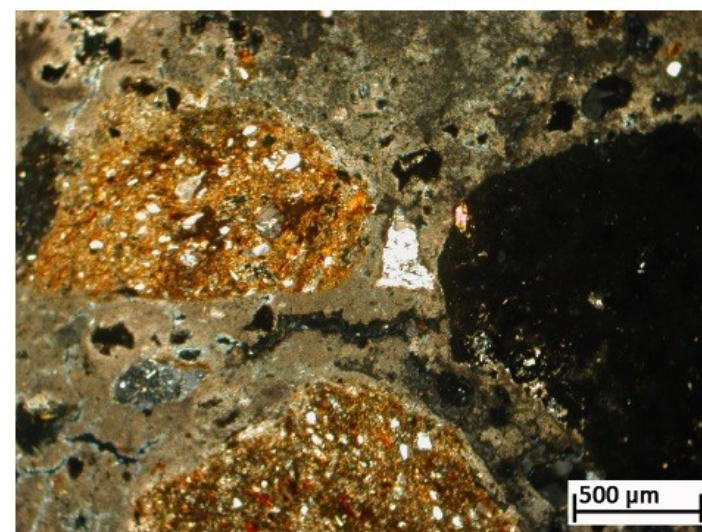
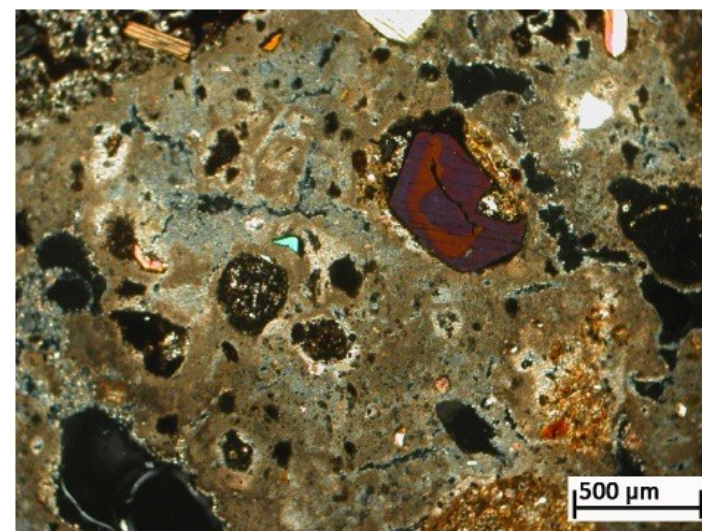
VQ39 TIPOLOGIA: B

LEGANTE	COLORE	Grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Medio-bassa
	STRUTTURA	Microsparitica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	Frammenti di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite (alcuni di grandi dimensioni). Sono presenti inoltre abbondanti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante, frammenti di cocchiopesto, cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt) e rari frammenti di marmo e di rocce vulcaniche effusive caratterizzate da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 40%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e secondari
	FORMA	Da sferica a irregolare
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



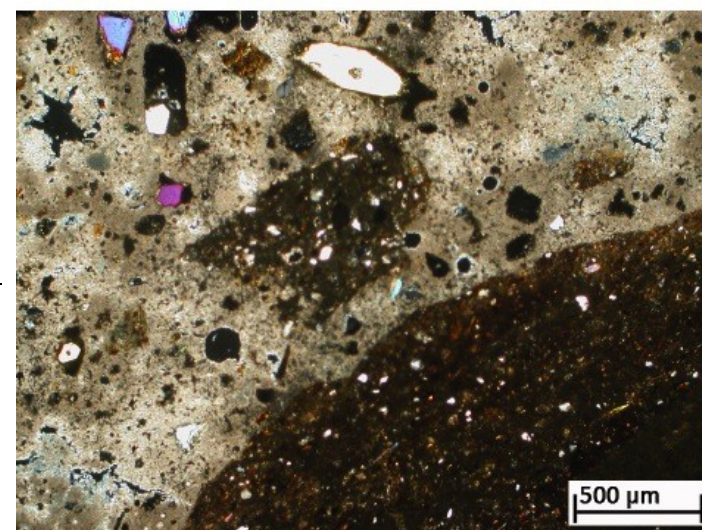
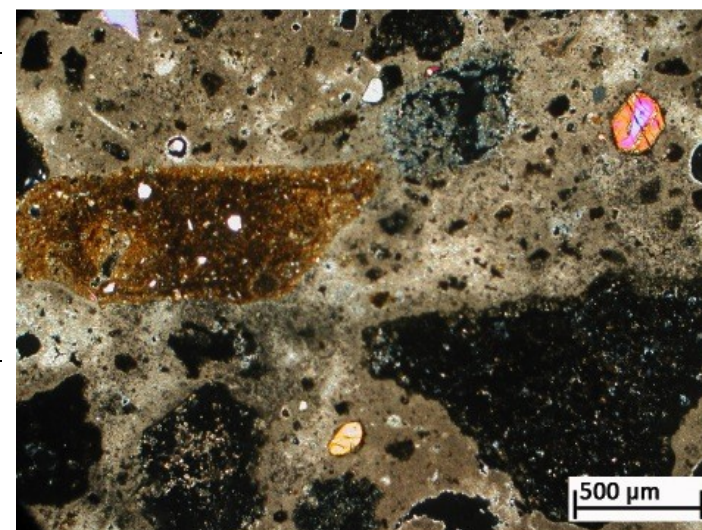
VQ4 TIPOLOGIA: C

LEGANTE	COLORE	Dal bruno al beige
	COMPATTEZZA	Media
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Notevoli
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	Presenti
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e in minore quantità di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno
	FORMA DEI GRANULI	Sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e abbondanti secondari
FORMA		Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		40/60%



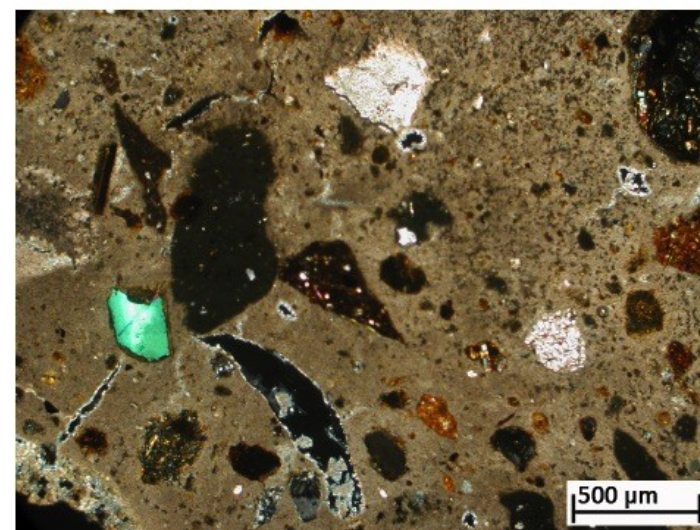
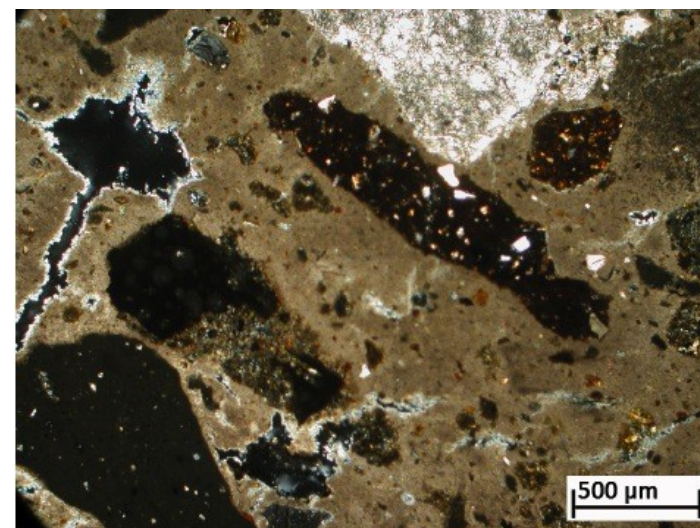
VQ28 TIPOLOGIA: C

LEGANTE	COLORE	Grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
	GRUMI DI CALCE	No
AGGREGATO	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e in minore quantità di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 30%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		60/40%



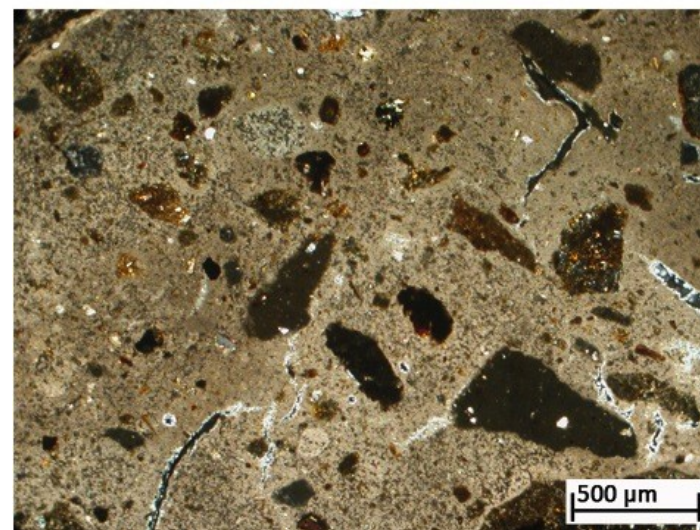
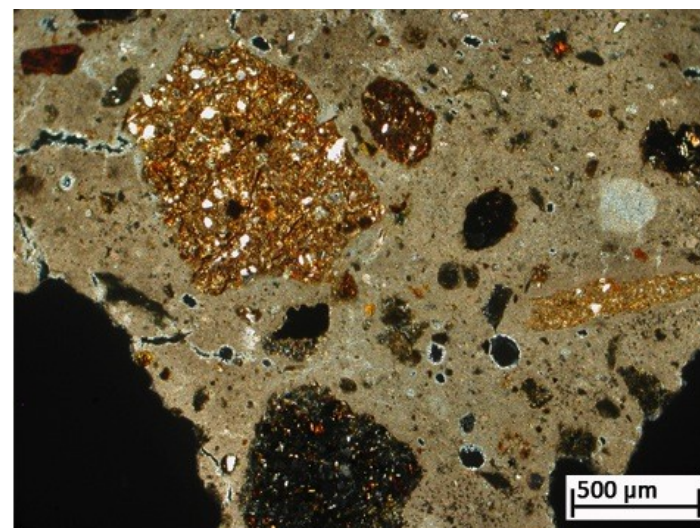
VQ36 TIPOLOGIA: C

LEGANTE	COLORE	Da bruno a beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Micritica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e in minore quantità di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti anche frammenti di marmo e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Lieve orientazione
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 25%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari e abbondanti secondari
	FORMA	Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		60/40%



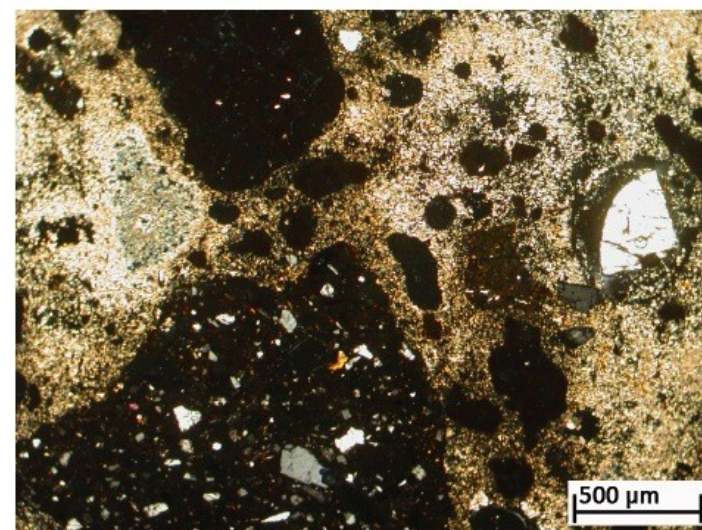
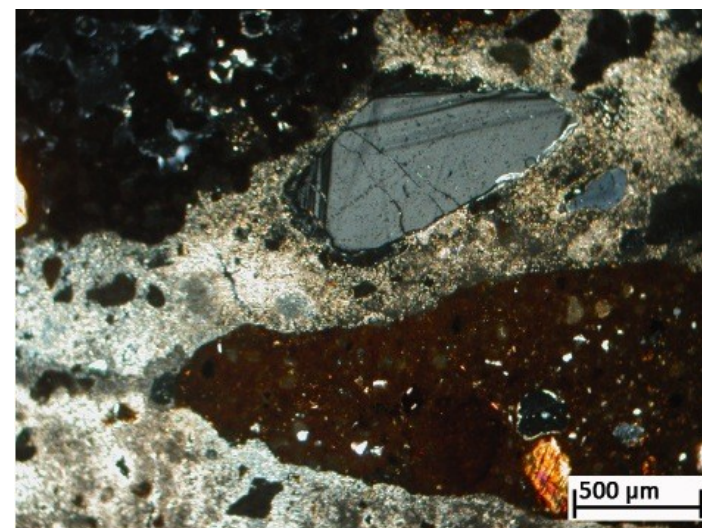
VQ37 TIPOLOGIA: C

LEGANTE	COLORE	Dal bruno al beige
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da frammenti di cocciopesto e in minore quantità di vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt). Un frammento di roccia vulcanica effusiva caratterizzata da struttura porfirica, e pasta di fondo con tessitura da microcristallina a intersertale con abbondanti ossidi e fenocristalli di leucite e clinopirosseno.
	FORMA DEI GRANULI	Sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Lieve orientazione
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e secondari
FORMA		Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		70/30%



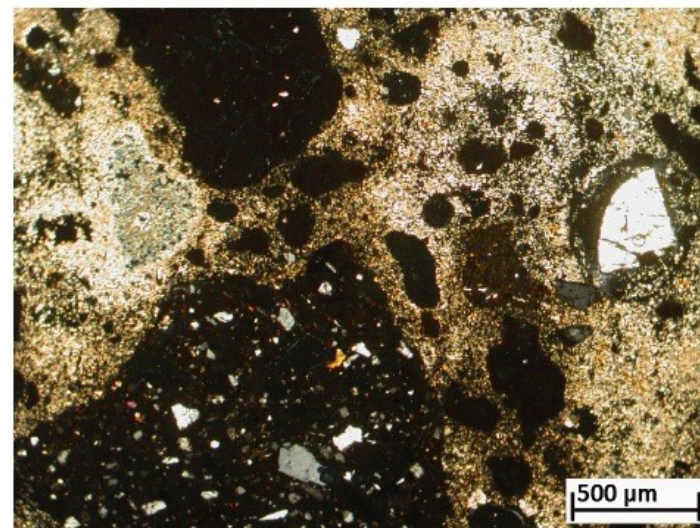
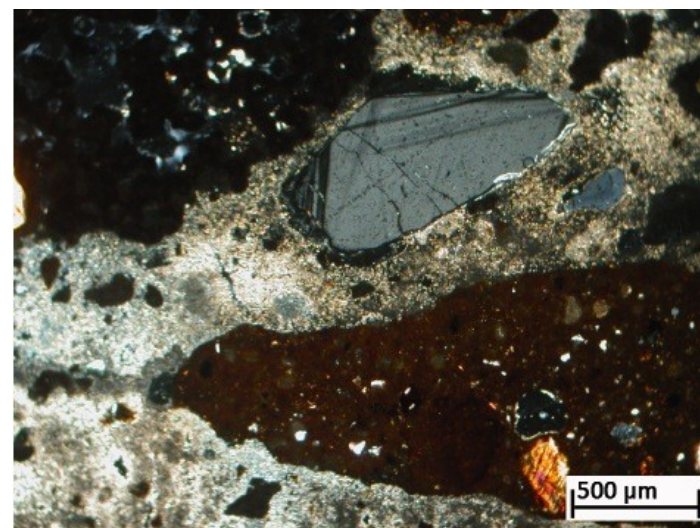
VQ5 TIPOLOGIA: D

LEGANTE	COLORE	Dal grigio chiaro al grigio scuro
	COMPATTEZZA	Scarsa
	STRUTTURA	Da micritica a microspartica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Notevoli
	REAZIONI L/A	Notevoli
	RICRISTALLIZZAZIONI	Presenti
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	Presenti
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
	POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE
TIPOLOGIA DI PORI		Primari e abbondanti secondari
FORMA		Subsferica quella dei pori primari, irregolare quella dei secondari
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		30/70%



VQ9 TIPOLOGIA: D

LEGANTE	COLORE	Grigio chiaro
	COMPATTEZZA	Elevata
	STRUTTURA	Microsparitica
	ZONE DI DISSOLUZIONE	Presenti ma scarse
	REAZIONI L/A	Presenti
	RICRISTALLIZZAZIONI	No
	MICROFOSSILI	No
AGGREGATO	GRUMI DI CALCE	No
	TIPOLOGIA (COMPOSIZIONE)	L'aggregato è costituito da abbondanti frammenti di cocciopesto e vulcaniti con pasta di fondo prevalentemente vetrosa e fenocristalli di clinopirosseno, biotite, leucite. Presenti frammenti di vulcaniti di dimensioni ridotte (max 0.5 mm) sparsi nel legante e cristalli singoli (Cpx, Lct, Bt)
	FORMA DEI GRANULI	Da angolosa a sub-arrotondata
	GRADO DI CLASSAZIONE	Scarso
	ORIENTAZIONE DEI GRANULI	Nessuna
	DISTRIBUZIONE NELL'IMPASTO	Omogenea
POROSITÀ	PERCENTUALE TOTALE	~ 10%
	TIPOLOGIA DI PORI	Primari
	FORMA	Subsferica
RAPPORTO LEGANTE/AGGREGATO		20/80%



APPENDICE B

Tabella 2. Composizione mineralogica del legante dei campioni di malta determinata mediante analisi XRD (Cal: calcite; Anl: analcime; Cpx: clinopirosseno; Arg: aragonite; Gy: gesso; CSH: fasi idrauliche).

Campioni	VQ1	VQ2	VQ3	VQ4	VQ5	VQ6	VQ7	VQ8	VQ9	VQ10	VQ11	VQ12	VQ13	VQ14	VQ15	VQ16	VQ18	VQ20	VQ21	VQ22	VQ23	VQ24	VQ27	VQ28	
Cal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Anl	+	+	-	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	+	-	+	+
Cpx	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	-	+	+
Arg	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-
Gy	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-
CSH	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 2. Continuo.

Campioni	VQ30	VQ31	VQ32	VQ33	VQ34	VQ35	VQ36	VQ37	VQ38	VQ39	VQ40	VQ41	VQ42	VQ43	VQ44	VQ46
Cal	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Anl	+	-	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Cpx	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-
Arg	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-
Gy	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CSH	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-

Tabella 3. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori (wt%) dei grumi presenti all'interno delle malte ottenuta mediante analisi SEM-EDS eseguita in modalità raster; N° analisi = numero di analisi effettuate; HI = Indice di Idraulicità.

Campione	VQ1					VQ2		VQ3						VQ4				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.
SiO₂	6.23	0.61	0.84	2.56	3.18	0.87	5.96	4.07	3.41	4.11	7.49	1.44	4.41	2.09	2.3	3.2	2.75	0.64
Al₂O₃	3.50	0.76	0.59	1.62	1.63	-	4.04	2.61	1.93	2.35	3.21	1.16	2.55	1.00	1.21	1.41	1.31	0.14
Fe₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.02	1.11	1.31	1.48	0.48	1.11	1.47	1.07	1.57	1.48	1.63	0.77	1.33	0.34	2.11	2.13	2.12	0.01
CaO	87.2	97.5	97.3	94.0	5.88	98.0	86.9	90.7	92.4	91.5	84.9	95.7	90.3	3.91	93.7	93.3	93.5	0.30
K₂O	1.04	-	-	0.35	0.60	-	0.62	0.92	-	0.57	1.69	0.32	0.69	0.58	-	-	-	-
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.71	-	0.36	0.50
SO₃	-	-	-	-	-	-	1.05	0.67	0.70	-	1.11	0.59	0.69	0.40	-	-	-	-
Totale	100.01	100.01	100.00	100.01		99.99	99.99	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00		100.00	99.99	100.00	
CaO+MgO	89.24	98.64	98.57	95.48		99.1	88.3	91.7	94.0	93.0	86.5	96.5	91.7		95.8	95.4	95.6	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	9.73	1.37	1.43	4.18		0.87	10.0	6.68	5.34	6.46	10.7	2.60	6.96		3.51	4.61	4.06	
HI	0.11	0.01	0.01	0.04		0.01	0.11	0.07	0.06	0.07	0.12	0.03	0.08		0.04	0.05	0.04	

Tabella 3. Continuo.

Campione	VQ5						VQ6					VQ9			VQ11					VQ13			
	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.			
SiO ₂	7.62	1.47	1.55	5.42	4.015	3.03	6.39	2.34	5.41	4.71	2.11	1.47	4.54	11.7	8.11	5.04	1.54	1.34	1.44	0.14			
Al ₂ O ₃	3.11	0.82	0.64	3.06	1.91	1.36	4.03	3.72	2.65	3.47	0.72	0.89	2.79	5.70	4.25	2.06	1.15	1.61	1.38	0.33			
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
MgO	-	1.55	0.72	2.29	1.14	0.99	1.95	1.57	1.01	1.51	0.47	1.03	2.45	2.58	2.52	0.09	1.24	2.87	2.06	1.15			
CaO	86.7	96.2	97.1	89.2	92.3	5.12	78.9	89.4	86.8	85.0	5.49	96.6	88.9	76.7	82.8	8.61	96.1	94.2	95.1	1.35			
K ₂ O	1.50	-	-	-	0.38	0.75	1.10	-	0.79	0.63	0.57	-	-	2.09	1.05	1.48	-	-	-	-			
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	5.69	2.98	3.35	4.01	1.47	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Cl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.35	1.26	1.31	0.06	-	-	-	-			
SO ₃	1.08	-	-	-	0.27	0.54	1.97	-	-	0.66	1.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Totale	100.01	100.00	99.99	100.00	100.00		99.99	100.01	100.00	100.00		100.00	100.01	100.00	100.01		100.01	99.99	100.00				
CaO+MgO	86.7	97.7	97.8	91.5	93.4		80.8	91.0	87.8	86.5		97.6	91.3	79.3	85.3		97.3	97.0	97.2				
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	10.7	2.29	2.19	8.48	5.92		10.4	6.06	8.06	8.18		2.36	7.33	17.4	12.4		2.69	2.95	2.82				
H.I	0.12	0.02	0.02	0.09	0.06		0.13	0.07	0.09	0.09		0.02	0.08	0.22	0.14		0.03	0.03	0.03				

Tabella 3. Continuo.

Campione	VQ14				VQ15								VQ20				VQ22				
	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	
SiO ₂	7.12	5.19	6.16	1.36	2.04	0.64	1.81	0.96	2.73	1.64	0.84	2.18	1.97	2.07	0.15	1.43	2.8	5.45	3.23	2.04	
Al ₂ O ₃	4.45	2.72	3.59	1.22	1.57	-	1.39	0.62	1.28	0.97	0.65	1.09	1.17	1.13	0.06	1.46	1.28	4.70	2.48	1.92	
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	1.77	1.17	1.47	0.42	1.30	0.91	1.54	1.20	1.28	1.25	0.23	1.01	1.11	1.06	0.07	0.79	0.55	4.39	1.91	2.15	
CaO	85.6	90.9	88.3	3.78	95.1	98.5	95.3	97.2	94.7	96.2	1.61	93.9	95.8	94.8	1.35	96.3	95.4	85.5	92.4	6.01	
K ₂ O	1.07	-	0.54	0.76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
SO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.87	-	0.94	1.32	-	-	-	-	-	
Totale	99.99	100.00	100.00		100.00	100.00	100.01	100.01	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00		99.99	100.00	100.01	100.00		
CaO+MgO	87.4	92.1	89.7		96.4	99.4	96.8	98.4	96.0	97.4		94.9	96.9	95.9		97.1	95.9	89.9	94.3		
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	11.6	7.91	9.74		3.61	0.64	3.20	1.58	4.01	2.61		3.27	3.14	3.20		2.89	4.08	10.2	5.71		
H.I	0.13	0.09	0.11		0.04	0.01	0.03	0.02	0.04	0.03		0.03	0.03	0.03		0.03	0.04	0.11	0.06		

Tabella 3. Continuo.

Campione	VQ23				VQ30					VQ33					VQ34						
	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.
SiO ₂	6.73	3.3	5.02	2.43	2.94	3.70	1.44	2.69	1.15	5.31	6.77	2.48	4.85	2.18	2.06	3.58	7.77	2.15	1.02	3.32	2.65
Al ₂ O ₃	10.9	2.07	6.50	6.26	1.42	6.73	-	2.72	3.55	3.39	4.81	3.04	3.75	0.94	2.38	2.63	2.87	2.06	0.75	2.14	0.83
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	-	1.35	0.68	0.95	0.61	-	-	0.20	0.35	2.38	3.24	5.69	3.77	1.72	2.44	1.51	2.68	3.18	1.25	2.21	0.81
CaO	82.4	93.3	87.8	7.74	95.0	89.6	98.6	94.4	4.53	88.9	85.2	85.4	86.5	2.09	93.1	92.3	86.7	92.6	97.0	92.3	3.68
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.36	1.12	1.94	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.01	100.01		99.99	100.00	100.00	100.00		100.00	100.01	100.00	100.00		99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
CaO+MgO	82.4	94.6	88.5		95.6	89.6	98.6	94.6		91.3	88.4	91.1	90.3		95.6	93.8	89.4	95.8	98.2	94.5	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	17.7	5.37	11.5		4.36	10.4	1.44	5.41		8.70	11.6	5.52	8.60		4.44	6.21	10.6	4.21	1.77	5.45	
H.I	0.21	0.06	0.13		0.05	0.12	0.01	0.06		0.10	0.13	0.06	0.10		0.05	0.07	0.12	0.04	0.02	0.06	

Tabella 3. Continuo.

Campione	VQ35					VQ36					VQ39					VQ42				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO ₂	1.94	11.1	1.96	4.99	5.27	1.71	2.04	1.25	1.67	0.40	3.06	2.00	3.17	2.74	0.65	1.12	1.93	3.93	2.33	1.45
Al ₂ O ₃	1.87	6.64	1.44	3.32	2.89	-	0.56	1.01	0.52	0.51	1.76	1.22	2.21	1.73	0.50	-	1.22	2.28	1.17	1.14
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.57	-	1.16	0.91	0.81	1.03	0.64	1.27	0.98	0.32	-	-	0.97	0.32	0.56	0.78	0.97	1.39	1.05	0.31
CaO	94.6	81.1	95.4	90.4	8.06	97.3	96.8	96.5	96.8	0.39	95.2	96.8	93.7	95.2	1.57	97.2	95.9	88.8	94.0	4.48
K ₂ O	-	1.19	-	0.40	0.69	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.85	0.28	0.49
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20	0.40	0.69
SO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	-	1.52	0.82	0.77
Totale	100.00	99.99	100.00	100.00		99.99	100.00	100.00	100.00		100.00	100.01	100.01	100.01		100.00	100.00	100.00	100.00	
CaO+MgO	96.2	81.1	96.6	91.3		98.3	97.4	97.7	97.8		95.2	96.8	94.6	95.5		97.9	96.9	90.2	95.0	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	3.81	17.7	3.40	8.31		1.71	2.60	2.26	2.19		4.82	3.22	5.38	4.47		1.12	3.15	6.21	3.49	
H.I	0.04	0.22	0.04	0.09		0.02	0.03	0.02	0.02		0.05	0.03	0.06	0.05		0.01	0.03	0.07	0.04	

Tabella 3. Continuo.

Campione	VQ43		VQ44					VQ46	
	01	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01
SiO ₂	8.89	1.47	1.64	3.26	2.75	5.79	2.98	1.74	3.92
Al ₂ O ₃	4.06	-	-	1.86	-	2.45	0.86	1.20	2.07
Fe ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	4.13	-	0.88	2.14	2.17	1.85	1.41	0.95	2.81
CaO	78.1	98.5	96.4	92.7	95.1	89.9	94.5	3.33	91.2
K ₂ O	1.29	-	-	-	-	-	-	-	-
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	1.05	-	1.10	-	-	-	0.22	0.49	-
SO ₃	2.52	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.01	100.01		100.00
CaO+MgO	82.2	98.5	97.3	94.9	97.3	91.8	95.9		94.0
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	13.0	1.47	1.64	5.12	2.75	8.24	3.84		5.99
H.I	0.16	0.01	0.02	0.05	0.03	0.09	0.04		0.06

Tabella 4. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori (wt%) del legante ottenuta mediante analisi SEM-EDS eseguita in modalità raster; N° analisi = numero di analisi effettuate; HI = Indice di Idraulicità.

Campione	VQ3								VQ4						
	N° analisi	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.
SiO₂		13.3	39.4	23.3	7.75	29.0	15.3	21.3	11.6	4.87	29.2	2.80	15.2	13.0	12.1
TiO₂		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al₂O₃		9.09	24.5	12.2	5.34	19.5	6.34	12.8	7.65	1.83	10.7	1.16	4.85	4.63	4.35
Fe₂O₃		0.80	1.48	0.66	0.22	2.11	0.76	1.00	0.68	0.69	0.31	0.79	0.57	0.59	0.21
MnO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO		2.67	1.63	1.83	2.62	1.78	2.07	2.10	0.45	1.74	1.23	0.98	1.90	1.46	0.43
CaO		69.1	20.3	55.3	75.5	35.7	71.2	54.5	22.2	88.9	49.3	92.8	67.5	74.6	20.2
Na₂O		0.46	0.52	0.29	1.62	0.28	0.29	0.58	0.52	0.21	0.94	0.17	1.02	0.59	0.46
K₂O		2.55	7.93	4.14	1.81	7.08	1.64	4.19	2.73	0.73	6.65	0.48	2.70	2.64	2.85
P₂O₅		0.44	1.03	0.60	1.98	-	0.60	0.78	0.68	-	-	-	2.21	0.55	1.11
Cl₂O		0.79	2.98	1.05	0.75	4.14	0.78	1.75	1.46	0.57	1.15	0.51	0.97	0.80	0.31
SO₃		0.87	0.31	0.68	2.44	0.50	1.03	0.97	0.76	0.42	0.52	0.28	3.08	1.08	1.34
Totale		100.00	100.01	100.01	100.00	100.01	100.00	100.01		99.99	99.99	100.01	100.00	100.00	
CaO+MgO		71.8	21.9	57.1	78.1	37.4	73.3	56.6		90.7	50.6	93.8	69.4	76.1	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃		23.2	65.4	36.2	13.3	50.6	22.4	35.2		7.39	40.2	4.75	20.7	18.2	
HI		0.32	2.99	0.63	0.17	1.35	0.31	0.96		0.08	0.79	0.05	0.30	0.31	

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ5										VQ6							
	01	02	03	04	05	06	07	08	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	
SiO ₂	10.8	22.3	15.5	37.7	22.1	22.9	24.3	29.0	23.1	8.10	35.4	23.4	36.6	40.8	31.9	33.6	6.56	
TiO ₂	-	-	-	-	0.03	0.15	-	0.10	0.04	0.06	-	-	-	-	-	-	-	
Al ₂ O ₃	4.45	10.9	6.73	20.4	9.71	15.9	12.7	13.6	11.8	5.05	12.3	15.0	6.12	15.4	13.6	12.5	3.77	
Fe ₂ O ₃	1.30	0.75	0.69	1.00	0.36	0.66	0.38	0.32	0.68	0.34	-	1.73	9.94	0.97	0.68	2.66	4.11	
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MgO	2.42	2.23	1.43	18.2	11.3	13.0	1.57	15.5	8.20	7.02	0.84	0.83	4.94	0.66	0.64	1.58	1.88	
CaO	77.7	56.9	71.2	17.9	53.0	42.2	54.1	38.6	51.4	18.9	44.0	50.9	37.4	32.7	44.9	42.0	7.04	
Na ₂ O	0.97	0.81	0.42	0.82	0.66	0.54	0.77	-	0.62	0.30	0.58	0.27	0.62	0.35	0.39	0.44	0.15	
K ₂ O	1.47	3.41	2.36	1.55	1.13	1.78	3.82	0.90	2.05	1.06	5.29	4.07	1.48	5.77	5.57	4.44	1.78	
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.09	2.11	2.33	0.46	1.20	1.01	
Cl ₂ O	0.90	2.78	1.07	0.83	0.53	1.38	1.35	0.32	1.14	0.75	0.36	0.60	0.38	0.27	0.55	0.43	0.14	
SO ₃	-	-	0.54	1.62	1.21	1.49	0.99	1.77	0.95	0.70	1.32	2.14	0.37	0.71	1.22	1.15	0.67	
Totale	100.00	100.00	99.98	100.00	100.00	100.00	100.01	99.99	100.00		100.00	99.99	100.00	100.01	100.00	100.00		
CaO+MgO	80.1	59.1	72.7	36.1	64.3	55.3	55.7	54.0	59.7		44.8	51.7	42.4	33.4	45.6	43.6		
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	16.6	33.9	22.9	59.1	32.2	39.4	37.4	42.9	35.5		47.7	40.1	52.7	57.2	46.2	48.8		
H.I	0.21	0.57	0.32	1.63	0.50	0.71	0.67	0.79	0.68		1.06	0.78	1.24	1.71	1.01	1.16		

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ11								VQ13					
	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.
SiO ₂	25.1	25.9	44.6	38.8	18.0	49.3	33.6	12.4	3.87	56.0	13.0	5.08	19.5	24.7
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	9.12	12.9	16.9	13.7	9.80	18.8	13.5	3.83	1.08	20.7	5.75	2.79	7.59	8.97
Fe ₂ O ₃	0.91	0.78	0.89	1.13	0.97	0.94	0.93	0.11	0.77	0.84	0.45	0.32	0.59	0.25
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.80	1.51	1.33	1.87	1.31	2.00	1.64	0.29	0.38	1.35	0.72	0.77	0.80	0.40
CaO	47.0	50.8	26.0	35.9	61.9	15.3	39.5	17.1	91.1	8.30	74.6	87.6	65.4	38.7
Na ₂ O	0.34	0.68	0.32	0.41	0.39	0.74	0.48	0.18	0.29	0.45	0.40	0.72	0.46	0.18
K ₂ O	5.34	5.77	7.71	6.32	5.14	9.88	6.69	1.81	1.40	10.7	2.72	1.05	3.98	4.57
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	2.46	0.92	1.94	1.88	2.50	3.05	2.12	0.73	0.46	1.60	0.82	0.20	0.77	0.61
SO ₃	8.02	0.70	0.37	-	-	-	1.51	3.20	0.63	-	1.57	1.50	0.93	0.75
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00		99.99	100.00	100.01	100.00	100.00	
CaO+MgO	48.8	52.3	27.3	37.8	63.2	17.3	41.1		91.5	9.65	75.3	88.3	66.2	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	35.1	39.6	62.4	53.6	28.8	69.0	48.1		5.72	77.6	19.2	8.19	27.7	
H.I	0.72	0.76	2.29	1.42	0.46	3.99	1.60		0.06	8.04	0.26	0.09	2.11	

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ14							VQ15							
	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.
SiO ₂	39.5	23.0	7.26	28.9	38.0	27.3	13.1	18.8	9.25	20.6	13.4	8.15	16.3	14.4	5.07
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	0.13	-	-	-	-	-	0.02	0.05
Al ₂ O ₃	15.5	10.2	2.98	9.58	12.2	10.1	4.59	6.62	3.18	18.5	4.61	14.8	7.02	9.12	6.10
Fe ₂ O ₃	1.65	0.57	0.46	0.53	0.57	0.76	0.50	0.69	-	-	-	0.53	0.42	0.27	0.31
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.31	1.81	1.08	0.98	0.51	1.14	0.48	1.17	1.01	1.12	0.96	1.40	1.94	1.27	0.36
CaO	33.2	58.7	85.3	55.3	42.0	54.9	19.9	61.4	81.3	54.2	76.6	71.0	68.8	68.9	9.89
Na ₂ O	0.74	1.25	1.10	0.35	0.17	0.72	0.47	2.21	0.69	0.58	0.47	0.97	1.53	1.07	0.67
K ₂ O	6.84	2.95	1.37	3.86	6.25	4.25	2.28	5.44	2.12	3.03	2.92	1.82	3.12	3.07	1.27
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	0.81	-	-	-	-	0.14	0.33
Cl ₂ O	0.85	0.61	0.11	0.52	0.25	0.47	0.29	2.21	0.79	0.73	0.28	0.42	0.23	0.78	0.74
SO ₃	0.51	0.95	0.31	-	-	0.35	0.40	1.31	0.90	1.19	0.74	0.98	0.69	0.97	0.25
Totale	99.99	100.00	100.00	100.01	100.01	100.00		100.00	100.00	100.00	99.99	100.01	100.01	100.00	
CaO+MgO	34.5	60.5	86.4	56.3	42.5	56.1		62.6	82.3	55.3	77.6	72.4	70.7	70.1	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	56.6	33.7	10.7	39.0	50.8	38.2		26.1	12.4	39.1	18.0	23.5	23.7	23.8	
H.I	1.64	0.56	0.12	0.69	1.19	0.84		0.42	0.15	0.71	0.23	0.32	0.34	0.36	

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ20								VQ22							
	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	06	Media	Dev. St.
SiO ₂	15.5	35.1	8.93	14.3	15.9	28.4	19.7	9.88	60.4	28.4	7.34	39.5	58.8	7.16	33.6	23.7
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	9.88	13.4	3.93	6.00	5.86	9.87	8.15	3.49	20.9	9.97	3.60	14.2	20.2	8.73	12.9	6.81
Fe ₂ O ₃	0.99	0.53	0.68	0.39	0.83	0.66	0.68	0.21	1.22	0.56	0.52	0.64	1.14	0.81	0.81	0.30
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.34	0.83	0.75	1.83	2.83	0.92	1.42	0.80	1.37	1.58	1.52	1.00	2.19	1.12	1.46	0.42
CaO	66.2	40.2	79.3	70.5	67.4	50.3	62.3	14.4	7.97	54.7	83.6	40.2	10.0	80.3	46.1	33.0
Na ₂ O	0.67	0.73	0.63	1.26	0.83	0.88	0.83	0.23	0.46	0.68	0.80	0.32	0.39	0.25	0.48	0.21
K ₂ O	5.03	7.84	3.28	4.06	4.11	7.42	5.29	1.90	6.04	2.81	0.89	3.52	5.37	0.57	3.20	2.25
P ₂ O ₅	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	0.44	0.75	0.32	0.36	0.87	0.84	0.60	0.25	1.70	1.14	0.57	0.53	1.76	0.69	1.06	0.56
SO ₃	-	0.70	2.15	1.24	1.36	0.73	1.03	0.73	-	0.19	1.13	0.16	0.09	0.41	0.33	0.42
Totale	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.01	100.01		100.01	100.01	100.00	100.01	100.01	100.00	100.00	
CaO+MgO	67.5	41.0	80.1	72.4	70.3	51.3	63.8		9.33	56.3	85.2	41.2	12.2	81.4	47.6	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	26.3	49.0	13.5	20.7	22.6	38.9	28.5		82.5	38.9	11.5	54.3	80.2	16.7	47.3	
H.I	0.39	1.19	0.17	0.29	0.32	0.76	0.52		8.84	0.69	0.13	1.32	6.59	0.21	2.96	

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ23							VQ30						VQ33					
	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.
SiO ₂	31.1	17.2	13.1	14.8	14.5	18.1	7.38	21.4	5.44	18.9	10.0	13.9	7.49	4.79	1.49	12.3	26.5	11.3	11.1
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al ₂ O ₃	11.1	8.33	28.6	7.48	5.85	12.3	9.32	6.33	5.82	9.12	5.93	6.80	1.56	2.14	1.15	9.11	30.4	10.7	13.6
Fe ₂ O ₃	0.38	0.81	0.68	0.52	0.32	0.54	0.20	0.84	0.33	0.47	0.36	0.50	0.23	0.54	-	0.08	0.25	0.22	0.24
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0.96	1.57	0.81	1.87	1.39	1.32	0.44	-	-	-	-	-	-	2.08	1.55	1.22	1.32	1.54	0.38
CaO	51.2	67.4	54.2	72.3	74.3	63.9	10.6	67.7	86.1	67.9	80.7	75.6	9.24	88.2	94.8	74.2	38.6	74.0	25.1
Na ₂ O	0.54	0.47	0.30	1.41	0.73	0.69	0.43	0.31	0.12	0.71	1.29	0.61	0.52	0.53	0.89	1.35	0.59	0.84	0.37
K ₂ O	3.03	1.60	1.43	1.18	1.72	1.79	0.72	2.73	0.72	2.37	1.25	1.77	0.94	0.80	0.14	1.19	1.91	1.01	0.74
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	1.82	1.59	0.80	0.51	1.19	1.18	0.54	0.65	1.49	0.51	0.49	0.78	0.48	0.91	-	0.50	0.38	0.45	0.37
SO ₃	-	0.97	0.13	-	-	0.22	0.42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.00	100.01	99.99	99.99	100.00		100.00	99.99	100.00	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	
CaO+MgO	52.1	69.0	55.0	74.1	75.7	65.2		67.7	86.1	67.9	80.7	75.6		90.3	96.3	75.5	39.9	75.5	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	42.5	26.4	42.4	22.8	20.7	30.9		28.6	11.6	28.5	16.3	21.2		7.47	2.64	21.5	57.2	22.2	
H.I	0.82	0.38	0.77	0.31	0.27	0.51		0.42	0.13	0.42	0.20	0.29		0.08	0.03	0.29	1.43	0.46	

Tabella 4. Continuo.

Campione	VQ39				Media	Dev. St.
	01	02	03	04		
N° analisi						
SiO₂	8.93	13.4	9.44	27.0	14.7	8.45
TiO₂	-	-	-	0.37	0.09	0.19
Al₂O₃	4.23	5.66	3.95	9.77	5.90	2.68
Fe₂O₃	0.25	0.39	-	0.86	0.38	0.36
MnO	-	-	-	0.39	0.10	0.20
MgO	1.08	1.00	0.95	0.38	0.85	0.32
CaO	83.9	77.7	83.5	58.9	76.0	11.7
Na₂O	0.68	0.17	0.80	-	0.41	0.39
K₂O	0.63	1.05	0.90	1.59	1.04	0.40
P₂O₅	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	0.35	0.69	0.40	0.71	0.54	0.19
SO₃	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.01	99.98	100.01	100.00	
CaO+MgO	84.9	78.7	84.5	59.3	76.9	
Al₂O₃+SiO₂+Fe₂O₃	13.4	19.4	13.4	37.6	21.0	
H.I	0.16	0.25	0.16	0.63	0.30	

Tabella 5. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori (wt%) dell'aggregato vulcanico delle malte ottenuta mediante analisi SEM-EDS eseguite in modalità raster; N°analisi = numero di analisi effettuate.

Campione Aggregato	VQ3																				
	01					02					03					04					
	N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂		49.5	48.3	48.7	48.9	0.62	45.3	35.0	92.3	57.5	30.6	54.6	55.5	52.6	54.2	1.50	52.1	52.4	52.7	52.4	0.28
TiO₂		1.11	1.22	1.09	1.14	0.07	0.89	2.17	0.12	1.06	1.04	0.86	1.13	0.85	0.95	0.16	1.16	1.22	0.76	1.05	0.25
Al₂O₃		18.7	18.3	18.1	18.4	0.27	33.0	35.3	4.29	24.2	17.3	20.5	21.7	20.0	20.7	0.89	17.9	18.6	18.7	18.4	0.46
FeO		8.75	9.72	9.66	9.38	0.54	8.66	12.6	1.03	7.44	5.90	8.14	7.05	7.70	7.63	0.55	8.28	7.58	8.22	8.03	0.39
MnO		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO		3.09	3.14	3.23	3.15	0.07	1.58	4.10	0.32	2.00	1.92	1.81	1.47	2.69	1.99	0.63	2.72	2.50	2.60	2.61	0.11
CaO		10.6	10.8	11.0	10.8	0.22	5.46	5.67	0.72	3.95	2.80	6.50	4.99	6.74	6.08	0.95	7.67	6.96	7.47	7.37	0.37
Na₂O		3.99	4.56	4.42	4.32	0.30	0.17	-	0.06	0.08	0.09	5.34	5.46	7.38	6.06	1.15	4.76	4.05	5.53	4.78	0.74
K₂O		3.39	2.84	2.90	3.04	0.30	2.92	3.36	0.50	2.26	1.54	1.75	2.13	2.06	1.98	0.20	5.41	6.69	4.03	5.38	1.33
P₂O₅		-	-	-	-	-	2.08	1.83	0.63	1.51	0.78	0.53	0.52	-	0.35	0.30	-	-	-	-	-
Cl₂O		0.31	0.52	0.39	0.41	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃		0.57	0.55	0.47	0.53	0.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale		100.01	100.01	99.99	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		100.01	100.01	99.99	100.00		99.99	100.00	99.99	99.99	
Na₂O+K₂O		7.38	7.40	7.32	7.37		3.09	3.36	0.56	2.34		7.09	7.59	9.44	8.04		10.2	10.7	9.56	10.2	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ3										VQ7									
	05					06					01					02				
Aggregato	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	48.3	50.4	53.4	50.7	2.57	52.5	53.9	54.3	53.6	0.93	51.0	52.0	51.3	51.4	0.48	51.2	54.6	54.7	53.5	2.00
TiO₂	2.46	0.98	0.88	1.44	0.88	1.10	0.76	0.79	0.88	0.19	1.03	0.64	0.87	0.85	0.20	0.83	0.70	0.41	0.65	0.22
Al₂O₃	16.3	17.4	18.2	17.3	0.96	16.9	16.7	20.3	18.0	2.02	20.4	21.1	20.7	20.7	0.34	8.61	23.5	26.6	19.5	9.60
FeO	11.5	9.21	9.79	10.2	1.16	9.65	7.66	9.33	8.88	1.07	8.25	6.92	7.09	7.42	0.72	3.09	6.95	4.57	4.87	1.95
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.41	2.04	2.31	2.25	0.19	2.18	3.11	1.44	2.24	0.84	2.59	2.63	2.38	2.53	0.13	14.9	2.63	3.95	7.17	6.75
CaO	9.45	11.5	8.76	9.90	1.43	10.7	11.5	5.95	9.35	2.97	6.15	5.90	5.72	5.92	0.22	15.6	2.18	3.89	7.23	7.32
Na₂O	3.20	3.92	3.35	3.49	0.38	2.11	2.72	5.62	3.48	1.88	4.89	4.71	3.25	4.28	0.90	0.62	8.09	4.19	4.30	3.74
K₂O	2.98	3.27	2.79	3.01	0.24	4.24	3.11	1.63	2.99	1.31	5.65	6.16	8.68	6.83	1.62	0.16	1.43	1.10	0.90	0.66
P₂O₅	0.37	0.72	0.5	0.53	0.18	0.63	0.6	0.58	0.60	-	-	-	-	-	-	4.99	-	0.62	1.87	2.72
Cl₂O	0.59	0.55	0	0.38	0.33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	2.49	0.03	0	0.84	1.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	99.99	100.00	99.99	99.99		100.00	100.00	99.99	100.00		100.00	99.99	100.0	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	6.18	7.19	6.14	6.50		6.35	5.83	7.25	6.48		10.5	10.9	11.9	11.1		0.78	9.52	5.29	5.20	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ10										VQ11									
	01					02					03					01				
Aggregato	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	55.1	52.1	53.4	53.5	1.5	50.8	52.2	54.9	52.6	2.10	54.4	50.0	48.5	50.9	3.08	52.5	53.2	54.7	53.5	1.12
TiO₂	0.58	0.99	0.92	0.83	0.22	0.99	1.4	0.92	1.10	0.26	0.83	1.28	1.64	1.25	0.41	1.11	0.59	0.82	0.84	0.26
Al₂O₃	22.9	17.6	20.5	20.4	2.65	18.6	15.2	19.9	17.9	2.38	19.3	20.1	15.9	18.4	2.22	18.0	21.7	19.1	19.6	1.91
FeO	2.88	10.1	9.01	7.33	3.89	10.9	10.5	7.06	9.48	2.11	6.26	9.00	10.6	8.63	2.21	8.94	3.97	7.60	6.84	2.57
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	0.41	3.96	2.55	2.31	1.79	1.89	3.10	2.02	2.34	0.66	2.11	2.37	5.58	3.35	1.93	2.58	1.81	2.10	2.16	0.39
CaO	4.37	9.43	7.81	7.20	2.58	7.15	10.9	6.89	8.32	2.25	5.68	7.42	14.4	9.15	4.59	8.44	8.47	7.73	8.21	0.42
Na₂O	6.70	3.87	3.81	4.79	1.65	3.74	1.84	5.07	3.55	1.62	1.64	0.68	1.00	1.11	0.49	2.70	0.92	4.62	2.75	1.85
K₂O	6.64	1.90	2.02	3.52	2.70	5.92	4.19	2.87	4.33	1.53	9.25	8.93	2.01	6.73	4.09	4.83	7.01	2.75	4.86	2.13
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	0.69	0.40	0.36	0.35	0.59	0.25	0.45	0.43	0.17	0.52	1.45	0.43	0.80	0.56
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	0.83	0.09	0.43	0.37
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	99.63	100.01	100.01	99.88		100.00	100.01	100.01	100.01		100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	100.0	100.0	100.00	
Na₂O+K₂O	13.3	5.77	5.83	8.31		9.66	6.03	7.94	7.88		10.9	9.61	3.01	7.84		7.53	7.93	7.37	7.61	

Tabella 5. Continuo.

Campione Aggregato N° analisi	VQ11					VQ13														
	02					01					02					03				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	52.5	52.9	51.4	52.3	0.75	51.7	52.5	51.0	51.7	0.77	50.4	54.6	57.4	54.2	3.53	51.4	50.8	50.5	50.9	0.45
TiO₂	0.71	0.59	0.82	0.71	0.12	0.72	0.72	0.83	0.76	0.06	1.28	1.02	0.95	1.08	0.17	0.92	0.96	0.99	0.96	0.04
Al₂O₃	20.6	20.9	19.7	20.4	0.64	20.6	20.9	20.7	20.8	0.17	17.8	19.9	21.4	19.7	1.81	20.4	19.9	19.5	19.9	0.44
FeO	7.25	7.26	8.00	7.50	0.43	7.00	6.90	6.79	6.90	0.11	12.0	7.84	5.71	8.52	3.21	6.59	8.26	8.38	7.74	1.00
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.57	2.16	2.60	2.44	0.25	2.27	2.12	2.31	2.23	0.10	2.03	1.82	1.18	1.68	0.44	2.02	2.35	2.9	2.42	0.44
CaO	7.51	6.16	7.87	7.18	0.90	7.62	6.15	8.28	7.35	1.09	10.2	7.34	4.89	7.46	2.64	5.99	6.43	7.56	6.66	0.80
Na₂O	6.57	8.26	7.84	7.56	0.88	4.27	5.12	4.41	4.60	0.46	3.19	4.59	5.64	4.47	1.23	1.15	1.6	1.76	1.50	0.32
K₂O	2.30	1.80	1.78	1.96	0.29	5.84	5.56	5.75	5.72	0.14	3.08	2.88	2.78	2.91	0.15	11.6	9.71	8.42	9.9	1.58
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.01	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	100.01	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	8.87	10.06	9.62	9.52		10.1	10.7	10.2	10.3		6.27	7.47	8.42	7.39		12.7	11.3	10.2	11.4	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ13										VQ15									
	04					05					01					02				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	55.5	57.4	53.7	55.6	1.87	51.5	51.8	52.3	51.9	0.43	51.5	51.5	51.0	51.3	0.25	51.1	52.0	52.4	51.8	0.68
TiO₂	0.60	0.40	0.99	0.66	0.30	1.02	0.95	0.85	0.94	0.09	0.84	0.85	0.92	0.87	0.04	0.83	0.79	0.79	0.80	0.02
Al₂O₃	19.2	20.7	19.9	19.9	0.77	20.2	20.1	20.5	20.2	0.20	20.2	20.1	20.3	20.2	0.12	20.9	21.6	21.1	21.2	0.38
FeO	3.18	3.17	8.21	4.85	2.91	7.34	7.72	6.29	7.12	0.74	7.86	8.15	8.14	8.05	0.16	6.47	6.97	6.98	6.81	0.29
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.72	1.61	1.50	1.61	0.11	2.37	2.37	2.18	2.31	0.10	2.37	2.97	2.84	2.73	0.32	2.58	2.33	1.94	2.28	0.32
CaO	10.5	6.26	5.54	7.44	2.70	6.46	6.46	5.84	6.25	0.36	7.16	6.25	6.42	6.61	0.48	8.36	5.48	5.79	6.54	1.58
Na₂O	1.34	6.38	7.39	5.04	3.24	3.18	3.51	2.97	3.22	0.27	5.02	5.02	6.28	5.44	0.73	4.50	4.91	3.83	4.41	0.55
K₂O	7.94	4.04	2.78	4.92	2.69	7.99	7.07	9.08	8.05	1.01	5.14	5.21	4.07	4.81	0.64	5.31	5.88	7.18	6.12	0.96
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	99.98	100.01	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	99.99	100.00	100.00		99.99	99.99	100.01	100.00	
Na₂O+K₂O	9.28	10.4	10.2	9.96		11.2	10.6	12.1	11.3		10.2	10.2	10.4	10.2		9.81	10.8	11.0	10.5	

Tabella 5. Continuo.

Campione Aggregato	VQ15										VQ22									
	03					04					01					02				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	53.9	52.7	47.6	51.4	3.39	52.5	52.5	54.5	53.1	1.16	53.4	53.8	57.0	54.8	1.97	53.8	52.8	52.7	53.1	0.59
TiO₂	0.63	1.11	1.53	1.09	0.45	1.09	0.83	0.98	0.97	0.13	0.98	1.18	0.86	1.01	0.16	0.63	0.79	0.78	0.73	0.09
Al₂O₃	20.9	18.0	18.0	19.0	1.69	20.8	20.6	19.5	20.3	0.72	21.0	22.5	22.6	22.0	0.90	21.6	21.1	21.1	21.2	0.27
FeO	4.52	8.56	12.9	8.66	4.19	9.00	6.82	7.80	7.87	1.09	7.02	9.89	5.85	7.59	2.08	7.69	7.68	7.96	7.78	0.16
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.94	2.67	4.23	2.95	1.17	2.79	1.38	2.23	2.13	0.70	2.16	0.77	0.71	1.21	0.82	2.22	2.39	2.50	2.37	0.14
CaO	6.18	9.39	11.8	9.14	2.84	8.46	8.72	6.69	7.96	1.10	8.72	2.64	4.90	5.42	3.07	5.84	5.72	6.04	5.87	0.16
Na₂O	9.96	3.90	1.63	5.16	4.31	4.12	7.81	6.46	6.13	1.87	4.31	7.42	6.22	5.98	1.57	6.59	7.42	7.47	7.16	0.49
K₂O	1.91	3.66	2.27	2.61	0.92	1.27	1.37	1.92	1.52	0.35	1.71	1.46	1.67	1.61	0.13	1.67	2.03	1.48	1.73	0.28
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.68	0.32	0.16	0.39	0.27	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.00	99.99	100.00		99.99	100.00	100.02	100.00		100.01	99.99	100.01	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	11.9	7.56	3.90	7.78		5.39	9.18	8.38	7.65		6.02	8.88	7.89	7.60		8.26	9.45	8.95	8.89	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ22										VQ24									
	03					04					01					02				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	50.9	51.4	51.5	51.3	0.29	51.6	50.5	55.7	52.6	2.73	52.2	52.7	51.3	52.1	0.74	52.6	52.7	52.7	52.7	0.03
TiO₂	0.85	0.90	0.92	0.89	0.04	1.04	1.42	0.58	1.01	0.42	0.80	0.84	0.87	0.84	0.04	0.73	0.76	0.69	0.73	0.04
Al₂O₃	20.7	21.1	21.0	20.9	0.20	18.8	16.1	20.5	18.5	2.23	21.6	21.6	20.4	21.2	0.67	22.7	22.3	22.8	22.6	0.30
FeO	7.11	6.44	6.83	6.79	0.34	9.46	9.64	5.88	8.33	2.12	6.48	6.14	7.83	6.82	0.89	7.52	7.06	6.98	7.19	0.29
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.29	2.02	2.20	2.17	0.14	3.10	4.88	2.86	3.61	1.10	2.10	1.76	2.51	2.12	0.38	2.11	2.36	2.14	2.20	0.14
CaO	5.63	5.10	5.51	5.41	0.28	10.2	13.4	9.28	11.0	2.17	5.32	6.31	8.43	6.69	1.59	5.22	6.02	5.17	5.47	0.48
Na₂O	2.49	2.24	2.45	2.39	0.13	3.61	2.27	1.81	2.56	0.94	5.07	5.33	5.15	5.18	0.13	7.55	7.27	8.01	7.61	0.37
K₂O	9.98	10.9	9.56	10.1	0.67	1.56	1.20	2.70	1.82	0.78	6.43	5.35	3.53	5.10	1.47	1.58	1.62	1.52	1.57	0.05
P₂O₅	-	-	-	-	-	0.58	0.56	0.67	0.60	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00		99.99	100.01	99.99	100.00		100.00	99.99	99.99	99.99		100.00	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	12.5	13.1	12.0	12.5		5.17	3.47	4.51	4.38		11.5	10.7	8.68	10.3		9.13	8.89	9.53	9.18	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ24										VQ28									
	03					04					05					01				
Aggregato	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	51.5	51.4	52.4	51.7	0.55	51.8	51.7	51.5	51.7	0.16	50.2	53.7	49.1	51.0	2.39	52.0	55.3	55.9	54.4	2.10
TiO₂	1.19	0.98	1.17	1.11	0.12	0.77	0.82	0.9	0.83	0.07	1.36	1.12	1.36	1.28	0.14	1.36	0.19	0.94	0.83	0.59
Al₂O₃	17.7	16.3	18.6	17.5	1.15	21.4	21.6	21.3	21.4	0.12	18.7	20.2	20.1	19.7	0.81	12.9	22.8	20.0	18.6	5.07
FeO	9.78	9.86	11.8	10.5	1.12	6.67	6.98	7.02	6.89	0.19	11.4	10.3	10.4	10.7	0.59	12.7	0.54	4.66	5.96	6.17
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	3.68	4.34	2.5	3.51	0.93	2.31	2.26	2.37	2.31	0.06	2.73	2.07	3.70	2.83	0.81	3.98	0.12	0.49	1.53	2.12
CaO	10.2	12.7	7.19	10.0	2.77	6.68	6.53	6.82	6.68	0.15	11.9	8.32	12.8	11.0	2.37	12.8	0.2	3.11	5.38	6.61
Na₂O	3.86	2.47	4.81	3.71	1.18	6.67	7.25	7.91	7.28	0.62	1.92	2.71	1.19	1.94	0.76	0.81	0.07	3.06	1.31	1.56
K₂O	1.32	1.24	1.19	1.25	0.07	3.63	2.93	2.11	2.89	0.76	1.3	1.18	1.06	1.18	0.12	3.42	20.8	11.9	12.0	8.70
P₂O₅	0.8	0.44	0.41	0.55	0.22	-	-	-	-	-	0.47	0.38	0.36	0.40	0.06	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	99.73	100.00	99.91		100.00	99.99	100.00	100.00		100.00	99.99	100.01	100.00		100.01	100.00	100.01	100.01	
Na₂O+K₂O	5.18	3.71	6.00	4.96		10.3	10.2	10.0	10.2		3.22	3.89	2.25	3.12		4.23	20.9	14.9	13.3	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ28																			
	02					03					04					05				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	44.7	48.3	53.2	48.7	4.30	53.6	53.5	53.4	53.5	0.14	51.8	51.9	51.1	51.6	0.43	51.8	49.4	45.4	48.9	3.25
TiO₂	1.3	1.37	0.79	1.15	0.32	0.77	0.69	0.72	0.73	0.04	0.99	0.89	0.90	0.93	0.06	0.94	1.37	2.11	1.47	0.59
Al₂O₃	12.9	16.8	23.2	17.6	5.22	20.5	19.8	21.3	20.6	0.76	20.9	21.3	20.7	21.0	0.29	17.8	17.8	18.3	18.0	0.27
FeO	12.2	10.9	1.43	8.16	5.86	5.55	6.72	4.87	5.71	0.94	6.24	6.62	6.91	6.59	0.34	8.07	13.2	20.3	13.9	6.15
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	4.49	2.16	0.37	2.34	2.07	1.97	2.41	2.1	2.16	0.23	1.88	2.06	2.56	2.17	0.35	2.32	1.96	1.35	1.88	0.49
CaO	17.1	10.2	0.53	9.29	8.32	4.32	4.54	3.27	4.04	0.68	5.33	5.24	5.81	5.46	0.31	10.3	5.59	4.1	6.66	3.23
Na₂O	0.93	1.59	0.34	0.95	0.63	1.16	2.03	1.52	1.57	0.44	1.04	1.43	1.83	1.43	0.40	4.42	6.27	6.09	5.59	1.02
K₂O	5.24	8.07	19.9	11.1	7.78	12.1	10.3	12.8	11.7	1.31	11.8	10.6	10.2	10.9	0.86	2.86	3.77	1.83	2.82	0.97
P₂O₅	1.27	0.59	0.21	0.69	0.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.08	0.36	0.33	0.59	0.42
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.41	0.26	0.22	0.30	0.10
Totale	100.00	99.99	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		100.01	100.01	100.02	100.01	
Na₂O+K₂O	6.17	9.66	20.2	12.0		13.2	12.3	14.4	13.3		12.9	12.0	12.0	12.3		7.28	10.0	7.92	8.41	

Tabella 5. Continuo.

Campione Aggregato	VQ30										VQ33									
	01					02					03					01				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	51.5	52.1	52.0	51.9	0.30	55.0	53.0	55.1	54.3	1.15	50.5	50.3	50.7	50.5	0.21	47.7	46.4	44.6	46.2	1.55
TiO₂	0.9	0.89	0.77	0.85	0.07	0.9	1.01	0.69	0.87	0.16	0.85	0.97	0.87	0.90	0.06	1.17	1.35	2.87	1.80	0.93
Al₂O₃	21.4	21.1	21.8	21.4	0.33	22.0	21.9	21.9	21.9	0.08	21.5	21.4	21.2	21.4	0.18	11.3	13.2	10.9	11.8	1.19
FeO	7.41	7.61	7.05	7.36	0.28	7.1	6.89	6.27	6.75	0.43	7.09	7.42	6.83	7.11	0.30	12.4	11.4	9.52	11.1	1.46
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.32	2.2	2.57	2.36	0.19	1.54	1.39	1.63	1.52	0.12	2.25	2.31	2.07	2.21	0.12	7.69	7.62	14.9	10.1	4.21
CaO	6.32	5.94	5.64	5.97	0.34	5.87	5.76	5.93	5.85	0.09	5.48	5.51	4.59	5.19	0.52	16.2	16.3	10.2	14.2	3.48
Na₂O	5.71	6.57	6.44	6.24	0.46	4.58	7.42	6.37	6.12	1.44	2.28	2.11	2.31	2.23	0.11	1.05	0.92	0.5	0.82	0.29
K₂O	4.42	3.62	3.78	3.94	0.42	3.03	2.62	2.18	2.61	0.43	10.1	9.97	11.5	10.5	0.84	1.73	1.66	5.61	3.00	2.26
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.79	1.23	0.86	0.96	0.24
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.02	99.99	100.01		100.01	100.00	100.01	100.01		100.00	100.00	99.99	100.00		99.99	100.00	99.98	99.99	
Na₂O+K₂O	10.1	10.2	10.2	10.2		7.61	10.0	8.55	8.73		12.4	12.1	13.8	12.7		2.78	2.58	6.11	3.82	

Tabella 5. Continuo.

Campione	VQ33																			
	02					03					04					05				
Aggregato	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	52.6	52.7	51.8	52.4	0.50	52.3	52.7	52.6	52.5	0.24	53.4	54.2	51.9	53.2	1.19	54.7	55.3	51.3	53.8	2.16
TiO₂	0.64	0.74	0.71	0.70	0.05	0.79	0.84	0.87	0.83	0.04	1.06	1.22	1.11	1.13	0.08	1.09	1.23	1.18	1.17	0.07
Al₂O₃	20.9	20.6	21.4	21.0	0.38	21.3	22.0	20.6	21.3	0.69	16.2	17.5	19.3	17.7	1.54	23.3	21.8	19.5	21.6	1.94
FeO	7.48	7.56	6.69	7.24	0.48	7.11	7.52	7.33	7.32	0.21	9.40	8.62	9.22	9.08	0.41	9.56	9.62	9.78	9.65	0.11
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.34	2.46	2.37	2.39	0.06	2.30	2.35	2.24	2.30	0.06	2.94	2.67	2.84	2.82	0.14	1.45	1.12	3.23	1.93	1.14
CaO	5.33	5.74	7.24	6.10	1.01	6.72	6.29	5.54	6.18	0.60	9.87	8.48	10.7	9.69	1.14	3.94	3.38	10.0	5.78	3.69
Na₂O	6.86	7.04	5.19	6.36	1.02	6.19	6.24	6.06	6.16	0.09	5.70	5.14	1.85	4.23	2.08	4.28	6.58	3.00	4.62	1.81
K₂O	3.44	2.83	4.62	3.63	0.91	3.35	2.04	4.79	3.39	1.38	1.39	2.12	3.09	2.20	0.85	1.60	0.89	1.97	1.49	0.55
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	0.42	0.32	-	0.25	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00		100.00	100.00	100.00	100.00		99.99	99.99	100.00	99.9		99.99	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	10.3	9.87	9.81	9.99		9.54	8.28	10.9	9.56		7.09	7.26	4.94	6.43		5.88	7.47	4.97	6.11	

Tabella 5. Continuo.

Campione Aggregato N° analisi	VQ37					01					VQ39					03				
	01					01					02					03				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO ₂	54.2	55.5	57.0	55.6	1.41	53.9	54.6	52.4	53.6	1.10	53.6	57.9	53.6	55.0	2.47	51.5	51.5	50.8	51.2	0.39
TiO ₂	1.32	1.08	0.90	1.10	0.21	0.76	0.72	1.01	0.83	0.16	0.95	0.52	0.87	0.78	0.23	0.84	0.96	0.91	0.90	0.06
Al ₂ O ₃	21.8	22.5	22.2	22.2	0.39	21.9	21.9	20.7	21.5	0.70	22.1	23.5	20.6	22.0	1.46	21.0	20.4	19.9	20.4	0.52
FeO	9.40	8.47	8.53	8.80	0.52	6.65	6.37	8.57	7.20	1.20	6.78	2.69	7.26	5.58	2.51	6.83	8.28	8.43	7.85	0.88
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	1.60	1.33	1.64	1.52	0.17	2.33	1.82	2.5	2.22	0.35	1.70	0.65	2.21	1.52	0.80	2.43	2.39	2.97	2.60	0.32
CaO	7.31	6.59	6.54	6.81	0.43	5.95	5.14	7.02	6.04	0.94	5.93	2.27	6.34	4.85	2.24	4.87	5.99	6.15	5.67	0.70
Na ₂ O	4.45	4.50	3.22	4.06	0.73	6.71	7.42	5.85	6.66	0.79	6.67	9.91	7.18	7.92	1.74	1.45	0.91	1.56	1.31	0.35
K ₂ O	-	-	-	-	-	1.82	2.06	1.94	1.94	0.12	2.19	2.60	2.02	2.27	0.30	11.2	9.63	9.24	10.0	1.01
P ₂ O ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.01	99.99	100.00		100.00	100.00	99.99	100.00		99.91	100.01	100.02	99.98		100.01	100.00	100.00	100.00	
Na₂O+K₂O	4.45	4.50	3.22	4.06		8.53	9.48	7.79	8.60		8.86	12.5	9.20	10.2		12.6	10.5	10.8	11.3	

Tabella 5. Continuo.

Campione Aggregato	VQ39					VQ44														
	04					01					02					03				
	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
SiO₂	52.8	53.5	52.8	53.0	0.40	53.8	53.8	53.7	53.8	0.08	51.7	59.6	51.0	54.1	4.76	51.1	51.4	51.2	51.2	0.13
TiO₂	0.73	0.73	0.90	0.79	0.10	0.84	0.56	0.86	0.75	0.17	1.33	0.36	0.67	0.79	0.50	0.84	0.97	0.94	0.92	0.07
Al₂O₃	21.6	22.2	21.7	21.8	0.32	20.6	19.3	20.7	20.2	0.80	18.8	22.8	20.5	20.7	2.00	20.1	21.0	20.8	20.5	0.48
FeO	7.39	6.89	7.17	7.15	0.25	6.95	7.36	7.31	7.21	0.22	9.69	3.77	5.78	6.41	3.01	7.26	6.62	6.66	6.85	0.36
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	2.62	2.05	2.26	2.31	0.29	2.45	3.05	2.30	2.60	0.40	2.44	0.92	2.37	1.91	0.86	2.30	1.81	1.88	2.00	0.27
CaO	6.19	5.42	6.73	6.11	0.66	4.96	6.26	4.87	5.36	0.78	8.68	3.56	14.6	8.95	5.52	5.96	4.95	5.43	5.45	0.51
Na₂O	6.74	7.26	6.51	6.84	0.38	8.92	8.52	8.90	8.78	0.23	6.43	7.93	3.55	5.97	2.23	2.01	1.76	1.51	1.76	0.25
K₂O	1.90	1.98	1.98	1.95	0.05	1.46	1.25	1.38	1.36	0.11	0.91	1.08	1.51	1.17	0.31	10.5	11.6	11.6	11.2	0.66
P₂O₅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.01	100.00	100.01		100.00	100.00	99.99	100.00		99.98	100.01	99.99	99.99		100.00	100.01	99.99	100.00	
Na₂O+K₂O	8.64	9.24	8.49	8.79		10.4	9.77	10.3	10.1		7.34	9.01	5.06	7.14		12.5	13.3	13.1	13.0	

Tabella 6. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori dei clinopirosseni presenti nell'aggregato vulcanico delle malte; in tabella sono riportate le concentrazioni percentuali (wt %) degli ossidi, i valori cationici e i relativi end-members.

Campione Cpx N° analisi	VQ3											VQ10		
	p1		p2	p3			p4	p5		p6		p1	p2	p3
	01	02	01	01	02	03	01	01	02	01	02	01	01	01
SiO₂	45.6	44.5	51.0	50.5	50.4	47.0	51.4	49.4	51.3	50.3	48.4	47.0	48.8	45.4
TiO₂	1.59	1.73	0.67	0.80	0.78	1.23	0.72	1.03	0.58	0.83	0.94	1.34	1.05	1.63
Al₂O₃	8.35	9.52	4.23	3.97	4.65	7.92	3.94	5.41	4.55	5.80	6.68	6.86	6.21	8.58
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	11.4	11.4	5.58	7.22	6.75	8.73	4.80	7.00	5.23	5.84	8.02	8.96	6.50	10.6
MgO	10.0	9.27	15.3	14.1	13.8	11.6	15.8	13.9	14.6	14.1	12.5	12.3	14.0	10.3
CaO	23.0	21.8	23.1	23.2	22.1	21.7	23.3	23.0	22.5	22.0	22.2	23.3	23.2	23.2
Na₂O	-	0.58	0.07	0.23	0.80	0.90	0.09	0.11	0.74	0.55	0.46	0.30	0.34	0.35
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	0.05	-	-	-	-	-	-
Totale	99.99	98.75	99.99	100.00	99.25	99.04	100.00	99.86	99.43	99.37	99.12	100.00	100.00	100.01
Si	1.73	1.70	1.87	1.87	1.87	1.76	1.88	1.83	1.89	1.86	1.81	1.75	1.80	1.71
Al^(IV)	0.27	0.30	0.13	0.13	0.13	0.24	0.12	0.17	0.11	0.14	0.19	0.25	0.20	0.29
Al^(VI)	0.10	0.13	0.06	0.04	0.07	0.11	0.05	0.06	0.08	0.11	0.11	0.05	0.07	0.09
Al tot	0.37	0.43	0.18	0.17	0.20	0.35	0.17	0.24	0.20	0.25	0.29	0.30	0.27	0.38
Ti	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.05
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.09	0.12	0.04	0.06	0.08	0.12	0.03	0.06	0.05	0.02	0.06	0.14	0.10	0.14
Fe²⁺	0.27	0.24	0.13	0.16	0.13	0.15	0.11	0.15	0.11	0.16	0.19	0.14	0.10	0.19
Fetot	0.36	0.36	0.17	0.22	0.21	0.27	0.15	0.22	0.16	0.18	0.25	0.28	0.20	0.33
Mg	0.56	0.53	0.84	0.78	0.76	0.64	0.86	0.77	0.80	0.78	0.69	0.68	0.77	0.58
Ca	0.93	0.89	0.91	0.92	0.88	0.87	0.91	0.91	0.89	0.87	0.89	0.93	0.91	0.93
Na	-	0.04	-	0.02	0.06	0.07	0.01	0.01	0.05	0.04	0.03	0.02	0.02	0.03
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo%	45.9	45.6	45.3	46.4	46.2	45.8	45.7	45.5	46.5	44.8	45.3	46.9	46.3	47.4
En%	29.2	30.2	46.3	43.0	44.8	41.3	47.3	43.8	46.4	44.6	40.4	42.2	46.3	35.3
Fs%	24.9	24.2	8.39	10.6	9.03	13.0	7.01	10.6	7.19	10.6	14.4	10.9	7.47	17.3

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx	VQ11											VQ13				
	p1			p2			p3			p4			p5		p1	p2
	01	02	03	01	01	02	03	01	02	03	01	02	01	01		
N° analisi																
SiO₂	46.6	46.9	46.3	51.5	50.0	53.5	48.1	50.0	49.4	49.9	52.1	49.2	48.6	46.3		
TiO₂	1.32	1.28	1.24	0.64	0.87	0.45	1.06	0.97	0.76	0.71	0.64	0.86	1.08	1.28		
Al₂O₃	7.36	7.76	8.04	3.33	4.74	2.67	6.76	5.37	5.81	5.83	4.06	5.68	5.82	7.61		
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
FeO	10.3	9.56	9.45	5.46	7.48	4.28	8.37	6.66	7.55	6.30	4.47	7.37	7.42	12.2		
MgO	11.2	11.0	11.2	15.1	13.4	15.8	12.4	13.5	13.0	13.8	15.2	13.0	13.2	9.20		
CaO	23.0	22.0	21.8	23.7	23.2	22.4	21.6	23.2	22.2	21.8	22.2	22.5	23.5	22.7		
Na₂O	0.32	0.45	0.93	0.26	0.33	0.47	0.91	0.31	0.52	0.91	0.83	0.50	0.26	0.60		
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.14	0.18		
Totale	99.99	98.95	98.97	100.00	99.99	99.52	99.09	100.00	99.18	99.31	99.50	99.19	100.00	99.99		
Si	1.74	1.77	1.74	1.89	1.85	1.95	1.79	1.85	1.84	1.84	1.91	1.84	1.80	1.75		
Al^(IV)	0.26	0.23	0.26	0.11	0.15	0.05	0.21	0.15	0.16	0.16	0.09	0.16	0.20	0.25		
Al^(VI)	0.07	0.12	0.10	0.04	0.06	0.07	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.09	0.05	0.09		
Al tot	0.33	0.35	0.36	0.14	0.21	0.12	0.30	0.23	0.26	0.25	0.18	0.25	0.25	0.34		
Ti	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04		
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Fe³⁺	0.13	0.07	0.16	0.05	0.07	-	0.12	0.04	0.06	0.09	0.03	0.07	0.12	0.15		
Fe²⁺	0.19	0.23	0.14	0.12	0.17	0.13	0.14	0.17	0.18	0.11	0.10	0.16	0.11	0.23		
Fetot	0.32	0.30	0.30	0.17	0.23	0.13	0.26	0.21	0.24	0.19	0.14	0.23	0.23	0.39		
Mg	0.63	0.62	0.63	0.82	0.74	0.86	0.69	0.74	0.72	0.76	0.83	0.72	0.73	0.52		
Ca	0.92	0.89	0.88	0.93	0.92	0.88	0.86	0.92	0.89	0.86	0.87	0.90	0.93	0.92		
Na	0.02	0.03	0.07	0.02	0.02	0.05	0.07	0.02	0.04	0.07	0.06	0.04	0.02	0.04		
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01		
Wo%	46.6	45.4	46.2	47.4	46.9	45.9	45.5	46.6	45.5	45.6	46.1	46.2	47.5	48.1		
En%	37.5	35.0	41.6	45.4	41.7	46.8	43.1	41.8	41.5	46.3	47.4	42.0	44.2	29.0		
Fs%	15.9	19.6	12.2	7.19	11.5	7.31	11.4	11.7	13.0	8.02	6.44	11.8	8.33	22.9		

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx	VQ13								VQ15														
	p3		p4	p5		p6		p7		p1		p2	p3		p4		p5		p6	p7		p8	
	01	02	01	01	01	01	02	01	02	01	01	01	02	01	02	01	02	01	01	02	01	02	
N° analisi	01	02	01	01	01	01	02	01	02	01	01	01	02	01	02	01	02	01	01	02	01	02	
SiO ₂	46.6	47.3	48.4	50.5	46.6	51.4	48.7	51.1	50.8	52.0	50.0	51.0	49.9	49.5	47.7	51.5	45.7	46.1	49.9	48.7			
TiO ₂	1.35	1.30	1.13	0.86	1.44	0.71	0.93	0.78	0.72	0.74	0.92	0.75	0.76	1.09	1.02	0.92	1.46	1.36	0.90	1.07			
Al ₂ O ₃	7.33	7.35	5.88	4.48	7.48	4.71	6.24	4.05	5.32	3.25	4.59	4.56	5.96	5.47	7.44	4.06	8.59	8.85	4.77	6.63			
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
FeO	9.24	9.03	8.37	6.03	9.06	4.96	8.46	5.06	5.66	5.35	6.52	5.13	6.55	6.32	8.17	4.43	10.5	10.0	6.47	8.15			
MgO	11.6	11.4	12.4	14.4	11.7	14.5	11.8	15.5	14.6	15.1	14.4	15.4	13.5	14.3	12.3	15.6	10.5	10.5	14.5	12.4			
CaO	23.5	22.1	23.4	23.3	23.4	22.6	22.5	23.3	21.8	23.1	23.4	22.9	21.7	23.1	21.6	23.6	23.8	21.5	23.2	22.2			
Na ₂ O	0.27	0.57	0.37	0.30	0.16	0.60	0.33	0.26	0.47	0.43	0.18	0.29	0.97	0.25	0.88	-	0.39	0.55	0.28	-			
K ₂ O	0.05	-	0.07	0.17	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Totale	100.00	99.02	100.02	100.01	100.00	99.46	99.07	100.00	99.38	100.00	100.00	99.99	99.29	99.99	99.10	100.00	100.99	98.90	99.99	99.10			
Si	1.74	1.78	1.80	1.86	1.74	1.89	1.83	1.87	1.87	1.91	1.84	1.87	1.85	1.82	1.78	1.89	1.70	1.74	1.84	1.83			
Al ^(IV)	0.26	0.22	0.20	0.14	0.26	0.11	0.17	0.13	0.13	0.09	0.16	0.13	0.15	0.18	0.22	0.11	0.30	0.26	0.16	0.17			
Al ^(VI)	0.06	0.11	0.06	0.05	0.07	0.10	0.11	0.05	0.11	0.05	0.04	0.07	0.11	0.06	0.11	0.06	0.07	0.14	0.04	0.12			
Al tot	0.32	0.33	0.26	0.19	0.33	0.20	0.28	0.17	0.23	0.14	0.20	0.20	0.26	0.24	0.33	0.18	0.38	0.39	0.21	0.29			
Ti	0.04	0.04	0.03	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03			
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Fe ³⁺	0.14	0.08	0.11	0.08	0.14	0.01	0.03	0.06	0.01	0.04	0.08	0.05	0.07	0.07	0.12	-	0.18	0.08	0.09	-			
Fe ²⁺	0.15	0.20	0.15	0.11	0.14	0.14	0.24	0.10	0.16	0.13	0.13	0.11	0.13	0.12	0.13	0.14	0.15	0.24	0.11	0.26			
Fetot	0.29	0.28	0.26	0.19	0.28	0.15	0.27	0.16	0.17	0.16	0.20	0.16	0.20	0.19	0.25	0.14	0.33	0.32	0.20	0.26			
Mg	0.65	0.64	0.69	0.79	0.65	0.79	0.66	0.85	0.80	0.83	0.79	0.84	0.74	0.79	0.68	0.85	0.58	0.59	0.79	0.69			
Ca	0.94	0.89	0.93	0.92	0.94	0.89	0.91	0.91	0.86	0.91	0.92	0.90	0.86	0.91	0.86	0.93	0.95	0.87	0.92	0.89			
Na	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.07	0.02	0.06	-	0.03	0.04	0.02	0.01			
K	-	-	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Wo%	47.7	46.0	47.6	46.9	47.2	46.4	46.1	46.2	44.1	46.7	46.4	45.4	45.6	45.8	45.3	46.0	48.5	44.4	46.4	44.4			
En%	40.3	37.6	40.9	45.9	41.2	44.7	35.8	47.5	45.4	45.4	45.1	47.3	44.9	45.6	43.5	45.8	38.2	34.4	45.9	37.0			
Fs%	12.1	16.5	11.5	7.22	11.7	8.92	18.1	6.22	10.5	7.83	8.44	7.29	9.46	8.50	11.2	8.18	13.3	21.1	7.71	18.6			

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx	VQ22									VQ24												
	p1		p2		p3		p4		p5		p6		p1		p2		p3		p4		p5	
	01	01	01	02	01	02	01	02	01	01	02	01	02	01	02	01	01	01	02	01	02	
N° analisi	01	01	01	02	01	02	01	02	01	01	02	01	02	01	01	01	02	01	01	01	02	
SiO₂	48.3	45.8	48.3	47.7	49.5	48.7	47.7	48.3	48.1	51.5	48.8	51.9	53.1	49.6	48.1	45.5	46.8					
TiO₂	0.68	1.50	1.18	0.91	0.89	0.92	1.11	1.09	1.11	0.64	0.91	0.67	0.47	1.17	1.06	1.68	1.16					
Al₂O₃	6.32	7.89	6.38	6.71	5.32	6.48	6.10	6.69	6.13	4.19	6.64	3.47	3.53	5.77	6.12	8.08	8.24					
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
FeO	7.91	10.51	6.82	8.52	7.26	7.71	8.76	8.24	8.30	4.64	7.83	4.30	3.54	5.57	8.01	10.40	8.24					
MgO	13.0	10.6	13.6	12.4	13.3	12.1	12.2	12.0	12.5	15.5	12.3	16.0	16.1	14.9	12.9	10.9	11.9					
CaO	23.4	23.3	23.4	22.0	23.3	22.6	23.8	22.2	23.5	23.3	22.3	23.4	22.0	22.7	23.5	23.3	21.7					
Na₂O	0.34	0.33	0.36	0.87	0.48	0.61	0.28	0.50	0.40	0.31	0.42	0.24	0.83	0.29	0.27	0.27	0.97					
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Totale	100.00	99.99	100.00	99.08	100.00	99.15	100.01	99.10	100.00	100.01	99.16	100.00	99.62	100.00	100.00	99.99	99.10					
Si	1.79	1.72	1.78	1.78	1.83	1.82	1.78	1.81	1.79	1.88	1.83	1.90	1.93	1.82	1.79	1.71	1.75					
Al^(IV)	0.21	0.28	0.22	0.22	0.17	0.18	0.22	0.19	0.21	0.12	0.17	0.10	0.07	0.18	0.21	0.29	0.25					
Al^(VI)	0.07	0.07	0.06	0.08	0.06	0.11	0.05	0.11	0.06	0.06	0.12	0.05	0.09	0.07	0.05	0.06	0.11					
Al tot	0.28	0.35	0.28	0.30	0.23	0.29	0.27	0.30	0.27	0.18	0.29	0.15	0.15	0.25	0.27	0.36	0.36					
Ti	0.02	0.04	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.05	0.03					
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Fe³⁺	0.13	0.15	0.12	0.15	0.10	0.06	0.13	0.05	0.12	0.04	0.03	0.04	0.01	0.07	0.12	0.16	0.15					
Fe²⁺	0.11	0.18	0.09	0.12	0.13	0.18	0.14	0.21	0.14	0.10	0.21	0.09	0.09	0.10	0.13	0.17	0.11					
Fetot	0.24	0.33	0.21	0.27	0.22	0.24	0.27	0.26	0.26	0.14	0.25	0.13	0.11	0.17	0.25	0.33	0.26					
Mg	0.72	0.60	0.75	0.69	0.73	0.68	0.68	0.67	0.69	0.84	0.69	0.87	0.87	0.82	0.71	0.61	0.66					
Ca	0.93	0.94	0.93	0.88	0.92	0.90	0.95	0.89	0.93	0.91	0.89	0.92	0.86	0.89	0.93	0.94	0.87					
Na	0.02	0.02	0.03	0.06	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.02	0.06	0.02	0.02	0.02	0.07					
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Wo%	47.0	47.6	47.1	46.2	47.5	46.9	48.2	45.8	47.7	46.3	45.5	46.4	45.4	44.9	47.2	47.1	45.9					
En%	44.2	36.4	46.1	44.3	43.2	39.4	41.1	38.5	41.8	47.4	38.5	47.9	49.0	47.6	43.1	37.9	44.5					
Fs%	8.77	16.0	6.82	9.53	9.22	13.7	10.7	15.7	10.5	6.27	16.0	5.70	5.55	7.50	9.71	15.0	9.69					

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx	VQ28									VQ30													
	p1		p2		p3		p4		p5			p1		p2		p3		p4		p5		p6	
	01	02	01	02	01	02	01	02	03	01	02	01	01	01	02	01	01	02	01	01	02		
N° analisi	01	02	01	02	01	02	01	02	03	01	02	01	01	01	02	01	01	02	01	01	02		
SiO ₂	49.8	49.6	48.0	50.5	49.0	51.1	52.7	49.0	48.5	50.0	47.6	53.1	49.2	48.8	48.0	50.7	53.1	46.2					
TiO ₂	1.17	0.87	1.15	0.91	0.78	0.67	0.64	0.91	1.07	1.02	1.04	0.60	0.95	1.07	0.94	0.93	0.40	1.27					
Al ₂ O ₃	5.26	6.26	6.29	4.66	6.54	4.33	3.93	7.16	7.70	5.63	7.50	2.69	5.14	5.36	6.55	4.56	3.05	8.10					
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
FeO	5.25	6.50	8.40	5.22	7.31	4.91	4.54	6.57	7.86	5.74	8.68	3.58	7.25	7.39	8.02	5.51	4.34	9.62					
MgO	14.5	13.9	12.7	15.1	13.1	15.0	15.9	13.4	12.0	14.3	12.0	16.5	13.7	13.4	12.8	14.7	15.6	11.3					
CaO	23.8	21.2	23.2	23.4	21.5	23.6	20.8	21.3	21.5	23.1	21.4	23.3	23.5	23.9	21.9	23.3	22.2	21.6					
Na ₂ O	0.32	1.00	0.37	0.26	1.02	0.36	0.91	1.02	0.51	0.22	0.86	0.26	0.32	0.05	0.91	0.31	0.81	0.92					
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Totale	100.00	99.28	100.01	99.99	99.21	100.00	99.51	99.29	99.14	100.00	99.06	100.01	100.00	99.99	99.14	99.99	99.52	98.96					
Si	1.83	1.83	1.78	1.85	1.82	1.87	1.93	1.81	1.81	1.84	1.78	1.93	1.82	1.81	1.79	1.86	1.94	1.73					
Al ^(IV)	0.17	0.17	0.22	0.15	0.18	0.13	0.07	0.19	0.19	0.16	0.22	0.07	0.18	0.19	0.21	0.14	0.06	0.27					
Al ^(VI)	0.06	0.10	0.06	0.05	0.10	0.06	0.10	0.12	0.15	0.09	0.11	0.05	0.04	0.05	0.08	0.06	0.07	0.09					
Al tot	0.23	0.27	0.28	0.20	0.29	0.19	0.17	0.31	0.34	0.24	0.33	0.12	0.22	0.23	0.29	0.20	0.13	0.36					
Ti	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.04					
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Fe ³⁺	0.07	0.09	0.12	0.07	0.11	0.06	0.01	0.09	0.01	0.03	0.11	-	0.11	0.09	0.15	0.04	0.02	0.17					
Fe ²⁺	0.09	0.11	0.14	0.09	0.12	0.09	0.13	0.11	0.24	0.15	0.16	0.11	0.12	0.14	0.10	0.13	0.11	0.13					
Fetot	0.16	0.20	0.26	0.16	0.23	0.15	0.14	0.20	0.25	0.18	0.27	0.11	0.22	0.23	0.25	0.17	0.13	0.30					
Mg	0.79	0.76	0.70	0.82	0.72	0.82	0.87	0.74	0.67	0.78	0.67	0.90	0.75	0.74	0.71	0.80	0.85	0.63					
Ca	0.93	0.84	0.92	0.92	0.85	0.93	0.82	0.84	0.86	0.91	0.86	0.91	0.93	0.95	0.87	0.92	0.87	0.87					
Na	0.02	0.07	0.03	0.02	0.07	0.03	0.06	0.07	0.04	0.02	0.06	0.02	0.02	-	0.07	0.02	0.06	0.07					
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Wo%	47.6	44.4	46.9	46.6	45.4	47.3	43.2	44.6	44.0	45.9	44.9	46.2	47.2	47.4	46.2	46.6	46.1	45.7					
En%	46.5	47.0	42.6	47.1	45.4	46.8	49.2	46.3	37.9	44.3	41.7	47.9	44.5	42.4	45.6	45.2	47.3	42.1					
Fs%	5.96	8.64	10.5	6.33	9.27	5.96	7.67	9.13	18.1	9.88	13.5	5.90	8.25	10.2	8.23	8.15	6.61	12.2					

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx N° analisi	VQ33							VQ37		VQ39					
	p1		p2		p3	p4		p1		p1			p2		
	01	02	01	02	01	01	02	01	02	01	02	03	01	02	03
SiO₂	51.2	51.2	50.5	48.5	48.1	46.9	45.2	52.9	49.9	50.0	47.8	52.9	48.5	50.4	47.9
TiO₂	0.63	0.52	0.87	1.00	1.18	1.27	1.51	0.30	0.74	1.06	0.86	0.59	1.12	0.98	1.11
Al₂O₃	3.82	4.49	4.67	6.45	6.69	7.72	9.01	2.30	5.03	5.28	6.81	3.27	6.08	5.92	6.88
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.31	-
FeO	5.18	4.97	5.92	7.49	8.35	10.21	10.08	4.59	7.49	5.59	7.85	4.62	8.48	5.27	8.60
MgO	15.2	14.9	14.3	12.9	12.5	10.7	10.5	16.4	13.7	14.6	12.7	15.9	12.6	13.8	12.0
CaO	24.0	22.6	23.8	22.0	23.2	23.2	21.6	23.4	23.1	23.1	22.1	21.8	23.9	22.1	21.6
Na₂O	-	0.79	-	0.87	-	-	0.95	0.12	0.09	0.38	1.05	0.48	0.37	0.61	1.02
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	99.99	99.46	100.00	99.19	100.00	100.00	98.90	99.98	99.99	99.99	99.14	99.52	101.00	99.42	99.06
Si	1.88	1.88	1.87	1.80	1.79	1.77	1.71	1.93	1.85	1.84	1.78	1.94	1.79	1.86	1.79
Al^(IV)	0.12	0.12	0.13	0.20	0.21	0.23	0.29	0.07	0.15	0.16	0.22	0.06	0.21	0.14	0.21
Al^(VI)	0.05	0.07	0.07	0.09	0.09	0.11	0.11	0.03	0.07	0.07	0.07	0.08	0.05	0.12	0.09
Al tot	0.17	0.19	0.20	0.28	0.29	0.34	0.40	0.10	0.22	0.23	0.30	0.14	0.26	0.26	0.30
Ti	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-
Fe³⁺	0.04	0.07	0.02	0.12	0.06	0.05	0.17	0.03	0.05	0.07	0.18	-	0.13	-	0.13
Fe²⁺	0.12	0.08	0.17	0.11	0.20	0.27	0.15	0.11	0.18	0.11	0.07	0.14	0.13	0.16	0.14
Fetot	0.16	0.15	0.18	0.23	0.26	0.32	0.32	0.14	0.23	0.17	0.24	0.14	0.26	0.16	0.27
Mg	0.83	0.82	0.78	0.71	0.70	0.60	0.59	0.89	0.76	0.80	0.70	0.87	0.69	0.76	0.67
Ca	0.94	0.89	0.94	0.88	0.93	0.93	0.87	0.92	0.92	0.91	0.88	0.85	0.94	0.88	0.86
Na	-	0.06	-	0.06	-	-	0.07	0.01	0.01	0.03	0.08	0.05	0.03	0.05	0.07
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo%	47.0	46.7	46.7	46.1	45.7	46.1	46.1	46.0	45.6	46.3	47.1	44.5	48.2	45.4	46.1
En%	45.5	48.0	42.6	44.8	39.0	31.1	40.1	47.6	42.0	46.4	47.1	47.5	41.8	43.5	42.3
Fs%	7.53	5.28	10.7	9.01	15.3	22.8	13.8	6.40	12.4	7.29	5.86	7.97	10.0	11.1	11.6

Tabella 6. Continuo.

Campione Cpx	VQ39						VQ44					
	p3			p4		p5	p1		p2		p3	
	01	02	03	01	01	02	01	02	01	02	01	02
N° analisi												
SiO ₂	49.0	51.7	49.0	48.3	53.3	48.8	48.4	49.2	48.5	48.5	49.9	48.9
TiO ₂	1.00	0.45	0.89	1.05	0.42	0.93	0.96	0.72	1.10	1.01	0.96	0.73
Al ₂ O ₃	5.79	4.62	6.31	6.54	2.78	6.31	5.94	5.88	5.70	6.21	5.01	6.52
Cr ₂ O ₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	7.61	4.83	7.56	8.50	3.90	7.51	8.03	7.14	8.17	8.11	6.28	7.17
MgO	12.9	15.1	12.5	12.2	16.2	13.0	12.7	13.1	12.9	12.6	14.3	13.0
CaO	23.3	21.9	22.4	23.3	22.3	21.7	23.6	22.3	23.3	22.2	23.3	22.0
Na ₂ O	0.39	0.87	0.56	0.16	0.73	0.94	0.38	0.84	0.29	0.58	0.27	0.92
K ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	99.47	99.20	99.99	99.56	99.19	99.99	99.24	99.99	99.10	100.01	99.22
Si	1.82	1.89	1.83	1.80	1.95	1.81	1.80	1.83	1.80	1.81	1.84	1.81
Al ^(IV)	0.18	0.11	0.17	0.20	0.05	0.19	0.20	0.17	0.20	0.19	0.16	0.19
Al ^(VI)	0.07	0.09	0.11	0.09	0.07	0.09	0.06	0.08	0.05	0.09	0.06	0.10
Al tot	0.25	0.20	0.28	0.29	0.12	0.28	0.26	0.26	0.25	0.27	0.22	0.28
Ti	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.09	0.05	0.05	0.07	0.02	0.12	0.12	0.11	0.11	0.09	0.07	0.12
Fe²⁺	0.15	0.10	0.18	0.20	0.10	0.12	0.13	0.11	0.15	0.17	0.12	0.11
Fetot	0.24	0.15	0.24	0.26	0.12	0.23	0.25	0.22	0.25	0.25	0.19	0.22
Mg	0.71	0.82	0.69	0.68	0.88	0.72	0.70	0.73	0.72	0.70	0.78	0.72
Ca	0.92	0.86	0.90	0.93	0.87	0.86	0.94	0.89	0.93	0.89	0.92	0.87
Na	0.03	0.06	0.04	0.01	0.05	0.07	0.03	0.06	0.02	0.04	0.02	0.07
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo%	47.2	45.5	46.3	46.6	45.8	45.7	47.8	46.8	47.0	45.9	46.5	46.2
En%	42.0	47.9	40.2	38.4	48.5	45.1	42.5	44.8	42.2	41.5	45.2	45.4
Fs%	10.8	6.60	13.5	15.0	5.72	9.15	9.62	8.42	10.8	12.7	8.26	8.39

Tabella 7. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori (wt%) del materiali prelevati dalla calcara ottenuta mediante analisi SEM-EDS.

Campione	VQ18					VQ_C		
	01	02	03	04	05	01	02	03
SiO₂	8.85	8.80	7.34	9.59	7.16	0.80	1.38	1.24
TiO₂	2.85	6.77	6.15	3.31	8.83	-	-	-
Al₂O₃	0.78	0.75	0.63	2.16	2.38	0.25	0.42	0.47
MgO	0.90	0.76	0.43	0.84	0.95	0.22	1.08	0.97
CaO	83.5	81.0	81.8	80.2	77.3	98.7	97.1	97.3
Na₂O	2.36	1.72	1.93	2.09	0.96	-	-	-
K₂O	0.20	-	0.77	1.23	0.85	-	-	-
Cl₂O	-	-	0.55	0.49	0.36	-	-	-
FeO	0.60	0.20	0.45	0.07	1.26	-	-	-
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00

Tabella 8. Concentrazioni (in ppm) degli elementi in tracce nei grumi delle malte esaminate ottenute mediante analisi LA-ICP-MS.

Campione Grumo	VQ3												VQ5											
	01						02						03						01					
	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	01	02	03	04	Media	Dev. St.					
Sc	n.d.	3.07	2.86	2.56	2.83	0.26	2.92	n.d.	1.92	1.85	2.23	0.60	n.d.	7.22	6.96	7.86	6.00	7.01	0.77					
V	18.9	26.1	26.5	18.7	22.6	4.33	26.1	18.2	55.7	16.8	29.2	18.1	18.4	76.5	69.3	66.8	54.5	66.8	9.18					
Cr	4.14	9.50	10.6	8.72	8.24	2.84	77.2	80.2	103.7	78.5	84.9	12.6	38.8	34.7	33.8	46.7	29.3	36.1	7.43					
Co	1.74	0.44	0.25	0.39	0.70	0.70	2.41	1.51	2.12	0.86	1.73	0.69	1.01	1.52	1.95	1.62	0.78	1.47	0.49					
Ni	2.23	2.33	2.91	2.61	2.52	0.31	5.20	3.28	5.00	3.23	4.18	1.07	17.5	15.3	14.5	18.5	11.7	15.0	2.80					
Zn	33.0	27.4	21.2	19.6	25.3	6.13	34.4	40.9	34.9	32.2	35.6	3.70	53.0	32.3	33.3	37.6	29.8	33.3	3.25					
Rb	22.3	31.0	30.7	28.2	28.0	4.01	44.3	19.2	39.3	22.5	31.3	12.3	20.6	109.8	138.4	130.4	137.8	129.1	13.3					
Sr	569.2	629.6	631.0	487.1	579.2	67.9	660.1	596.8	685.8	600.1	635.7	44.3	360.2	813.1	834.2	806.2	896.9	837.6	41.3					
Y	4.98	5.84	6.55	4.86	5.56	0.79	7.61	4.45	11.0	5.26	7.09	2.95	1.99	19.3	20.0	20.3	17.8	19.3	1.11					
Zr	9.53	10.9	12.4	8.24	10.3	1.78	23.0	11.9	69.9	14.7	29.9	27.1	4.24	33.6	36.1	36.0	25.5	32.8	5.01					
Nb	1.45	2.21	2.51	1.55	1.93	0.51	4.32	1.73	8.31	1.84	4.05	3.08	0.90	5.55	4.89	5.82	3.64	4.98	0.97					
La	5.94	6.40	6.27	4.39	5.75	0.93	14.6	10.3	31.0	12.2	17.0	9.47	2.55	15.2	14.8	15.7	12.1	14.4	1.62					
Ce	6.52	7.37	6.65	4.81	6.34	1.08	16.9	10.2	48.8	12.2	22.0	18.0	2.65	21.0	22.5	25.9	19.3	22.2	2.81					
Pr	1.10	1.32	1.31	0.75	1.12	0.27	2.76	1.30	6.37	2.06	3.12	2.25	0.73	2.77	3.07	3.23	2.63	2.93	0.27					
Pb	151.4	187.1	229.1	163.8	182.8	34.2	438.2	315.8	522.9	421.9	424.7	85.0	85.3	51.3	52.2	53.2	37.1	48.4	7.64					
U	4.18	3.89	4.97	5.15	4.55	0.61	3.89	2.57	5.54	2.98	3.75	1.32	2.73	1.99	1.74	1.41	2.10	1.81	0.31					

Tabella 8. Continuo.

Campione Grumo	VQ6					VQ13						VQ15			
	01					01						01			
N°analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.
Sc	0.53	0.43	n.d.	0.48	0.07	2.78	n.d.	n.d.	3.95	3.37	0.83	n.d.	6.18	6.18	
V	25.3	17.6	24.6	22.5	4.28	22.4	28.6	10.4	17.0	19.6	7.77	18.9	208.5	113.7	134.1
Cr	8.73	8.88	8.40	8.67	0.25	9.02	16.1	13.4	14.8	13.3	3.08	7.31	5.47	6.39	1.30
Co	4.74	2.89	6.24	4.62	1.68	1.31	0.51	0.32	0.89	0.76	0.44	1.49	27.5	14.5	18.4
Ni	3.60	3.26	3.67	3.51	0.22	4.27	3.83	4.57	3.49	4.04	0.48	2.83	11.9	7.36	6.41
Zn	80.8	70.4	83.2	78.1	6.84	18.6	37.7	15.0	21.7	23.2	10.0	35.6	85.1	60.4	35.0
Rb	37.1	36.9	47.2	40.4	5.86	40.8	37.2	17.9	44.0	35.0	11.7	41.5	98.0	69.7	40.0
Sr	500.9	467.7	547.0	505.2	39.8	1139.7	1813.5	1196.3	1160.4	1327.5	324.9	1397.2	2075.6	1736.4	479.7
Y	4.04	2.91	3.52	3.49	0.57	8.79	9.33	5.91	7.51	7.89	1.52	4.03	41.5	22.8	26.5
Zr	15.7	7.62	8.75	10.7	4.36	35.2	37.3	18.1	27.0	29.4	8.76	18.5	376.9	197.7	253.4
Nb	1.67	0.78	1.14	1.19	0.45	3.78	3.49	2.11	2.55	2.98	0.78	2.53	36.9	19.7	24.3
La	10.7	5.15	6.18	7.33	2.93	19.6	26.8	8.46	14.1	17.2	7.84	11.3	180.3	95.8	119.5
Ce	13.1	4.97	6.49	8.20	4.35	28.8	24.4	10.6	16.6	20.1	8.08	14.6	333.9	174.2	225.7
Pr	1.93	0.93	0.95	1.27	0.57	3.84	3.64	1.50	2.03	2.75	1.16	1.96	39.3	20.6	26.4
Pb	109.6	84.5	121.4	105.2	18.9	196.8	260.4	154.8	177.9	197.5	45.3	83.2	274.1	178.7	135.0
U	2.03	1.15	1.67	1.62	0.44	5.77	5.43	2.99	3.99	4.55	1.29	2.00	16.1	9.03	9.93

Tabella 8. Continuo.

Campione	VQ20							VQ22											
	01							01					02						
	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.
Sc	n.d.	1.57	n.d.	n.d.	n.d.	1.57		1.45	n.d.	1.37	1.41	0.06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.20	1.20	
V	19.9	13.4	30.6	45.7	19.8	25.9	12.7	41.2	39.3	29.1	36.5	6.52	16.9	17.1	22.3	16.6	13.3	17.2	3.25
Cr	n.d.	n.d.	10.2	11.9	4.58	8.89	3.82	6.97	5.74	12.5	8.40	3.60	2.88	n.d.	6.28	3.81	5.47	4.61	1.55
Co	3.04	0.98	1.68	4.03	1.79	2.30	1.22	2.35	0.44	0.19	0.99	1.18	1.48	0.34	0.40	0.99	0.54	0.75	0.48
Ni	4.40	3.30	7.03	8.05	5.48	5.65	1.92	4.98	1.19	2.26	2.81	1.95	2.75	3.38	2.63	1.92	2.47	2.63	0.53
Zn	n.d.	45.9	22.1	20.0	11.3	24.8	14.8	71.5	35.3	33.5	46.8	21.5	48.3	43.0	29.9	41.0	32.9	39.0	7.51
Rb	18.4	6.93	14.3	42.0	6.15	17.6	14.6	63.2	10.7	16.0	30.0	28.9	26.3	1.94	1.68	6.10	3.15	7.84	10.5
Sr	524.8	363.2	571.0	664.8	434.7	511.7	117.4	1221.1	618.4	804.5	881.3	308.6	942.7	765.7	711.8	868.7	577.2	773.2	141.5
Y	5.51	3.62	2.65	5.99	1.59	3.87	1.87	17.3	4.31	4.31	8.64	7.49	2.91	1.63	1.81	1.84	1.44	1.93	0.57
Zr	23.3	34.3	17.6	40.2	9.21	24.9	12.5	45.2	5.44	6.58	19.1	22.6	12.5	4.76	4.70	7.40	3.33	6.55	3.66
Nb	2.64	1.51	1.51	5.39	1.23	2.46	1.73	5.57	0.96	1.47	2.67	2.53	1.41	0.68	1.03	1.11	0.95	1.04	0.26
La	10.5	6.55	7.08	22.5	3.48	10.0	7.40	24.8	6.42	6.91	12.7	10.5	5.93	2.00	2.10	2.40	2.09	2.90	1.70
Ce	18.1	10.5	n.d.	35.3	5.98	17.5	12.9	35.8	20.3	8.16	21.4	13.8	11.4	2.85	6.80	3.20	1.80	5.22	3.95
Pr	2.10	0.97	1.22	3.58	0.57	1.69	1.20	3.94	1.33	1.41	2.23	1.48	1.09	0.50	0.32	0.50	0.33	0.55	0.31
Pb	15.8	79.8	35.3	47.9	13.0	38.4	27.2	25.2	11.6	13.4	16.7	7.39	9.07	7.05	7.00	7.36	5.45	7.19	1.29
U	2.27	2.17	3.21	5.19	2.59	3.09	1.24	6.50	2.82	4.37	4.56	1.85	3.73	2.84	2.53	3.23	2.28	2.92	0.57

Tabella 8. Continuo.

Campione Grumo	VQ22					VQ24						VQ27						
	03					01						01						
N°analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.
Sc	1.02	n.d.	1.11	1.07	0.06	1.15	n.d.	n.d.	1.35	1.25	0.14	3.13	n.d.	n.d.	0.38	0.79	1.43	1.48
V	11.1	17.3	18.2	15.5	3.87	28.3	47.8	32.8	25.4	33.6	9.97	21.2	17.5	19.7	22.1	20.7	20.2	1.74
Cr	n.d.	6.28	2.62	4.45	2.59	9.82	10.6	7.19	12.4	10.0	2.15	10.6	23.9	n.d.	20.2	12.8	16.9	6.23
Co	0.19	0.44	0.36	0.33	0.13	3.04	5.11	2.63	3.21	3.50	1.10	n.d.	0.38	n.d.	0.79	1.18	0.78	0.40
Ni	1.36	1.66	0.94	1.32	0.36	27.7	25.7	36.9	32.7	30.7	5.04	n.d.	17.9	n.d.	4.74	1.74	8.12	8.59
Zn	13.3	36.6	24.8	24.9	11.7	19.9	24.6	21.8	13.1	19.8	4.90	73.4	107.6	80.6	103.3	88.1	90.6	14.6
Rb	2.89	3.38	2.63	2.97	0.38	13.2	14.8	9.38	8.29	11.4	3.09	5.09	5.58	5.33	6.38	6.45	5.77	0.62
Sr	398.2	910.8	887.2	732.0	289.4	506.6	689.1	443.9	412.8	513.1	123.6	686.6	630.1	666.6	667.1	610.1	652.1	31.1
Y	0.32	1.82	1.49	1.21	0.79	4.54	7.56	4.89	5.70	5.67	1.35	2.02	2.84	1.79	2.33	2.56	2.31	0.42
Zr	1.76	6.35	3.90	4.00	2.30	13.0	36.4	16.1	10.5	19.0	11.9	5.42	4.81	4.04	5.19	3.72	4.64	0.73
Nb	0.37	0.73	0.89	0.66	0.27	1.51	3.40	1.87	1.51	2.07	0.90	0.21	0.36	0.65	0.37	0.27	0.37	0.17
La	0.45	2.19	1.30	1.32	0.87	15.0	33.5	14.8	13.6	19.2	9.52	1.19	2.04	2.55	2.43	2.35	2.11	0.55
Ce	1.29	2.87	1.87	2.01	0.80	13.6	43.5	18.9	12.7	22.2	14.4	2.72	3.46	4.02	5.05	5.15	4.08	1.04
Pr	0.07	0.35	0.31	0.24	0.15	2.30	5.18	2.16	2.16	2.95	1.49	0.20	0.27	0.60	0.43	0.34	0.37	0.16
Pb	4.05	4.39	4.18	4.21	0.17	34.4	50.0	34.8	37.2	39.1	7.38	75.2	90.3	99.1	87.1	86.5	87.6	8.56
U	3.14	4.29	5.01	4.15	0.94	3.23	5.18	4.11	4.23	4.19	0.80	3.59	2.73	3.54	3.03	2.92	3.16	0.38

Tabella 8. Continuo.

Campione	VQ33													VQ39					
	01						02							01					
Grumo	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.
Sc	n.d.	1.31	n.d.	n.d.	1.31		n.d.	1.09	n.d.	n.d.	n.d.	1.09		0.74	1.88	0.80	n.d.	1.14	0.64
V	14.0	21.6	16.5	9.78	15.5	4.92	62.1	80.8	67.4	49.9	47.3	61.5	13.6	13.4	8.33	13.1	13.2	12.0	2.46
Cr	n.d.	6.84	8.96	5.14	6.98	1.91	4.32	n.d.	3.13	n.d.	7.06	4.84	2.02	8.66	n.d.	3.90	7.24	6.60	2.44
Co	0.83	0.71	1.10	0.83	0.87	0.17	1.28	1.20	1.00	1.07	0.97	1.10	0.13	0.69	0.36	0.59	0.42	0.51	0.15
Ni	2.27	4.98	2.56	2.17	3.00	1.33	5.74	9.11	7.68	7.27	5.79	7.12	1.41	3.02	3.79	4.13	0.79	2.93	1.50
Zn	16.3	18.1	16.6	16.0	16.7	0.93	23.4	18.1	22.1	34.9	19.5	23.6	6.65	14.6	46.7	27.2	16.9	26.4	14.6
Rb	11.3	14.6	13.1	8.74	11.9	2.51	11.5	12.4	12.5	12.5	12.4	12.3	0.41	8.91	5.79	11.9	7.34	8.49	2.61
Sr	2083.1	1919.3	1629.7	1520.3	1788.1	258.9	3865.7	3743.0	3977.4	3737.9	3463.4	3757.5	191.8	434.4	351.5	464.3	421.5	417.9	47.8
Y	1.05	1.78	1.76	0.77	1.34	0.51	1.10	0.87	1.01	1.06	1.14	1.04	0.10	12.9	11.7	14.3	11.9	12.7	1.19
Zr	15.8	17.8	19.2	10.8	15.9	3.64	16.7	18.2	17.7	18.5	17.1	17.6	0.74	23.1	11.2	25.3	17.3	19.3	6.32
Nb	0.98	1.04	0.98	0.56	0.89	0.22	0.75	1.11	0.81	1.04	0.96	0.93	0.15	3.55	1.27	3.55	2.32	2.67	1.10
La	0.78	1.19	1.29	0.68	0.99	0.30	0.94	0.98	0.86	1.18	1.02	1.00	0.12	16.3	14.1	20.6	16.2	16.8	2.70
Ce	1.96	2.62	2.16	1.73	2.12	0.38	1.17	1.61	1.17	1.56	1.42	1.39	0.21	14.8	10.7	17.4	15.1	14.5	2.77
Pr	0.19	0.22	0.28	0.15	0.21	0.06	0.17	0.19	0.19	0.12	0.26	0.19	0.05	3.40	2.96	4.02	3.39	3.44	0.44
Pb	96.5	130.2	112.6	73.3	103.1	24.2	103.1	106.5	114.0	128.4	136.9	117.8	14.5	8.66	13.1	11.9	16.9	12.6	3.38
U	8.34	9.35	9.10	6.49	8.32	1.29	10.2	11.2	11.3	10.7	11.9	11.1	0.64	2.20	1.77	2.19	2.30	2.12	0.24

Tabella 8. Continuo.

Campione Grumo	VQ39					VQ40					VQ43						
	02		01			01		01			01		01				
N°analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.
Sc	3.63	2.48	1.25	2.45	1.19	2.27	n.d.	0.41	0.41		n.d.	n.d.	n.d.	0.92	0.75	0.84	0.12
V	44.3	37.0	41.2	40.8	3.67	44.7	19.8	19.0	19.4	0.55	16.9	25.2	10.6	16.0	14.9	16.7	5.31
Cr	9.75	8.69	5.03	7.82	2.48	10.2	7.85	4.34	6.10	2.48	4.44	n.d.	n.d.	2.72	n.d.	3.58	1.22
Co	5.26	4.53	4.37	4.72	0.47	3.02	1.00	0.68	0.84	0.23	2.94	3.58	4.43	2.12	1.83	2.98	1.06
Ni	3.44	4.02	7.34	4.93	2.10	4.91	4.81	2.96	3.89	1.31	1.62	1.85	1.16	0.92	0.50	1.21	0.54
Zn	30.0	19.2	23.4	24.2	5.41	22.3	52.3	12.0	32.2	28.5	21.5	18.7	13.3	14.0	16.19	16.8	3.40
Rb	7.48	5.06	12.6	8.38	3.84	41.1	16.3	7.93	12.1	5.94	6.81	8.29	6.42	5.93	7.47	6.98	0.92
Sr	730.6	607.4	764.4	700.8	82.7	1673.3	2226.5	1624.2	1925.4	425.9	5369.8	5265.5	5272.9	3177.0	3942.4	4605.5	993.2
Y	11.0	7.41	12.0	10.1	2.42	9.28	5.96	5.60	5.78	0.25	10.4	9.05	7.03	7.65	7.75	8.38	1.36
Zr	78.7	53.0	75.6	69.1	14.0	62.7	18.6	17.0	17.8	1.15	9.34	11.4	7.72	8.24	9.05	9.14	1.40
Nb	8.63	5.00	9.91	7.85	2.55	5.13	1.74	2.43	2.09	0.49	0.71	0.89	0.57	0.67	0.63	0.69	0.12
La	15.4	11.3	31.0	19.2	10.4	28.8	15.3	15.0	15.1	0.18	10.6	8.17	5.55	6.26	7.42	7.60	1.96
Ce	22.5	15.9	48.0	28.8	16.9	53.1	16.7	20.4	18.5	2.68	8.94	6.63	3.81	3.74	5.01	5.63	2.19
Pr	3.62	2.81	10.7	5.69	4.31	5.80	2.80	2.87	2.84	0.05	1.41	1.20	0.77	0.80	0.98	1.03	0.27
Pb	547.5	628.9	261.1	479.2	193.2	63.4	38.2	25.5	31.8	8.98	21.3	24.5	25.0	18.6	25.7	23.0	2.98
U	3.15	3.27	5.96	4.13	1.59	6.21	5.71	6.61	6.16	0.64	2.75	2.62	2.44	2.42	3.09	2.66	0.27

Tabella 8. Continuo.

Campione Grumo	VQ43							VQ44							VQ46				
	02							01				02			01				
N°analisi	01	02	03	04	05	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.
Sc	1.12	0.77	n.d.	n.d.	1.92	1.27	0.59	1.13	1.24	1.19	0.08	n.d.	1.22	1.22		1.51	2.16	1.84	0.46
V	21.2	22.9	22.0	18.0	16.2	20.1	2.85	23.8	61.0	42.4	26.3	32.2	24.1	28.1	5.73	34.0	36.2	35.1	1.55
Cr	n.d.	n.d.	3.41	n.d.	n.d.	3.41		4.28	7.77	6.03	2.47	5.83	2.24	4.04	2.54	27.9	38.6	33.2	7.59
Co	0.52	3.41	3.28	0.72	0.83	1.75	1.46	2.39	4.54	3.47	1.52	5.56	10.3	7.95	3.37	1.16	1.82	1.49	0.47
Ni	1.09	1.48	1.43	1.73	n.d.	1.43	0.26	3.61	3.54	3.58	0.05	3.96	3.98	3.97	0.01	2.50	2.86	2.68	0.25
Zn	36.0	49.4	34.1	36.9	14.2	34.1	12.7	77.7	102.5	90.1	17.5	166.1	175.0	170.5	6.24	24.2	27.9	26.1	2.58
Rb	3.67	2.61	4.49	4.96	3.18	3.78	0.95	40.6	40.2	40.4	0.29	37.3	18.4	27.9	13.3	19.5	19.9	19.7	0.31
Sr	1303.1	1442.8	1303.7	1324.4	1091.2	1293.0	126.9	684.2	885.7	784.9	142.5	834.1	794.1	814.1	28.3	611.9	694.1	653.0	58.1
Y	8.04	11.6	8.81	11.7	9.55	9.95	1.66	6.91	10.6	8.74	2.59	8.54	7.06	7.80	1.05	16.2	18.2	17.2	1.48
Zr	17.7	20.4	15.9	15.9	13.1	16.6	2.67	44.9	76.8	60.9	22.5	45.2	21.9	33.6	16.5	6.79	6.12	6.46	0.47
Nb	0.92	0.91	0.75	0.73	0.63	0.79	0.12	3.44	11.0	7.23	5.36	6.25	2.39	4.32	2.73	0.99	0.92	0.96	0.05
La	2.98	3.93	2.81	7.08	5.85	4.53	1.87	14.2	44.9	29.6	21.7	24.9	20.8	22.9	2.93	38.4	39.9	39.2	1.02
Ce	1.56	1.58	1.50	4.04	3.81	2.50	1.31	23.7	57.3	40.5	23.7	28.0	15.6	21.8	8.78	21.2	22.3	21.8	0.81
Pr	0.31	0.36	0.32	0.76	0.88	0.52	0.27	3.34	8.30	5.82	3.51	9.38	2.40	5.89	4.94	6.20	5.77	5.99	0.30
Pb	68.6	71.8	65.4	45.6	38.0	57.9	15.1	59.8	99.1	79.4	27.8	124.6	137.4	131.0	9.05	30.4	28.9	29.6	1.07
U	4.42	4.01	4.24	4.85	6.34	4.77	0.93	3.91	6.76	5.34	2.02	5.30	4.14	4.72	0.82	1.98	2.03	2.01	0.04

Tabella 9. Concentrazioni (in ppm) degli elementi in tracce nei clinopiroseni dell'aggregato vulcanico delle malte ottenute mediante analisi LA-ICP-MS.

Campione	VQ3					VQ5					VQ6									
	p1					p1					p1					p2				p3
N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01
Sc	66.8	66.6	65.0	66.1	0.98	103.9	60.2	103.7	89.3	25.1	27.8	42.0	36.1	35.3	7.15	57.3	53.8	55.6	2.47	79.5
V	306.5	322.0	324.9	317.8	9.90	226.3	274.9	214.6	238.6	32.0	266.7	292.0	301.9	286.8	18.2	171.0	161.2	166.1	6.95	93.1
Y	39.5	39.1	41.4	40.0	1.22	34.0	38.3	32.2	34.8	3.14	24.2	30.9	33.8	29.6	4.94	23.3	16.6	19.9	4.70	12.2
Pr	20.3	20.1	22.4	20.9	1.31	18.8	20.2	17.2	18.7	1.50	16.1	19.9	21.9	19.3	2.95	18.2	10.0	14.1	5.76	7.17
Nd	94.9	102.6	103.9	100.5	4.84	90.7	95.3	85.1	90.4	5.12	70.3	87.2	97.2	84.9	13.6	76.1	47.8	61.9	20.0	35.6
Sm	25.6	23.9	24.2	24.6	0.89	22.7	25.5	20.1	22.8	2.69	13.6	19.8	19.7	17.7	3.57	16.5	9.79	13.1	4.74	9.70
Eu	3.56	5.37	4.74	4.56	0.92	3.88	4.14	4.57	4.20	0.35	3.44	3.95	4.44	3.94	0.50	3.23	2.02	2.63	0.86	1.73
Gd	16.7	18.4	15.7	16.9	1.38	18.3	16.1	14.9	16.4	1.71	13.3	14.3	15.0	14.2	0.87	12.1	7.61	9.85	3.17	5.44
Tb	1.83	2.23	1.90	1.99	0.21	1.79	2.01	1.87	1.89	0.11	1.22	1.71	1.58	1.50	0.25	0.93	0.87	0.90	0.05	0.59
Dy	9.64	9.58	13.5	10.9	2.25	8.29	9.88	10.1	9.41	0.98	5.90	7.36	9.65	7.64	1.89	6.02	4.76	5.39	0.89	3.31
Ho	1.36	1.25	1.77	1.46	0.27	0.94	1.53	1.53	1.33	0.34	0.96	1.31	1.48	1.25	0.26	1.11	0.61	0.86	0.35	0.54
Er	4.00	3.56	4.64	4.07	0.54	3.07	4.41	3.19	3.56	0.74	2.61	3.32	3.75	3.23	0.58	2.61	1.80	2.21	0.57	1.77
Yb	2.61	3.63	3.68	3.31	0.60	4.36	4.09	3.01	3.82	0.71	2.10	3.08	2.94	2.71	0.53	0.93	0.93	0.93	0.00	1.35
Lu	0.56	0.37	0.49	0.47	0.10	0.43	0.51	0.27	0.40	0.12	0.35	0.39	0.24	0.33	0.07	0.27	0.09	0.18	0.12	0.16
Th	1.26	1.16	1.28	1.23	0.06	1.26	1.52	1.70	1.49	0.22	0.74	1.85	2.86	1.82	1.06	11.6	0.50	6.04	7.84	0.67

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ6				VQ13								VQ15								
	p4				p1				p2				p1				p2				
	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.
Sc	57.4	66.3	61.8	6.31	55.0	156.4	105.7	71.7	73.9	69.8	71.9	2.91	89.8	81.1	84.9	85.3	4.37	35.5	33.4	34.5	1.48
V	140.1	180.0	160.1	28.2	129.0	98.3	113.6	21.7	241.7	257.2	249.4	10.99	234.7	278.5	259.5	257.5	22.0	383.0	439.3	411.1	39.9
Y	14.2	17.3	15.7	2.18	17.1	20.4	18.7	2.35	20.9	25.7	23.3	3.39	23.4	31.1	30.5	28.3	4.27	47.7	59.7	53.7	8.51
Pr	8.12	9.19	8.66	0.76	10.5	13.2	11.8	1.87	11.6	14.9	13.3	2.35	12.8	16.9	17.9	15.9	2.73	26.8	32.5	29.6	4.02
Nd	38.7	51.9	45.3	9.33	46.1	58.7	52.4	8.92	57.8	70.2	64.0	8.78	65.1	79.5	78.6	74.4	8.04	128.8	162.3	145.5	23.7
Sm	11.0	11.9	11.4	0.61	11.1	17.9	14.5	4.79	13.6	14.8	14.2	0.85	12.9	17.6	16.6	15.7	2.46	26.5	34.4	30.4	5.63
Eu	2.06	2.67	2.37	0.43	2.28	2.55	2.42	0.19	2.61	3.10	2.86	0.35	2.80	3.28	3.38	3.15	0.31	5.29	7.02	6.16	1.22
Gd	5.72	7.95	6.84	1.58	9.99	8.51	9.25	1.05	11.9	10.0	11.0	1.35	11.1	12.8	12.6	12.2	0.91	19.9	25.8	22.9	4.19
Tb	0.74	0.83	0.78	0.06	0.92	1.23	1.08	0.22	1.14	1.34	1.24	0.14	1.23	1.46	1.40	1.36	0.12	2.74	3.44	3.09	0.49
Dy	3.48	4.50	3.99	0.72	4.41	6.59	5.50	1.54	5.15	6.75	5.95	1.13	6.22	6.31	8.24	6.92	1.14	12.3	16.7	14.5	3.13
Ho	0.52	0.73	0.62	0.15	0.55	1.02	0.79	0.33	0.66	1.01	0.84	0.25	1.08	0.99	1.12	1.06	0.07	1.95	2.37	2.16	0.30
Er	1.73	2.00	1.87	0.19	1.37	2.12	1.75	0.53	2.47	2.99	2.73	0.37	1.99	1.74	3.37	2.37	0.88	4.72	5.62	5.17	0.64
Yb	0.28	0.86	0.57	0.41	0.50	0.52	0.51	0.01	1.89	1.33	1.61	0.40	1.84	2.94	3.66	2.81	0.92	2.92	3.75	3.34	0.59
Lu	0.12	0.25	0.19	0.09	0.29	0.30	0.29	0.00	0.34	0.35	0.35	0.01	0.26	0.28	0.35	0.29	0.05	0.79	1.01	0.90	0.16
Th	0.56	0.70	0.63	0.10	1.43	2.41	1.92	0.69	0.71	1.08	0.90	0.26	0.65	1.17	1.03	0.95	0.27	2.71	4.22	3.47	1.07

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ15					VQ20														
	p3					p1					p2					p3				
	N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.	01	02	Media
Sc	38.4	42.4	33.6	38.2	4.43	77.2	91.6	90.9	86.6	8.13	13.1	13.0	11.1	12.2	12.4	0.94	50.5	94.1	72.3	30.8
V	366.3	416.2	340.7	374.4	38.4	273.7	238.5	291.2	267.8	26.8	461.5	469.6	461.6	483.6	469.1	10.4	244.2	272.5	258.3	20.0
Y	18.2	23.7	23.8	21.9	3.22	25.6	26.3	30.3	27.4	2.51	35.7	36.3	41.6	40.2	38.4	2.91	27.5	31.3	29.4	2.72
Pr	19.8	26.3	18.8	21.6	4.07	15.2	15.3	17.9	16.1	1.54	19.2	23.1	23.7	24.7	22.7	2.41	15.2	17.7	16.4	1.79
Nd	81.7	117.4	86.2	95.1	19.4	74.0	67.3	81.0	74.1	6.87	89.4	104.4	111.0	112.3	104.3	10.5	74.8	89.9	82.4	10.7
Sm	15.7	19.6	17.0	17.4	1.97	16.6	13.7	18.4	16.2	2.38	23.2	23.6	24.1	27.8	24.7	2.11	17.9	23.4	20.7	3.87
Eu	3.02	3.85	3.06	3.31	0.47	3.17	3.24	4.11	3.51	0.52	4.17	5.34	4.38	4.92	4.70	0.53	3.83	3.67	3.75	0.11
Gd	7.61	12.4	10.3	10.1	2.41	11.6	13.2	12.7	12.5	0.84	15.7	17.1	17.5	21.2	17.8	2.34	11.9	18.5	15.2	4.72
Tb	1.03	1.12	1.31	1.15	0.14	1.33	1.36	1.53	1.41	0.11	1.63	1.95	2.15	2.47	2.05	0.35	1.52	1.80	1.66	0.20
Dy	4.39	5.34	6.04	5.26	0.83	8.06	6.94	7.49	7.50	0.56	9.39	9.24	9.52	12.3	10.1	1.46	7.63	8.79	8.21	0.82
Ho	0.66	1.13	1.16	0.98	0.28	1.15	1.09	1.04	1.09	0.06	1.36	1.40	1.61	1.75	1.53	0.18	0.85	0.95	0.90	0.07
Er	1.87	1.57	1.85	1.76	0.17	2.02	2.75	3.12	2.63	0.56	3.47	3.51	5.31	4.17	4.12	0.86	2.68	3.52	3.10	0.59
Yb	1.70	2.66	2.68	2.35	0.56	3.03	1.69	2.27	2.33	0.67	4.18	2.38	2.42	3.64	3.16	0.90	1.37	2.56	1.97	0.84
Lu	0.34	0.28	0.34	0.32	0.03	0.36	0.23	0.35	0.31	0.07	0.52	0.71	0.34	0.51	0.52	0.15	0.36	0.16	0.26	0.14
Th	1.28	1.95	1.24	1.49	0.40	0.95	0.98	0.94	0.96	0.02	1.38	1.78	1.63	1.80	1.65	0.19	1.11	2.22	1.67	0.78

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ22														VQ24									
	p1				p2					p3					p1					p2				
	N° analisi	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.
Sc	88.3	97.7	93.0	6.63	56.4	94.8	89.7	80.3	20.8	69.7	85.8	77.7	11.3	76.1	85.2	84.3	81.8	5.00	52.6	58.2	56.2	55.6	2.84	
V	144.8	143.6	144.2	0.81	276.6	239.3	222.4	246.1	27.7	170.4	148.3	159.3	15.6	243.7	184.9	132.3	186.9	55.7	364.0	378.1	400.1	380.7	18.2	
Y	15.2	15.3	15.3	0.06	32.1	24.4	21.6	26.0	5.42	18.5	16.7	17.6	1.28	32.0	21.9	20.7	24.9	6.20	37.4	43.9	41.0	40.8	3.23	
Pr	8.81	8.89	8.85	0.06	18.5	13.7	11.2	14.4	3.71	13.7	10.5	12.1	2.26	11.4	12.6	11.8	11.9	0.62	18.8	24.1	23.1	22.0	2.84	
Nd	42.4	40.3	41.4	1.51	86.9	66.3	56.5	69.9	15.5	59.3	48.8	54.1	7.42	60.6	59.3	58.3	59.4	1.15	95.6	107.0	102.7	101.8	5.72	
Sm	9.58	8.88	9.23	0.49	21.1	11.1	13.9	15.4	5.18	11.5	11.3	11.4	0.15	20.8	14.7	13.8	16.4	3.83	22.2	24.8	21.2	22.7	1.87	
Eu	1.56	2.04	1.80	0.34	3.51	2.48	3.00	3.00	0.52	2.58	2.27	2.43	0.22	4.08	2.46	2.73	3.09	0.87	3.70	4.94	4.71	4.45	0.66	
Gd	6.09	7.59	6.84	1.06	12.7	12.4	9.39	11.5	1.84	10.3	6.96	8.64	2.37	15.7	10.0	11.2	12.3	3.02	14.8	17.5	17.9	16.7	1.69	
Tb	0.71	0.76	0.73	0.03	1.40	1.32	0.87	1.20	0.29	1.09	0.81	0.95	0.20	1.55	0.99	1.08	1.21	0.30	2.35	1.95	2.00	2.10	0.22	
Dy	3.49	3.20	3.35	0.21	7.05	7.35	5.88	6.76	0.78	5.72	3.94	4.83	1.26	8.65	5.55	4.36	6.19	2.21	10.2	9.42	12.1	10.6	1.38	
Ho	0.65	0.43	0.54	0.15	1.38	0.85	1.12	1.12	0.27	0.59	0.74	0.67	0.10	1.15	1.01	1.05	1.07	0.07	1.65	1.43	1.97	1.68	0.27	
Er	0.64	0.91	0.78	0.19	3.03	1.76	2.09	2.29	0.66	1.62	1.35	1.49	0.19	3.58	0.79	2.09	2.15	1.40	2.95	2.37	3.61	2.98	0.62	
Yb	0.43	0.78	0.61	0.25	2.93	1.81	1.74	2.16	0.67	1.75	0.44	1.10	0.93	3.98	0.48	0.65	1.70	1.97	1.00	4.29	1.72	2.34	1.73	
Lu	0.07	0.16	0.12	0.06	0.45	0.20	0.23	0.29	0.14	0.23	0.16	0.20	0.05	0.34	0.21	0.14	0.23	0.10	0.52	0.28	0.34	0.38	0.12	
Th	0.62	0.41	0.51	0.15	9.43	0.73	0.54	3.57	5.08	5.14	1.71	3.43	2.43	0.71	0.87	1.04	0.87	0.17	1.56	1.84	1.84	1.75	0.16	

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ33										VQ39													
	Cpx	p1					p2					p1					p2				p3			
		N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media
Sc		45.3	50.8	51.6	49.2	3.46	51.7	58.3	55.0	4.65	50.9	48.8	53.8	51.2	2.49	20.1	91.1	55.6	50.2	50.0	42.5	45.1	45.9	3.80
V		191.5	206.5	207.0	201.7	8.77	266.1	279.2	272.6	9.28	268.8	298.2	294.2	287.1	15.93	239.1	225.6	232.4	9.57	277.4	266.3	269.6	271.1	5.70
Y		16.3	18.5	19.4	18.0	1.59	32.2	35.7	33.9	2.52	33.1	34.2	32.4	33.2	0.91	25.8	30.2	28.0	3.12	27.7	31.2	32.1	30.3	2.33
Pr		11.1	12.6	11.6	11.8	0.74	18.2	19.7	18.9	1.01	20.9	20.6	20.2	20.6	0.37	14.5	17.9	16.2	2.39	15.8	18.1	17.6	17.2	1.21
Nd		53.0	52.1	55.1	53.4	1.52	82.5	88.8	85.6	4.51	97.4	95.0	92.1	94.8	2.63	68.9	84.1	76.5	10.7	75.6	91.6	77.1	81.4	8.83
Sm		10.6	14.0	14.9	13.1	2.29	18.7	17.3	18.0	0.97	24.8	24.2	24.1	24.4	0.37	16.2	17.5	16.9	0.95	20.4	19.3	20.1	19.9	0.54
Eu		2.54	2.88	2.92	2.78	0.21	4.02	3.50	3.76	0.37	4.75	4.81	3.68	4.41	0.64	3.61	4.21	3.91	0.42	3.59	4.35	4.18	4.04	0.40
Gd		8.23	9.07	8.11	8.47	0.52	11.9	13.8	12.9	1.33	21.0	15.4	15.3	17.2	3.26	8.90	17.0	13.0	5.76	13.3	16.1	16.7	15.4	1.81
Tb		1.03	0.88	1.16	1.02	0.14	1.76	1.64	1.70	0.08	1.86	1.77	1.68	1.77	0.09	1.27	2.14	1.71	0.62	1.41	1.99	1.88	1.76	0.31
Dy		3.87	5.47	5.74	5.03	1.01	7.70	8.60	8.15	0.64	10.5	10.6	8.56	9.86	1.13	6.36	8.29	7.33	1.36	7.38	9.80	7.64	8.27	1.33
Ho		0.64	0.79	0.83	0.75	0.10	1.04	1.32	1.18	0.20	1.26	1.42	1.20	1.29	0.12	0.91	1.25	1.08	0.24	0.78	1.61	1.27	1.22	0.42
Er		1.58	1.62	1.96	1.72	0.21	2.89	3.25	3.07	0.25	3.78	3.97	3.17	3.64	0.42	1.93	2.83	2.38	0.64	3.71	3.10	2.24	3.02	0.74
Yb		1.49	1.07	1.26	1.27	0.21	2.03	2.79	2.41	0.54	2.53	3.11	3.16	2.93	0.35	1.57	3.53	2.55	1.39	2.12	2.98	2.54	2.55	0.43
Lu		0.26	0.28	0.23	0.26	0.02	0.46	0.43	0.45	0.02	0.18	0.51	0.51	0.40	0.19	0.31	0.47	0.39	0.12	0.36	0.24	0.37	0.33	0.07
Th		0.64	0.59	0.78	0.67	0.09	1.58	2.09	1.83	0.36	0.80	1.47	1.44	1.24	0.38	0.93	1.88	1.40	0.67	1.11	1.12	1.29	1.17	0.10

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ40										VQ43													
	p1					p2					p3					p1					p2			
N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	01	02	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	Media	Dev. St.				
Sc	77.7	87.0	92.0	85.6	7.28	89.1	67.7	97.6	82.7	21.1	54.2	55.4	50.1	53.2	2.78	65.4	62.4	80.2	69.3	9.51				
V	274.0	276.0	219.9	256.6	31.8	74.7	153.9	203.6	178.8	35.1	259.3	251.2	233.1	247.9	13.4	184.9	194.2	186.0	188.4	5.09				
Y	27.7	29.5	23.3	26.8	3.20	10.4	19.4	27.2	23.3	5.54	31.2	29.3	27.2	29.2	1.99	17.2	18.4	18.5	18.0	0.69				
Pr	14.1	14.8	11.6	13.5	1.71	6.43	10.3	15.6	12.9	3.75	17.6	14.7	14.3	15.5	1.83	11.0	10.0	10.5	10.5	0.51				
Nd	72.7	74.4	63.4	70.1	5.90	31.3	57.9	74.7	66.3	11.9	82.6	71.3	71.8	75.2	6.35	51.4	57.2	54.2	54.3	2.87				
Sm	15.4	16.9	15.8	16.0	0.79	7.13	13.9	18.1	16.0	2.98	15.9	14.6	14.4	14.9	0.83	10.7	11.6	11.5	11.3	0.53				
Eu	4.54	3.21	3.22	3.66	0.77	1.49	2.65	3.53	3.09	0.62	3.46	3.24	2.63	3.11	0.43	2.36	2.37	2.67	2.47	0.18				
Gd	14.3	14.2	11.2	13.2	1.75	5.59	10.5	12.6	11.5	1.48	13.0	13.0	9.74	11.9	1.87	8.92	7.84	7.48	8.08	0.75				
Tb	1.16	1.46	1.45	1.36	0.17	0.53	0.98	1.40	1.19	0.30	1.57	1.59	1.37	1.51	0.12	1.03	1.05	0.89	0.99	0.09				
Dy	5.98	7.66	5.93	6.52	0.98	3.44	5.85	7.36	6.61	1.07	9.46	7.33	6.26	7.68	1.63	4.33	4.32	5.44	4.70	0.64				
Ho	1.30	1.42	0.72	1.15	0.38	0.28	0.86	1.16	1.01	0.22	1.14	0.92	1.08	1.05	0.11	0.67	0.55	0.61	0.61	0.06				
Er	2.32	3.65	1.86	2.61	0.93	1.69	2.21	2.59	2.40	0.27	3.91	2.32	2.33	2.85	0.92	1.70	1.80	0.98	1.49	0.45				
Yb	2.68	1.65	0.81	1.71	0.94	1.14	0.85	2.24	1.55	0.98	1.32	2.07	1.95	1.78	0.40	0.54	0.97	1.51	1.01	0.49				
Lu	0.31	0.21	0.28	0.27	0.05	0.03	0.19	0.25	0.22	0.04	0.29	0.27	0.30	0.29	0.02	0.17	0.22	0.23	0.21	0.03				
Th	0.95	0.91	0.56	0.81	0.21	0.15	0.51	1.43	0.97	0.65	1.42	0.95	1.03	1.13	0.25	0.79	0.82	0.87	0.83	0.04				

Tabella 9. Continuo.

Campione	VQ43					VQ44					VQ46								
	p3					p1		p2	p1				p2				p3		
N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01	01	02	Media	Dev. St.	01	02	Media	Dev. St.	01
Sc	62.9	80.4	81.4	74.9	10.4	30.4	32.6	31.5	1.54	46.1	55.3	57.3	56.3	1.39	53.8	63.3	58.6	6.7	113.5
V	284.3	241.2	226.6	250.7	30.0	216.4	230.5	223.5	9.93	156.9	195.0	192.8	193.9	1.57	320.2	262.1	291.2	41.1	97.0
Y	25.6	23.1	17.9	22.2	3.93	23.4	24.5	23.9	0.75	18.4	24.1	22.6	23.3	1.07	36.2	27.4	31.8	6.2	14.4
Pr	15.7	12.8	9.4	12.6	3.15	13.6	15.8	14.7	1.50	10.4	15.2	14.2	14.7	0.67	19.4	15.7	17.5	2.6	6.46
Nd	70.3	58.1	45.4	57.9	12.5	61.4	72.7	67.0	7.99	51.1	71.8	61.3	66.6	7.39	97.0	71.8	84.4	17.8	31.4
Sm	15.2	12.1	11.7	13.0	1.93	15.2	14.2	14.7	0.71	12.7	16.9	17.1	17.0	0.18	21.8	16.2	19.0	3.94	8.45
Eu	2.96	2.69	2.25	2.63	0.36	3.22	3.33	3.28	0.08	2.26	3.33	3.31	3.32	0.01	4.80	3.56	4.18	0.88	1.71
Gd	9.40	10.2	6.96	8.86	1.70	9.88	10.7	10.3	0.59	8.78	13.41	9.99	11.7	2.42	17.3	12.1	14.7	3.67	6.54
Tb	1.12	1.27	1.02	1.14	0.13	1.44	1.34	1.39	0.07	0.94	1.64	1.25	1.45	0.28	1.98	1.59	1.79	0.28	0.78
Dy	6.43	6.89	4.90	6.07	1.04	6.65	6.37	6.51	0.20	5.40	6.46	5.74	6.10	0.51	9.97	6.33	8.15	2.57	3.77
Ho	1.00	0.95	0.63	0.86	0.20	0.52	1.19	0.86	0.47	0.65	0.90	0.80	0.85	0.07	1.51	1.17	1.34	0.24	0.66
Er	2.03	1.42	1.60	1.68	0.31	1.98	2.47	2.23	0.35	1.15	2.59	2.13	2.36	0.33	3.83	3.04	3.44	0.56	1.39
Yb	1.91	1.24	2.08	1.74	0.44	1.98	1.97	1.98	0.01	0.66	1.23	2.74	1.99	1.07	2.83	3.06	2.95	0.16	0.94
Lu	0.28	0.24	0.05	0.19	0.12	0.32	0.54	0.43	0.16	0.21	0.21	0.17	0.19	0.03	0.19	0.29	0.24	0.07	0.13
Th	0.90	0.97	0.55	0.81	0.23	0.57	0.98	0.78	0.29	0.83	1.13	0.68	0.91	0.32	0.98	0.86	0.92	0.08	0.27

Tabella 10. Concentrazioni (in ppm) degli elementi in tracce nei materiali prelevati dalla calcara ottenute mediante analisi LA-ICP-MS.

Campione	VQ18					VQ_C						
	N° analisi	01	02	03	Media	Dev. St.	01	02	03	04	Media	Dev. St.
Sc			0.48		0.48		3.60				3.60	
V		27.5	16.0	13.9	19.1	7.29		7.93	10.1	14.1	10.7	3.14
Cr			6.50	3.69	5.10	1.99		3.86			3.86	
Co			1.49	0.84	1.17	0.46		0.20	3.74		1.97	2.50
Ni			2.01	2.19	2.10	0.13	11.2	1.11		3.91	5.39	5.19
Zn			7.84	11.2	9.52	2.37		16.7		26.6	21.6	7.04
Rb		23.7	9.04	6.67	13.1	9.22	5.25	4.16	12.7	8.35	7.62	3.84
Sr		453.7	1532.1	1057.6	1014.5	540.5	1085.2	856.7	1137.1	1529.8	1152.2	279.7
Y		0.98	0.85	1.06	0.96	0.11		0.39			0.39	
Zr		6.95	1.86	2.87	3.89	2.69	4.62	6.53	11.8	9.82	8.20	3.24
Nb		0.70	0.29	0.26	0.42	0.25	1.74	0.17	0.38	0.17	0.62	0.76
La		4.02	2.92	2.99	3.31	0.62		0.35		0.44	0.40	0.06
Ce		5.02	4.18	3.88	4.36	0.59	1.37	2.45	3.71	3.83	2.84	1.16
Pr		0.59	0.29	0.31	0.40	0.17				0.23	0.23	
Pb		16.9	13.2	9.62	13.3	3.66	83.1	23.8	31.9	42.7	45.4	26.3
U		1.39	1.25	0.95	1.20	0.22		0.90	1.46	0.89	1.08	0.33

Tabella 11. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori (wt%) delle tre tipologie di pozzolana ottenuta mediante analisi SEM-EDS eseguite in modalità raster; PNR = Pozzolana Nera; RED = Pozzolana Rossa; VSN2 = Pozzolanella; N°analisi = numero di analisi effettuate.

Campione	PNR										RED						
	01	02	03	04	05	06	07	08	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	06	07
SiO₂	55.5	52.6	56.8	58.1	52.1	53.0	53.2	53.0	54.1	2.34	47.8	49.2	53.1	53.9	53.6	55.5	51.2
TiO₂	1.05	1.06	1.09	0.79	0.74	0.95	1.06	0.98	0.97	0.13	0.94	1.16	1.01	0.75	1.06	0.26	1.12
Al₂O₃	16.7	16.2	14.8	21.1	20.8	17.7	19.3	19.3	18.5	2.34	16.6	15.4	18.1	15.6	13.1	37.2	16.7
FeO	8.73	9.37	9.94	6.94	8.44	9.04	6.89	6.67	8.25	1.26	7.42	11.3	10.7	6.34	9.00	3.32	10.8
MnO	0.52	0.46	0.43	0.30	0.36	0.34	2.85	2.95	1.02	1.16	0.19	0.29	0.19	0.18	0.30	0.20	0.29
MgO	2.91	3.56	3.51	2.52	2.37	3.05	-	-	2.24	1.44	5.57	4.46	1.53	4.59	7.22	0.34	3.70
CaO	6.75	8.79	9.44	4.45	6.59	9.01	6.68	6.19	7.24	1.70	12.1	9.85	5.55	10.4	11.6	0.94	7.79
Na₂O	1.77	4.19	1.29	1.72	5.07	1.64	3.07	2.39	2.64	1.36	5.68	6.01	6.57	5.76	2.44	0.30	6.34
K₂O	5.66	2.99	2.21	3.57	3.53	4.80	6.97	8.48	4.78	2.14	2.45	1.05	1.26	1.22	0.63	0.76	0.56
P₂O₅	0.31	0.53	0.41	0.25	-	0.43	-	-	0.24	0.22	0.88	1.03	1.37	1.30	0.93	0.24	0.95
Cl₂O	0.09	0.08	-	0.07	-	-	-	-	0.03	0.04	0.15	-	-	-	0.08	0.77	0.40
SO₃	0.12	0.21	-	0.23	-	-	-	-	0.07	0.10	0.23	0.31	0.64	-	0.11	0.11	0.18
Totale	100.0	100.01	99.99	100.01	100.02	99.99	100.00	100.00	90.99		100.00	100.00	100.02	100.00	100.00	100.02	99.99
Na₂O+K₂O	7.43	7.18	3.50	5.29	8.60	6.44	10.0	10.9	7.42		8.13	7.06	7.83	6.98	3.07	1.06	6.90

Tabella 11. Continuo.

Campione	RED						VSN2															
	N° analisi	08	09	10	11	Media	Dev. St.	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	Media	Dev. St.
SiO₂	51.1	52.4	51.0	52.6	52.0	2.19		55.0	54.4	60.5	62.3	51.3	57.2	55.2	61.2	62.5	59.1	55.7	55.7	55.8	57.4	3.45
TiO₂	1.27	0.99	0.88	0.92	0.94	0.27		0.73	0.87	0.98	0.23	1.44	0.82	0.64	0.66	1.15	0.87	0.93	0.83	0.98	0.86	0.28
Al₂O₃	17.5	10.3	16.9	16.5	17.6	6.88		36.9	31.7	20.5	24.2	14.3	25.7	37.0	22.9	18.1	21.2	20.4	20.8	19.9	24.1	7.01
FeO	7.45	10.1	8.36	8.98	8.52	2.34		4.25	5.69	7.13	1.44	12.9	5.44	4.10	4.28	8.35	5.08	7.24	6.86	7.43	6.17	2.73
MnO	0.28	0.53	4.70	4.51	1.06	1.75		0.05	0.23	0.05	0.08	0.58	0.15	0.08	0.18	-	0.99	2.22	2.29	2.33	0.71	0.93
MgO	4.96	7.12	-	-	3.59	2.72		0.27	1.16	0.63	0.25	4.52	2.08	0.46	1.34	0.88	-	-	-	-	0.89	1.26
CaO	10.7	16.2	8.96	9.24	9.38	3.87		0.37	4.23	2.71	1.43	12.0	5.55	0.46	4.46	3.86	3.29	5.12	5.27	5.41	4.16	2.96
Na₂O	5.00	0.78	7.22	6.38	4.77	2.43		0.13	0.50	5.76	8.66	2.21	1.77	0.06	3.89	2.49	8.18	7.40	7.32	7.22	4.28	3.26
K₂O	0.72	0.76	0.55	0.76	0.97	0.55		0.58	1.03	1.36	0.96	0.46	0.75	0.80	0.93	1.61	1.19	1.00	1.02	0.89	0.97	0.30
P₂O₅	0.75	0.62	1.19	-	0.84	0.42		0.27	0.13	0.16	0.08	0.29	0.45	0.27	0.18	1.01	-	-	-	-	0.22	0.28
Cl₂O	0.08	0.16	0.20	0.07	0.17	0.23		1.35	0.05	0.13	0.23	0.06	0.04	0.71	0.04	0.09	-	-	-	-	0.21	0.39
SO₃	0.24	0.11	-	-	0.18	0.19		0.08	-	0.16	0.15	-	0.07	0.19	-	-	-	-	-	-	0.05	0.07
Totale	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00			100.00	99.99	100.01	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Na₂O+K₂O	5.72	1.54	7.77	7.14	5.75			0.71	1.53	7.12	9.62	2.67	2.52	0.86	4.82	4.10	9.37	8.40	8.33	8.11	5.24	

Tabella 12. Composizione chimica riferita agli elementi maggiori dei clinopirosseni presenti nelle tre tipologie di pozzolana; PNR = Pozzolana Nera, RED = Pozzolana Rossa, VSN2 = Pozzolanello; in tabella sono riportate le concentrazioni percentuali (wt %) degli ossidi, i valori cationici e i relativi end-members.

Campione	PNR																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
SiO₂	54.2	54.3	52.9	53.6	49.2	53.7	53.6	54.1	55.0	51.3	52.3	50.6	51.2	50.3	48.5	48.4	46.6	50.1	51.7	46.1	52.2	47.2
TiO₂	0.67	0.48	0.72	0.67	0.85	0.65	0.51	0.36	0.33	0.85	0.84	0.78	0.62	0.97	1.16	1.15	1.37	0.97	0.63	1.61	0.73	1.34
Al₂O₃	3.53	3.81	3.44	4.47	7.12	3.61	3.66	3.74	3.31	4.63	4.17	4.80	4.71	5.15	5.61	5.88	7.55	6.08	3.87	8.37	4.71	7.40
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	3.71	3.57	4.18	4.18	5.60	4.05	4.00	3.86	3.25	5.60	5.64	7.12	6.28	6.51	9.00	8.87	10.0	6.11	4.81	9.69	4.29	9.11
MnO	0.17	0.18	0.19	0.10	0.16	0.21	0.28	0.19	0.09	0.25	0.19	0.14	0.20	0.26	0.27	0.50	0.20	0.19	0.20	0.15	0.06	0.35
MgO	17.8	17.8	16.8	16.8	12.2	16.8	17.2	17.8	18.3	15.1	15.0	13.7	14.3	14.0	12.4	12.3	11.5	14.2	16.3	10.9	16.3	11.8
CaO	19.4	19.3	21.4	19.6	23.2	20.5	20.3	19.6	19.3	21.7	21.4	22.4	22.1	22.3	22.4	22.3	22.3	21.6	22.1	22.8	21.1	22.2
Na₂O	0.36	0.43	0.34	0.42	1.46	0.41	0.39	0.32	0.44	0.47	0.32	0.38	0.43	0.41	0.43	0.56	0.34	0.45	0.33	0.16	0.52	0.38
K₂O	0.20	0.16	0.15	0.13	0.29	0.10	0.13	-	-	0.15	0.14	0.10	0.20	0.15	0.16	0.14	0.13	0.23	0.14	0.19	0.10	0.16
Totale	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01	99.99	100.01	100.00	99.99	100.00	99.99	100.00	100.00	99.99	100.01	100.00
Si	1.95	1.95	1.93	1.93	1.80	1.94	1.94	1.94	1.96	1.88	1.91	1.87	1.88	1.85	1.81	1.80	1.74	1.84	1.88	1.73	1.90	1.76
Al^(IV)	0.05	0.05	0.07	0.07	0.20	0.06	0.06	0.06	0.04	0.12	0.09	0.13	0.12	0.15	0.19	0.20	0.26	0.16	0.12	0.27	0.10	0.24
Al^(VI)	0.10	0.11	0.07	0.12	0.11	0.09	0.09	0.10	0.10	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.06	0.06	0.07	0.11	0.05	0.10	0.10	0.09
Al tot	0.15	0.16	0.15	0.19	0.31	0.15	0.16	0.16	0.14	0.20	0.18	0.21	0.20	0.22	0.25	0.26	0.33	0.26	0.17	0.37	0.20	0.33
Ti	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02	0.05	0.02	0.04
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	-	-	-	-	0.17	-	-	-	-	0.04	-	0.04	0.05	0.06	0.12	0.13	0.14	0.05	0.07	0.12	0.01	0.12
Fe²⁺	0.11	0.11	0.13	0.13	-	0.12	0.12	0.12	0.10	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.16	0.15	0.17	0.14	0.08	0.19	0.12	0.17
Fetot	0.11	0.11	0.13	0.13	0.17	0.12	0.12	0.12	0.10	0.17	0.17	0.22	0.19	0.20	0.28	0.28	0.31	0.19	0.15	0.30	0.13	0.28
Mn	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01
Mg	0.95	0.95	0.91	0.90	0.66	0.91	0.93	0.95	0.97	0.82	0.82	0.75	0.79	0.77	0.69	0.68	0.64	0.78	0.88	0.61	0.88	0.66
Ca	0.75	0.74	0.83	0.76	0.91	0.79	0.79	0.75	0.74	0.85	0.84	0.89	0.87	0.88	0.89	0.89	0.89	0.85	0.86	0.92	0.82	0.89
Na	0.06	0.07	0.02	0.07	0.10	0.06	0.05	0.06	0.08	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01	0.04	0.03
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01
Wo %	41.2	41.2	44.5	42.4	57.9	43.6	42.9	41.3	40.8	47.2	46.0	48.8	48.3	49.0	51.2	51.7	52.3	48.2	47.2	53.4	45.0	51.8
En %	52.6	52.9	48.7	50.6	42.2	49.7	50.5	52.3	53.8	45.6	44.6	41.5	43.5	43.0	39.5	39.6	37.7	44.0	48.4	35.6	48.2	38.4
Fs %	6.15	5.95	6.79	7.05	-0.13	6.72	6.59	6.35	5.36	7.26	9.43	9.77	8.18	8.00	9.32	8.65	10.0	7.78	4.41	10.97	6.82	9.72

Tabella 12. Continuo.

Campione	PNR																					
SiO₂	53.0	45.5	55.2	53.0	50.3	50.4	45.6	46.7	44.8	53.1	52.3	53.1	53.5	52.5	52.0	51.8	48.4	48.1	45.8	49.8	54.1	53.7
TiO₂	0.52	1.79	0.37	0.65	0.78	1.00	2.25	1.63	1.85	0.33	0.64	0.50	0.48	0.59	0.55	0.68	1.04	0.95	1.73	1.05	0.45	0.54
Al₂O₃	3.34	7.84	2.99	3.51	4.03	4.57	8.42	7.77	8.65	2.71	3.14	2.40	1.61	2.62	3.14	3.45	6.27	7.02	8.24	5.54	1.79	1.98
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	4.45	10.3	2.55	4.41	7.38	7.94	9.54	9.13	10.81	5.04	5.70	4.78	3.89	4.90	5.84	5.98	8.94	8.44	9.87	7.71	2.72	3.12
MnO	0.10	0.32	0.28	0.23	0.18	0.19	0.29	0.33	0.36	0.13	0.18	0.16	0.29	0.27	0.19	0.19	0.30	0.05	0.25	0.24	0.20	0.25
MgO	16.8	10.8	19.5	16.5	14.0	13.5	11.1	11.8	10.5	15.9	14.9	15.9	16.4	15.3	14.7	14.6	12.0	11.9	10.9	12.6	17.5	17.3
CaO	21.4	22.7	18.7	21.2	22.6	21.9	22.3	22.1	22.3	22.4	22.7	22.8	23.4	23.3	23.1	22.9	22.5	22.9	22.7	22.5	22.9	22.7
Na₂O	0.38	0.52	0.27	0.32	0.54	0.32	0.29	0.40	0.56	0.33	0.30	0.22	0.25	0.33	0.35	0.26	0.48	0.50	0.39	0.43	0.21	0.29
K₂O	0.08	0.19	0.13	0.15	0.25	0.17	0.26	0.16	0.12	0.11	0.13	0.16	0.15	0.15	0.07	0.15	0.11	0.15	0.17	0.08	0.15	0.08
Totale	100.00	100.02	100.00	100.02	100.00	100.00	100.01	99.98	99.99	100.01	100.00	100.00	100.00	100.01	100.00	100.01	100.00	100.01	100.01	99.99	100.00	100.01
Si	1.93	1.70	1.96	1.93	1.86	1.87	1.71	1.74	1.68	1.94	1.93	1.94	1.95	1.93	1.92	1.91	1.81	1.79	1.71	1.85	1.96	1.95
Al^(IV)	0.07	0.30	0.04	0.07	0.14	0.13	0.29	0.26	0.32	0.06	0.07	0.06	0.05	0.07	0.08	0.09	0.19	0.21	0.29	0.15	0.04	0.05
Al^(VI)	0.07	0.05	0.09	0.08	0.03	0.07	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.02	0.04	0.05	0.06	0.08	0.10	0.08	0.09	0.04	0.04
Al tot	0.14	0.35	0.13	0.15	0.18	0.20	0.37	0.34	0.38	0.12	0.14	0.10	0.07	0.11	0.14	0.15	0.28	0.31	0.36	0.24	0.08	0.08
Ti	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.05	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.05	0.03	0.01	0.01
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	-	0.20	-	-	0.13	0.05	0.13	0.13	0.20	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.03	0.03	0.10	0.11	0.16	0.03	-	0.01
Fe²⁺	0.13	0.12	0.08	0.13	0.10	0.20	0.17	0.16	0.14	0.14	0.16	0.14	0.09	0.11	0.15	0.15	0.18	0.15	0.15	0.21	0.08	0.08
Fetot	0.14	0.32	0.08	0.13	0.23	0.25	0.30	0.28	0.34	0.15	0.18	0.15	0.12	0.15	0.18	0.18	0.28	0.26	0.31	0.24	0.08	0.09
Mn	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Mg	0.91	0.61	1.04	0.90	0.77	0.75	0.62	0.66	0.59	0.87	0.82	0.87	0.89	0.84	0.81	0.80	0.66	0.66	0.61	0.70	0.95	0.94
Ca	0.83	0.91	0.71	0.83	0.89	0.87	0.90	0.88	0.90	0.88	0.89	0.89	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90	0.91	0.91	0.90	0.89	0.88
Na	0.03	0.04	0.06	0.03	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.01	0.02
K	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-
Wo %	44.4	55.6	39.1	44.5	50.8	47.9	53.3	52.1	55.1	46.6	47.6	47.1	48.2	49.1	48.9	48.6	51.6	52.9	54.4	49.7	46.4	46.3
En %	48.5	36.9	56.7	48.3	43.7	41.1	36.9	38.7	36.3	46.1	43.6	45.8	47.0	44.9	43.2	43.1	38.2	38.4	36.4	38.8	49.3	49.3
Fs %	7.07	7.55	4.15	7.22	5.54	11.0	9.87	9.23	8.59	7.33	8.78	7.17	4.76	5.99	7.86	8.29	10.2	8.67	9.15	11.5	4.28	4.39

Tabella 12. Continuo.

Campione	PNR										RED										
SiO₂	53.9	54.6	46.8	45.4	46.3	53.6	52.4	52.3	50.8	52.1	44.6	44.7	43.7	52.3	53.1	51.1	48.8	49.8	50.8	50.5	51.3
TiO₂	0.41	0.36	1.40	1.57	1.46	0.51	0.55	0.56	0.66	0.77	1.83	1.76	2.17	0.81	0.68	0.77	1.30	1.41	1.06	1.02	1.02
Al₂O₃	2.06	1.73	7.49	8.11	7.65	2.61	2.69	2.83	3.76	3.26	9.31	9.41	5.91	2.65	1.93	3.36	5.69	4.61	4.77	4.09	3.67
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	2.98	2.77	10.6	12.0	10.9	3.73	5.34	5.43	7.17	4.29	10.3	10.3	13.1	4.54	6.92	8.53	9.20	9.11	6.74	8.10	7.63
MnO	0.09	0.23	0.36	0.48	0.34	0.20	0.18	0.18	0.23	0.18	0.33	0.31	0.27	0.26	0.31	0.51	0.34	0.56	0.25	0.32	0.33
MgO	17.4	17.1	10.4	9.54	10.1	16.4	15.2	15.2	14.0	16.2	10.5	10.6	11.8	16.1	14.3	12.6	12.0	12.0	13.9	13.2	13.5
CaO	22.9	22.9	22.3	22.4	22.6	22.7	23.3	23.2	22.9	22.7	22.7	22.6	22.0	22.8	22.0	22.7	22.2	22.0	21.7	22.1	22.1
Na₂O	0.19	0.16	0.57	0.56	0.39	0.22	0.29	0.24	0.31	0.29	0.38	0.27	0.80	0.38	0.47	0.24	0.30	0.38	0.50	0.50	0.39
K₂O	0.10	0.12	0.12	0.08	0.13	0.08	0.11	0.12	0.15	0.16	0.06	0.13	0.20	0.25	0.21	0.19	0.20	0.14	0.14	0.09	0.17
Totale	100.00	100.02	100.01	100.01	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.01	99.99	100.02	100.02	100.00	99.98	100.00	100.01
Si	1.96	1.97	1.76	1.71	1.75	1.95	1.92	1.92	1.88	1.90	1.67	1.68	1.64	1.91	1.97	1.91	1.83	1.87	1.88	1.88	1.90
Al^(IV)	0.04	0.03	0.24	0.29	0.25	0.05	0.08	0.08	0.12	0.10	0.33	0.32	-	0.09	0.03	0.09	0.17	0.13	0.12	0.12	0.10
Al^(VI)	0.04	0.05	0.09	0.08	0.09	0.06	0.04	0.04	0.04	0.04	0.08	0.09	0.26	0.03	0.05	0.06	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07
Al tot	0.09	0.07	0.33	0.36	0.34	0.11	0.12	0.12	0.16	0.14	0.41	0.42	0.26	0.11	0.08	0.15	0.25	0.20	0.21	0.18	0.16
Ti	0.01	0.01	0.04	0.04	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	-	-	0.13	0.17	0.13	-	0.04	0.03	0.08	0.05	0.17	0.16	0.41	0.07	-	0.03	0.07	0.03	0.03	0.05	0.02
Fe²⁺	0.09	0.08	0.20	0.21	0.22	0.11	0.13	0.14	0.15	0.08	0.15	0.16	-	0.07	0.21	0.24	0.22	0.26	0.18	0.20	0.22
Fetot	0.09	0.08	0.33	0.38	0.34	0.11	0.16	0.17	0.22	0.13	0.32	0.32	0.41	0.14	0.21	0.27	0.29	0.29	0.21	0.25	0.24
Mn	-	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
Mg	0.94	0.92	0.58	0.54	0.57	0.89	0.83	0.83	0.77	0.88	0.59	0.59	0.66	0.87	0.79	0.70	0.67	0.67	0.77	0.73	0.75
Ca	0.89	0.89	0.90	0.90	0.91	0.88	0.92	0.91	0.91	0.89	0.91	0.91	0.89	0.89	0.87	0.91	0.89	0.89	0.86	0.88	0.88
Na	0.01	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03
K	-	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01
Wo %	46.4	46.9	53.4	54.9	53.7	46.8	48.9	48.5	49.8	47.8	55.3	54.7	57.3	48.5	46.5	49.1	50.0	48.8	47.6	48.6	47.6
En %	48.9	48.7	34.5	32.6	33.5	47.2	44.3	44.2	42.2	47.6	35.6	35.7	42.7	47.6	42.1	38.0	37.5	36.8	42.4	40.4	40.5
Fs %	4.70	4.41	12.1	12.6	12.8	6.01	6.78	7.26	7.96	4.54	9.10	9.65	0.01	3.94	11.4	12.9	12.5	14.4	10.0	11.0	11.9

Tabella 12. Continuo.

Campione	RED																					
SiO₂	51.9	51.8	51.5	50.9	47.2	46.5	46.6	52.2	51.0	49.7	49.6	49.2	49.6	49.7	49.3	49.0	51.6	50.7	53.1	52.8	52.0	47.9
TiO₂	0.97	0.81	0.72	0.78	1.47	1.61	1.60	0.74	0.89	0.99	0.90	0.98	0.85	0.88	1.08	1.05	0.68	0.85	0.48	0.42	0.73	1.17
Al₂O₃	3.31	6.31	4.21	4.27	7.67	7.72	7.46	3.32	3.89	5.17	5.51	5.42	5.40	5.64	5.56	5.75	3.87	5.01	3.51	2.91	3.48	6.76
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	5.42	9.31	6.05	5.60	9.20	9.63	9.61	4.83	5.63	6.14	7.26	7.38	7.05	7.27	7.12	7.61	5.29	5.77	4.45	4.71	4.77	8.25
MnO	0.18	0.51	-	0.19	0.24	0.26	0.22	0.21	0.21	0.15	0.23	0.21	0.11	0.12	0.23	0.21	0.36	0.33	0.19	0.16	0.11	0.36
MgO	15.2	10.7	14.8	15.2	11.7	11.6	11.3	15.8	15.1	14.3	13.8	13.5	13.6	13.5	13.5	13.1	15.3	14.5	16.4	15.8	15.6	12.2
CaO	22.4	20.0	22.4	22.7	22.2	22.1	22.7	22.6	22.8	23.2	22.4	22.8	23.1	22.5	22.9	22.9	22.4	22.3	21.5	23.0	23.0	23.2
Na₂O	0.47	0.31	0.26	0.27	0.25	0.46	0.45	0.25	0.32	0.28	0.18	0.34	0.30	0.28	0.17	0.22	0.37	0.36	0.32	0.22	0.22	0.10
K₂O	0.20	0.24	0.10	0.13	0.17	0.15	0.08	0.13	0.12	0.11	0.14	0.11	0.07	0.12	0.08	0.13	0.17	0.08	0.09	0.08	0.10	0.09
Totale	100.00	99.99	100.00	100.02	100.01	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.01	100.01	99.99	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00
Si	1.90	1.92	1.90	1.87	1.76	1.74	1.74	1.91	1.87	1.83	1.84	1.82	1.83	1.84	1.83	1.82	1.89	1.87	1.93	1.93	1.90	1.79
Al^(IV)	0.10	0.08	0.10	0.13	0.24	0.26	0.26	0.09	0.13	0.17	0.16	0.18	0.17	0.16	0.17	0.18	0.11	0.13	0.07	0.07	0.10	0.21
Al^(VI)	0.05	0.20	0.08	0.05	0.10	0.08	0.07	0.05	0.04	0.06	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.08	0.08	0.06	0.05	0.08
Al tot	0.14	0.28	0.18	0.18	0.34	0.34	0.33	0.14	0.17	0.22	0.24	0.24	0.24	0.25	0.24	0.25	0.17	0.22	0.15	0.13	0.15	0.30
Ti	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.05	-	0.02	0.07	0.09	0.14	0.14	0.02	0.07	0.09	0.06	0.10	0.08	0.06	0.06	0.08	0.06	0.04	-	0.01	0.03	0.08
Fe²⁺	0.12	0.29	0.17	0.11	0.20	0.16	0.16	0.12	0.10	0.10	0.16	0.13	0.14	0.17	0.16	0.16	0.11	0.14	0.14	0.13	0.12	0.18
Fetot	0.17	0.29	0.19	0.17	0.29	0.30	0.30	0.15	0.17	0.19	0.22	0.23	0.22	0.22	0.22	0.24	0.16	0.18	0.14	0.14	0.15	0.26
Mn	0.01	0.02	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01
Mg	0.83	0.59	0.81	0.83	0.65	0.64	0.63	0.86	0.83	0.78	0.76	0.75	0.75	0.74	0.75	0.73	0.84	0.80	0.89	0.86	0.85	0.68
Ca	0.88	0.79	0.88	0.89	0.89	0.88	0.91	0.89	0.90	0.91	0.89	0.90	0.92	0.89	0.91	0.91	0.88	0.88	0.84	0.90	0.90	0.93
Na	0.03	0.08	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
K	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-
Wo %	48.1	47.5	47.4	48.8	51.2	52.5	53.4	47.4	49.0	50.9	49.2	50.9	50.9	49.5	50.2	50.8	48.2	48.5	45.0	47.5	48.2	52.0
En %	45.3	35.3	43.5	45.5	37.5	38.2	37.1	46.0	45.3	43.5	41.9	42.0	41.5	41.3	41.1	40.5	45.9	43.8	47.7	45.4	45.4	38.0
Fs %	6.59	17.3	9.17	5.75	11.4	9.32	9.50	6.64	5.64	5.61	8.89	7.16	7.66	9.17	8.70	8.79	5.84	7.71	7.28	7.08	6.40	10.1

Tabella 12. Continuo.

Campione	RED									VSN2											
SiO₂	47.7	47.2	47.6	47.1	51.2	50.8	48.6	48.5	52.5	52.5	49.8	48.4	47.8	47.2	49.4	49.4	50.0	52.4	52.7	51.8	48.2
TiO₂	1.15	1.22	1.15	1.19	0.74	0.79	1.03	1.04	0.58	0.58	0.83	1.20	1.44	1.26	0.92	1.12	0.99	0.59	0.53	0.72	0.95
Al₂O₃	7.32	6.94	7.08	7.49	4.52	4.45	6.10	6.20	3.17	3.52	5.39	6.51	7.81	8.14	5.93	5.40	5.67	3.54	3.45	3.34	6.32
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	8.17	8.39	7.99	8.37	6.02	6.13	7.72	7.59	4.49	4.07	7.04	8.01	7.93	8.06	7.29	6.94	5.64	4.06	4.01	4.14	8.00
MnO	0.20	0.32	0.28	0.12	0.13	0.12	0.29	0.32	0.25	0.17	0.32	0.22	0.20	0.29	0.15	0.24	0.12	0.16	-	0.22	0.36
MgO	12.4	12.2	12.3	12.1	14.5	14.3	12.8	12.7	15.6	16.6	13.8	12.7	12.3	12.4	13.4	14.2	15.0	16.2	16.2	16.5	13.1
CaO	22.9	23.2	23.1	23.0	22.5	22.8	23.0	23.0	23.0	22.1	22.4	22.5	21.9	22.2	22.6	22.0	22.2	22.6	22.7	22.9	22.6
Na₂O	0.07	0.35	0.46	0.42	0.27	0.40	0.45	0.53	0.28	0.33	0.26	0.33	0.43	0.33	0.25	0.53	0.26	0.29	0.31	0.28	0.40
K₂O	0.09	0.15	0.12	0.13	0.13	0.13	0.07	0.20	0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.00	100.01	100.01	99.99	100.00	99.99	100.00	99.99	100.01	99.99	99.99	99.99	100.01	99.98	100.01	99.99	100.00	100.00	99.99	100.01	100.01
Si	1.78	1.75	1.77	1.75	1.89	1.87	1.80	1.80	1.92	1.91	1.84	1.80	1.78	1.75	1.83	1.82	1.84	1.91	1.92	1.89	1.79
Al^(IV)	0.22	0.25	0.23	0.25	0.11	0.13	0.20	0.20	0.08	0.09	0.16	0.20	0.22	0.25	0.17	0.18	0.16	0.09	0.08	0.11	0.21
Al^(VI)	0.10	0.06	0.08	0.08	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08	0.09	0.12	0.11	0.09	0.06	0.08	0.07	0.07	0.03	0.06
Al tot	0.32	0.30	0.31	0.33	0.20	0.19	0.27	0.27	0.14	0.15	0.24	0.29	0.34	0.36	0.26	0.23	0.25	0.15	0.15	0.14	0.28
Ti	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.08	0.16	0.14	0.15	0.02	0.06	0.11	0.14	0.03	0.01	0.05	0.07	0.05	0.09	0.05	0.09	0.04	0.01	-	0.06	0.12
Fe²⁺	0.18	0.10	0.11	0.11	0.16	0.13	0.13	0.10	0.11	0.11	0.17	0.18	0.20	0.16	0.18	0.12	0.13	0.12	0.12	0.07	0.12
Fetot	0.25	0.26	0.25	0.26	0.19	0.19	0.24	0.24	0.14	0.12	0.22	0.25	0.25	0.25	0.23	0.21	0.17	0.12	0.12	0.13	0.25
Mn	0.01	0.01	0.01	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-	-	-	0.01	0.01
Mg	0.69	0.68	0.68	0.67	0.80	0.79	0.71	0.70	0.85	0.90	0.76	0.70	0.68	0.69	0.74	0.78	0.82	0.88	0.88	0.90	0.72
Ca	0.91	0.92	0.92	0.92	0.89	0.90	0.91	0.91	0.90	0.86	0.89	0.90	0.87	0.89	0.90	0.87	0.87	0.88	0.89	0.89	0.90
Na	0.01	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03
K	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo %	51.5	54.2	53.8	53.8	48.0	49.7	52.2	53.3	48.4	46.0	48.9	50.5	49.9	51.2	49.3	49.1	48.0	47.0	47.0	47.9	51.4
En %	38.6	39.7	39.9	39.4	43.1	43.4	40.4	41.0	45.6	48.0	41.8	39.6	38.9	39.8	40.8	44.0	44.9	46.9	46.5	48.3	41.5
Fs %	9.95	6.08	6.35	6.75	8.93	6.92	7.41	5.71	5.97	6.01	9.21	10.0	11.1	9.07	9.94	6.91	7.14	6.14	6.48	3.77	7.16

Tabella 12. Continuo.

Campione	VSN2																					
SiO₂	50.5	49.3	49.2	48.4	48.0	48.2	48.9	50.5	50.5	51.0	48.5	52.5	51.9	49.3	48.8	48.1	49.5	48.5	49.0	48.7	48.5	51.7
TiO₂	0.92	1.16	1.21	1.12	1.24	1.21	0.95	0.97	0.83	0.78	1.01	0.49	0.53	0.79	1.02	1.40	0.81	1.09	1.04	1.02	1.00	0.61
Al₂O₃	4.97	6.35	6.06	6.55	7.11	7.08	6.05	4.63	4.17	4.29	6.13	2.86	3.23	5.42	5.67	5.89	5.25	6.01	5.85	5.87	6.04	3.44
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	5.95	5.71	6.35	6.95	8.26	8.39	7.62	5.84	6.28	5.82	8.21	4.55	5.03	6.38	8.99	9.00	7.46	8.24	7.72	7.80	7.66	4.70
MnO	0.21	0.17	0.32	0.19	0.17	0.12	0.28	0.19	0.28	0.11	0.15	0.19	0.11	0.13	0.39	0.36	0.07	0.33	0.20	0.09	0.26	0.20
MgO	14.5	14.5	14.0	13.7	12.3	12.4	13.3	14.6	14.5	14.7	12.8	16.6	15.8	14.5	12.5	12.4	13.8	12.8	13.0	13.1	13.4	16.1
CaO	22.5	22.5	22.3	22.6	22.4	22.3	22.4	22.6	23.1	22.8	22.7	22.3	23.0	23.0	22.0	22.2	22.8	22.7	22.8	23.0	22.7	22.9
Na₂O	0.30	0.34	0.37	0.32	0.44	0.23	0.38	0.44	0.21	0.38	0.47	0.38	0.27	0.32	0.56	0.49	0.22	0.24	0.30	0.36	0.43	0.28
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totale	100.01	100.01	100.01	100.00	100.00	100.01	100.01	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.02	100.00	100.00	100.00	99.99	99.99	100.01	99.99	100.01	100.00
Si	1.86	1.81	1.82	1.79	1.79	1.80	1.81	1.86	1.87	1.88	1.80	1.92	1.90	1.81	1.82	1.79	1.83	1.81	1.82	1.81	1.79	1.89
Al^(IV)	0.14	0.19	0.18	0.21	0.21	0.20	0.19	0.14	0.13	0.12	0.20	0.08	0.10	0.19	0.18	0.21	0.17	0.19	0.18	0.19	0.21	0.11
Al^(VI)	0.08	0.09	0.08	0.08	0.10	0.11	0.08	0.06	0.05	0.06	0.07	0.04	0.04	0.05	0.07	0.05	0.06	0.07	0.08	0.06	0.06	0.04
Al tot	0.22	0.28	0.26	0.29	0.31	0.31	0.26	0.20	0.18	0.19	0.27	0.12	0.14	0.24	0.25	0.26	0.23	0.26	0.26	0.26	0.26	0.15
Ti	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.03	0.06	0.06	0.10	0.08	0.05	0.09	0.06	0.05	0.05	0.11	0.04	0.04	0.12	0.10	0.11	0.07	0.08	0.07	0.10	0.12	0.06
Fe²⁺	0.15	0.11	0.13	0.12	0.18	0.22	0.15	0.12	0.14	0.13	0.15	0.09	0.11	0.08	0.18	0.17	0.16	0.18	0.17	0.14	0.11	0.09
Fetot	0.18	0.18	0.20	0.21	0.26	0.26	0.24	0.18	0.19	0.18	0.26	0.14	0.15	0.20	0.28	0.28	0.23	0.26	0.24	0.24	0.24	0.14
Mn	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-	-	0.01	-	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01
Mg	0.80	0.79	0.77	0.75	0.68	0.69	0.74	0.80	0.80	0.81	0.71	0.90	0.87	0.80	0.69	0.69	0.76	0.71	0.72	0.72	0.74	0.88
Ca	0.89	0.88	0.88	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.91	0.90	0.90	0.87	0.90	0.91	0.88	0.89	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90
Na	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wo %	48.5	49.4	49.3	50.6	51.0	49.5	50.1	49.1	49.4	48.9	51.5	46.7	48.0	50.9	50.1	50.7	49.7	50.5	50.6	51.4	51.4	48.1
En %	43.4	44.4	43.3	42.6	38.9	38.5	41.5	44.2	43.0	43.9	40.2	48.3	46.1	44.6	39.4	39.5	41.7	39.5	40.0	40.7	42.1	47.2
Fs %	8.10	6.18	7.44	6.76	10.1	12.0	8.39	6.75	7.56	7.27	8.32	5.04	5.82	4.48	10.4	9.84	8.66	10.0	9.48	7.98	6.48	4.73

Tabella 12. Continuo.

Campione	VSN2																					
SiO₂	49.7	51.9	49.1	49.9	50.2	46.1	47.4	49.8	49.2	48.4	47.2	47.1	46.5	46.0	48.9	48.6	49.6	47.9	48.4	47.4	49.5	52.6
TiO₂	0.89	0.67	1.06	0.93	0.95	1.53	1.30	0.77	1.14	1.21	1.24	1.19	1.45	1.51	0.90	1.10	0.96	1.14	1.07	1.05	1.15	0.62
Al₂O₃	4.84	3.53	6.06	4.74	5.35	8.34	7.38	6.09	6.53	6.49	8.32	7.85	7.87	8.81	6.66	6.44	5.45	6.48	6.00	6.83	7.34	4.32
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	6.17	4.38	6.82	6.70	6.36	9.62	7.68	5.77	5.97	7.51	8.54	8.66	9.08	9.42	7.95	8.02	7.71	11.63	11.63	11.93	8.78	5.29
MnO	0.27	-	0.17	0.25	0.21	0.30	0.20	-	0.20	0.22	0.08	0.21	0.27	0.20	0.10	0.27	0.07	0.49	0.42	0.48	0.06	-
MgO	14.5	15.7	13.5	14.3	14.1	11.1	12.6	14.4	14.3	13.0	12.0	12.1	11.6	11.0	12.9	12.8	12.9	9.88	10.1	10.1	11.3	14.4
CaO	23.1	23.4	22.9	22.7	22.4	22.4	23.0	22.7	22.2	22.8	22.2	22.4	22.7	22.6	22.2	22.5	23.0	21.4	21.6	21.4	21.0	21.9
Na₂O	0.32	0.27	0.26	0.30	0.17	0.48	0.34	0.31	0.32	0.26	0.32	0.43	0.32	0.30	0.34	0.25	0.28	0.98	0.75	0.72	0.88	0.79
K₂O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.08	0.15	0.16	0.10	0.08	0.07	0.06	0.12	0.10	0.15	0.03	0.08
Totale	100.00	100.01	100.00	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	99.99	100.00	100.01	100.00	100.01	100.00	99.99	100.00	100.00	99.99	99.99	100.00	100.01	100.01
Si	1.83	1.90	1.82	1.84	1.86	1.73	1.76	1.83	1.81	1.80	1.76	1.75	1.74	1.72	1.81	1.80	1.84	1.80	1.83	1.79	1.84	1.93
Al^(IV)	0.17	0.10	0.18	0.16	0.14	0.27	0.24	0.17	0.19	0.20	0.24	0.25	0.26	0.28	0.19	0.20	0.16	0.20	0.17	0.21	0.16	0.07
Al^(VI)	0.04	0.05	0.08	0.05	0.09	0.09	0.08	0.10	0.10	0.08	0.12	0.09	0.08	0.11	0.10	0.09	0.08	0.09	0.09	0.09	0.16	0.11
Al tot	0.21	0.15	0.26	0.21	0.23	0.37	0.32	0.26	0.28	0.28	0.36	0.34	0.35	0.39	0.29	0.28	0.24	0.29	0.27	0.30	0.32	0.19
Ti	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.10	0.03	0.06	0.07	0.01	0.13	0.11	0.05	0.05	0.07	0.09	0.13	0.14	0.12	0.07	0.07	0.05	0.12	0.08	0.13	-	-
Fe²⁺	0.09	0.11	0.15	0.13	0.19	0.17	0.13	0.13	0.13	0.16	0.18	0.14	0.14	0.18	0.18	0.18	0.19	0.24	0.28	0.24	0.27	0.16
Fetot	0.19	0.13	0.21	0.21	0.20	0.30	0.24	0.18	0.18	0.23	0.27	0.27	0.28	0.29	0.25	0.25	0.24	0.37	0.37	0.38	0.27	0.16
Mn	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	-	0.01	-	0.02	0.01	0.02	-	-
Mg	0.80	0.86	0.74	0.79	0.78	0.62	0.70	0.79	0.78	0.72	0.67	0.67	0.65	0.61	0.71	0.71	0.71	0.55	0.57	0.56	0.62	0.79
Ca	0.91	0.92	0.91	0.90	0.89	0.90	0.92	0.89	0.87	0.91	0.89	0.89	0.91	0.91	0.88	0.89	0.92	0.86	0.87	0.87	0.84	0.86
Na	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.07	0.05	0.05	0.07	0.06
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	0.01	-	-	-	-	0.01	-	0.01	-	-
Wo %	50.6	48.7	50.2	49.4	47.9	53.1	52.6	49.4	48.8	50.7	51.2	52.6	53.5	53.4	49.7	50.2	50.4	51.9	50.7	51.7	48.2	47.5
En %	44.3	45.6	41.2	43.3	41.9	36.6	40.0	43.6	43.8	40.2	38.5	39.4	38.0	36.1	40.3	39.9	39.1	33.4	32.9	33.7	36.0	43.5
Fs %	5.11	5.73	8.56	7.28	10.2	10.3	7.43	6.98	7.33	9.11	10.3	8.02	8.51	10.5	10.0	9.89	10.4	14.7	16.4	14.5	15.7	8.96

Tabella 12. Continuo.

Campione	VSN2												
SiO₂	48.6	49.0	49.3	48.9	52.0	51.4	48.9	47.7	52.0	47.5	48.7	49.5	48.5
TiO₂	0.88	0.90	1.13	1.19	0.56	0.85	1.07	1.03	0.71	1.42	1.29	0.91	1.19
Al₂O₃	6.12	6.12	6.39	6.42	3.05	4.36	5.46	6.80	3.88	7.18	6.45	5.28	5.30
Cr₂O₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FeO	8.00	7.89	7.80	7.88	5.12	5.16	8.22	8.27	5.39	8.29	6.72	7.82	8.13
MnO	0.16	0.19	-	0.18	0.25	0.33	0.30	0.16	0.16	0.18	0.18	-	0.36
MgO	12.8	12.7	12.3	12.6	15.9	15.2	12.7	12.3	14.4	12.3	13.7	12.8	12.9
CaO	23.0	22.8	22.3	22.4	22.6	22.3	22.9	23.4	23.0	22.7	22.5	23.5	23.3
Na₂O	0.26	0.37	0.62	0.32	0.32	0.21	0.29	0.31	0.34	0.29	0.38	0.18	0.26
K₂O	0.19	0.13	0.12	0.13	0.18	0.12	0.14	0.10	0.11	0.16	0.05	0.08	0.12
Totale	100.01	100.02	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.98	100.00	100.00	100.02	100.01	99.99
Si	1.80	1.82	1.83	1.82	1.90	1.89	1.82	1.77	1.91	1.77	1.80	1.84	1.80
Al^(VI)	0.20	0.18	0.17	0.18	0.10	0.11	0.18	0.23	0.09	0.23	0.20	0.16	0.20
Al^(IV)	0.07	0.09	0.11	0.10	0.04	0.08	0.06	0.07	0.08	0.08	0.08	0.07	0.03
Al tot	0.27	0.27	0.28	0.28	0.13	0.19	0.24	0.30	0.17	0.31	0.28	0.23	0.23
Ti	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03
Cr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe³⁺	0.11	0.09	0.05	0.06	0.07	0.01	0.09	0.13	-	0.11	0.08	0.06	0.13
Fe²⁺	0.13	0.16	0.19	0.19	0.09	0.14	0.16	0.12	0.17	0.15	0.12	0.18	0.13
Fetot	0.25	0.24	0.24	0.24	0.16	0.16	0.26	0.26	0.17	0.26	0.21	0.24	0.25
Mn	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	0.01
Mg	0.71	0.70	0.68	0.70	0.86	0.83	0.70	0.68	0.79	0.68	0.75	0.71	0.72
Ca	0.91	0.91	0.89	0.89	0.89	0.88	0.91	0.93	0.91	0.90	0.89	0.93	0.93
Na	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02
K	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-	0.01	0.01	-	-	0.01
Wo %	52.0	51.3	50.4	50.2	48.2	47.4	51.4	53.6	48.8	52.0	50.4	51.2	52.4
En %	40.4	39.7	38.8	39.2	47.0	44.8	39.4	39.2	42.3	39.4	42.6	38.9	40.5
Fs %	7.67	9.01	10.8	10.6	4.86	7.81	9.21	7.17	8.90	8.60	7.02	10.0	7.14

Tabella 13. Concentrazioni (in ppm) degli elementi in tracce nei clinopirosseni delle tre tipologie di pozzolana ottenute mediante analisi LA-ICP-MS; PNR = *Pozzolana Nera*, RED = *Pozzolana Rossa*, VSN2 = *Pozzolanella*.

Campione	PNR																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Sc	83.7	88.5	89.9	105.9	98.2	93.0	90.0	85.5	72.2	104.0	87.2	100.9	112.0	135.4	136.4	128.2	46.5	44.3	62.2	121.6	103.6	110.1	100.1	166.7
V	79.8	71.1	68.0	68.6	91.4	114.5	131.8	208	221.1	246.1	252.9	260.3	45.5	53.2	57.4	46.6	314.2	330.6	260.7	108.6	90.9	96.1	96.5	106.8
Y	8.49	6.52	6.69	8.87	9.50	10.6	10.9	21.2	16.9	20.1	20.6	23.3	6.55	9.21	9.92	7.59	18.6	19.6	19.4	20.7	9.34	10.8	10.9	19.5
Pr	6.33	5.61	4.61	5.73	6.85	8.89	9.03	21.6	13.9	16.3	17.2	19.0	4.03	4.11	3.99	4.03	17.3	18.1	15.8	9.73	6.43	6.28	6.65	11.4
Nd	30.5	24.2	24.2	27.9	35.7	41.0	40.7	84.6	62.4	76.1	71.7	81.2	19.3	23.0	26.2	24.4	70.0	72.4	73.3	50.2	34.1	32.8	36.0	61.8
Sm	8.40	6.40	5.39	5.75	9.15	8.66	9.76	14.8	12.1	16.6	15.6	17.3	3.99	7.00	7.16	5.50	13.1	13.9	13.8	12.6	6.06	6.51	7.82	11.7
Eu	1.41	1.04	1.15	1.11	1.42	2.41	1.31	3.11	2.51	3.44	2.87	3.02	1.03	1.23	0.97	1.15	2.09	3.43	2.45	2.01	1.15	1.24	1.23	1.80
Gd	5.57	3.47	4.15	3.92	5.21	5.72	4.30	10.2	7.50	10.8	8.44	10.7	3.21	5.96	6.98	3.32	10.1	9.30	7.50	11.9	4.81	4.19	5.27	7.25
Tb	0.64	0.44	0.38	0.45	0.75	0.57	0.59	0.95	0.86	1.30	1.33	1.16	0.40	0.52	0.79	0.48	0.85	0.94	1.05	0.99	0.37	0.59	0.68	1.26
Dy	3.16	2.17	2.23	2.46	2.36	2.50	3.44	4.15	4.00	5.29	5.22	5.96	2.21	1.44	3.42	3.01	5.04	4.86	4.39	7.14	3.17	2.79	2.95	4.96
Ho	0.29	0.19	0.24	0.15	0.25	0.53	0.40	0.43	0.82	0.71	0.68	0.87	0.23	0.20	0.29	0.30	0.78	0.84	0.77	1.32	0.42	0.29	0.47	0.60
Er	0.37	0.92	0.51	0.91	1.19	0.57	0.77	1.60	1.16	2.01	2.06	2.76	0.31	n.d.	n.d.	0.38	2.28	2.25	2.04	1.05	0.80	0.73	1.45	0.81
Yb	1.35	0.42	n.d.	0.41	n.d.	n.d.	n.d.	1.17	1.46	1.62	1.79	1.93	n.d.	n.d.	0.78	n.d.	1.28	1.99	0.92	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.88
Lu	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.12	0.16	n.d.	0.40	0.26	0.31	0.30	0.45	n.d.	0.14	n.d.	n.d.	0.17	0.21	0.14	0.23	0.12	0.16	n.d.	n.d.
Th	0.28	0.17	0.27	0.19	0.23	0.29	0.36	40.0	0.97	2.13	1.48	1.50	0.18	0.10	0.23	0.20	1.00	1.25	1.02	0.84	0.23	0.14	2.93	1.08

Tabella 13. Continuo.

Campione	RED																							
Sc	41.6	45.8	33.8	86.0	82.1	105.6	24.3	20.7	29.6	36.6	30.1	23.2	77.5	100.0	89.1	107.1	92.7	24.8	19.7		32.7	34.5	78.3	99.9
V	217.0	218.0	223.0	98.2	115.7	93.1	173.5	153.2	145.5	155.7	152.6	142.0	112.2	143.8	105.1	119.2	95.9	165.2	172.7	178.9	192.9	190.7	143.4	151.3
Y	25.3	20.9	24.3	10.9	14.5	11.1	23.6	21.9	20.6	19.6	21.8	21.7	15.2	20.5	13.7	17.3	12.9	24.2	25.4	24.4	24.2	26.7	17.6	19.3
Pr	17.5	16.7	15.6	6.55	9.64	4.97	14.2	12.5	11.6	10.9	13.2	13.5	10.0	14.5	6.98	7.85	7.36	21.1	22.1	23.6	17.9	23.2	9.42	12.9
Nd	83.0	74.8	92.4	38.5	44.5	30.9	67.1	57.7	65.7	54.3	60.4	62.4	54.4	65.0	39.2	47.3	37.0	82.7	85.5	96.7	84.3	88.4	50.7	66.7
Sm	22.8	20.1	15.8	8.04	7.96	4.56	12.7	14.7	17.0	12.9	13.9	14.8	10.5	14.9	5.96	14.1	7.71	18.7	14.6	15.2	14.5	18.5	16.4	15.3
Eu	3.63	3.23	3.78	3.03	2.24	2.10	2.91	3.11	3.45	2.49	2.81	3.21	2.18	3.15	2.12	3.81	1.63	2.81	2.17	1.26	4.03	4.19	2.39	2.98
Gd	12.4	11.5	10.8	5.26	6.23	4.46	12.4	8.91	7.16	9.03	10.7	11.3	7.27	12.2	6.83	2.06	6.02	13.0	14.6	11.9	10.2	13.0	8.41	4.05
Tb	1.45	1.69	1.94	0.91	0.38	0.57	1.29	1.22	1.56	0.83	1.71	1.12	0.96	1.45	0.98	n.d.	0.59	1.18	1.52	0.84	1.16	1.48	0.66	1.36
Dy	7.71	9.59	6.08	2.11	3.72	4.53	5.20	3.96	5.04	5.70	5.80	5.55	3.56	5.96	0.98	7.94	2.73	7.20	4.96	4.94	6.62	7.56	5.28	4.76
Ho	0.81	0.52	1.17	0.80	0.27	0.51	0.93	0.77	0.89	0.66	1.06	0.95	0.84	0.87	n.d.	n.d.	0.51	0.90	0.83	2.02	1.05	0.86	0.65	1.36
Er	0.93	5.08	n.d.	1.56	0.21	0.78	1.99	2.35	2.18	2.69	2.43	2.23	1.36	2.37	n.d.	2.47	1.45	2.99	1.09	1.57	2.01	n.d.	2.61	5.15
Yb	2.91	0.86	n.d.	2.21	n.d.	n.d.	1.24	2.23	1.69	1.99	1.22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.11	1.64	1.93	n.d.	1.03	1.01	n.d.	n.d.
Lu	0.05	0.30	0.46	0.10	0.20	0.24	n.d.	0.27	n.d.	0.17	0.21	0.11	n.d.	0.31	n.d.	n.d.	0.09	0.17	0.56	n.d.	0.51	n.d.	n.d.	n.d.
Th	1.41	1.11	1.21	n.d.	1.22	0.30	1.21	1.20	1.06	1.00	1.04	1.03	1.02	0.96	n.d.	n.d.	0.22	2.29	3.28	2.76	1.85	2.20	1.03	0.34

Tabella 13. Continuo.

Campione	RED			VSN2																			
Sc	65.0	88.5	78.3	48.5	50.0	45.7	43.9	70.2	123.6	87.0	22.5	21.6	17.9	49.8	128.7	70.3	71.7	76.6	75.2	98.8	158.7	76.7	127.6
V	228.8	230.6	82.2	225.65	215.81	242.0	215.0	165.0	98.1	136.1	299.9	298.1	284.6	272.6	205.8	189.1	178.4	168.4	175.3	103.5	125.9	165.6	136.6
Y	15.0	22.6	14.8	28.4	26.7	28.3	23.5	21.8	20.7	19.4	4.19	22.2	6.25	39.0	28.3	19.9	19.6	19.6	19.4	16.8	23.1	17.0	20.5
Pr	20.5	33.6	10.1	15.0	14.5	17.9	14.8	12.7	11.7	10.4	14.5	15.6	14.0	23.2	14.9	11.4	11.0	9.91	10.2	8.71	11.1	9.13	10.6
Nd	89.3	112.5	40.9	78.9	72.1	93.4	69.8	61.6	60.8	55.0	53.6	60.8	55.4	101.2	73.9	54.8	52.8	53.6	52.0	45.5	57.5	48.0	57.0
Sm	13.6	21.2	8.98	17.1	17.1	21.2	14.1	12.7	14.8	12.9	6.29	10.5	11.0	21.7	20.3	13.6	13.2	11.6	13.4	10.6	14.8	10.2	14.4
Eu	2.62	6.29	2.28	4.15	3.09	3.54	3.10	3.25	2.48	2.36	1.14	3.26	1.55	4.66	4.15	2.60	2.87	2.64	2.60	2.21	2.71	2.19	2.36
Gd	8.30	12.7	8.14	13.3	10.4	17.0	11.8	12.7	11.1	8.45	3.27	11.6	2.73	15.3	14.7	10.8	8.91	9.73	9.06	7.66	10.9	7.98	11.6
Tb	0.71	n.d.	0.85	1.69	1.08	1.64	1.44	1.51	1.05	1.07	0.23	1.11	0.50	1.74	1.57	1.04	0.91	1.15	1.25	1.15	1.31	0.93	1.07
Dy	4.82	11.7	2.50	7.23	5.99	8.20	6.03	7.75	6.34	5.20	0.53	4.99	1.03	9.16	7.86	6.17	5.22	4.80	5.65	3.74	6.17	4.59	5.76
Ho	0.87	n.d.	0.45	1.23	0.90	1.20	0.96	1.42	0.75	0.55	n.d.	0.80	n.d.	1.56	1.20	0.86	0.86	0.69	0.90	0.84	0.97	0.54	0.95
Er	1.45	4.28	n.d.	1.45	2.02	2.47	2.08	2.14	2.49	1.60	n.d.	1.91	0.34	3.63	3.29	1.93	2.01	2.41	1.62	1.31	1.52	1.74	2.42
Yb	n.d.	n.d.	n.d.	2.76	2.66	0.91	1.72	1.77	0.84	1.75	0.17	1.44	n.d.	2.71	1.85	1.07	1.20	1.31	1.40	0.46	1.60	1.01	0.96
Lu	n.d.	n.d.	n.d.	0.21	0.11	0.43	0.23	0.44	0.17	0.21	0.06	0.36	n.d.	0.25	0.34	0.16	0.17	0.20	0.16	n.d.	0.08	0.27	0.25
Th	2.62	1.87	0.76	1.38	1.22	1.34	1.29	1.14	1.24	0.88	0.50	1.25	0.80	2.12	1.87	0.59	0.46	0.55	0.78	0.44	0.95	0.56	0.78

Tabella 13. Continuo.

Campione	VSN2				
Sc	104.3	120.4	148.5	71.4	66.6
V	150.2	212.3	182.1	121.5	131.5
Y	18.0	33.6	31.0	14.0	15.4
Pr	9.08	18.3	17.1	9.07	8.43
Nd	49.7	92.6	82.6	37.7	39.5
Sm	10.8	23.1	16.2	8.16	9.33
Eu	1.68	4.09	3.59	2.64	2.76
Gd	7.01	17.8	15.5	8.09	7.51
Tb	0.80	1.77	1.71	0.58	1.28
Dy	4.04	7.90	7.45	2.79	5.01
Ho	0.73	1.46	1.24	0.71	0.90
Er	1.40	1.63	3.58	n.d.	2.75
Yb	0.49	1.83	2.23	2.45	n.d.
Lu	0.15	0.31	0.41	0.24	0.69
Th	0.55	2.35	1.34	0.73	0.56

Tabella 14. Concentrazioni degli elementi maggiori (wt%) delle due tipologie di calcare ottenute mediante analisi SEM-EDS; calcare *Massiccio* (MAS); calcare *Maiolica* (MAI).

Campione	MAS									
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
N° analisi										
SiO ₂	1.54	2.97	3.96	5.40	8.55	5.58	5.40	6.13	5.06	12.3
Al ₂ O ₃	0.52	1.19	3.38	2.96	4.47	2.51	3.82	4.12	2.88	3.71
FeO	2.05	3.53	1.86	-	-	-	-	-	2.41	11.9
MnO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MgO	3.51	4.50	4.26	6.40	8.61	7.10	8.13	7.48	6.35	4.87
CaO	90.3	86.5	84.4	78.0	72.3	83.6	79.5	77.2	79.6	64.7
Na ₂ O	2.03	1.26	2.14	7.19	6.03	1.24	3.10	5.07	3.68	2.58
Totale	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	99.99

Tabella 14. Continuo.

Campione	MAI												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
N° analisi													
SiO ₂	1.40	2.53	5.39	1.38	3.27	2.00	2.20	1.82	6.13	2.78	6.70	2.18	1.88
Al ₂ O ₃	0.74	1.41	2.83	0.79	1.53	1.00	0.90	0.85	2.23	1.48	2.54	1.50	0.87
FeO	0.76	0.62	0.94	0.54	1.12	0.62	0.29	0.56	0.46	-	0.62	0.48	0.58
MnO	0.25	0.19	0.31	0.25	0.27	0.44	-	0.44	0.19	-	0.27	0.31	0.27
MgO	1.67	1.23	1.67	2.40	2.20	1.65	2.08	1.64	1.51	1.69	2.18	1.99	2.74
CaO	94.4	93.7	88.5	93.9	91.0	93.7	93.5	94.3	89.5	93.9	87.1	92.8	93.0
Na ₂ O	0.79	0.25	0.31	0.66	0.61	0.58	1.07	0.43	-	0.19	0.62	0.73	0.65
Totale	100.01	100.00	100.01	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00

Tabella 15. Concentrazioni (in ppm) degli elementi in tracce nelle due tipologie di calcari esaminate ottenute mediante analisi LA-ICP-MS; MAS = calcare *Massiccio*, MAI = calcare *Maiolica*.

Campione	MAS										MAI											
Sc	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.33	1.1	n.d.	n.d.	3.30	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1.25	0.91	2.06
V	n.d.	0.24	0.97	0.30	0.59	0.87	0.29	0.44	0.30	n.d.	4.14	3.69	3.54	6.52	3.78	3.88	4.65	3.55	4.38	5.91	4.30	7.06
Cr	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	7.68	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	12.8	n.d.	n.d.	n.d.	26.2	n.d.	n.d.	n.d.	3.76	5.29
Co	n.d.	n.d.	0.09	n.d.	0.10	0.31	n.d.	0.29	n.d.	n.d.	1.13	1.05	1.26	1.18	1.05	1.44	1.68	0.98	0.61	1.51	1.62	1.63
Ni	0.91	0.71	0.50	0.84	2.06	0.97	1.93	0.58	0.52	0.56	29.8	3.31	2.28	4.19	4.82	1.31	3.77	0.99	1.87	4.36	2.67	3.96
Zn	7.71	7.18	1.77	2.81	52.6	8.20	4.42	4.87	4.34	7.66	42.5	13.2	11.7	19.8	15.1	17.1	11.0	15.5	71.6	25.9	12.6	16.0
Rb	0.08	n.d.	0.39	0.11	0.22	0.18	0.06	0.06	0.11	0.17	3.97	3.96	3.58	5.42	4.90	5.36	5.82	3.95	5.33	5.51	4.28	6.64
Sr	223.5	188.7	224.7	275.0	199.0	203.2	231.0	215.7	187.4	165.9	378.4	406.2	419.5	437.6	426.7	437.1	421.2	390.3	408.8	392.7	367.1	382.8
Y	1.33	1.14	1.52	0.46	0.90	0.99	0.92	1.14	1.12	0.82	10.3	10.4	12.3	11.0	9.94	11.2	11.6	11.4	12.4	10.7	13.2	11.4
Zr	0.56	0.53	0.63	0.34	0.42	0.60	0.59	0.46	0.50	0.33	3.21	3.20	2.31	4.15	2.51	2.06	1.86	1.30	2.09	3.68	2.34	2.90
Nb	0.09	0.05	0.16	n.d.	n.d.	0.11	0.04	0.13	n.d.	0.05	0.36	0.22	0.16	0.39	0.57	0.34	0.21	0.34	0.30	0.33	0.35	0.46
La	0.52	0.38	0.56	0.14	0.41	0.42	0.47	0.55	0.30	0.31	6.49	6.72	6.65	6.47	6.59	6.45	6.8	7.23	6.75	6.87	7.51	6.96
Ce	0.43	0.36	0.60	0.11	0.28	0.29	0.29	0.24	0.40	0.42	4.63	4.74	5.12	5.06	4.07	4.55	4.81	4.47	5.09	4.77	5.96	4.74
Pr	0.09	0.08	0.18	0.04	0.07	0.08	0.07	0.11	0.07	0.18	1.09	1.29	1.22	1.42	0.88	1.32	1.13	1.28	1.66	1.40	1.12	1.28
Pb	2.92	3.15	5.41	1.72	17.2	2.41	4.07	2.33	14.9	5.46	29.9	6.92	13.7	110.6	12.1	28.2	0.79	5.12	89.5	75.4	11.7	28.2
U	0.19	0.15	0.22	0.08	0.13	0.15	0.16	0.19	0.14	0.09	0.70	0.79	0.62	0.70	0.35	0.41	0.48	0.36	1.01	0.72	0.78	0.53

Bibliografia

Adriano P., Santos Silva A., Veiga R., Mirao J., Candeias A. E. (2009) "Microscopic characterisation of old mortars from the Santa Maria Church in Évora", *Materials Characterization*, 60, 610-620.

Bakolas A., Biscontin G., Contardi V., Franceschi E., Moropoulou A., Palazzi D., Zendri E. (1995a) "Thermoanalytical research on traditional mortars in Venice", *Thermochimica Acta* 269/270, 817-828.

Bakos S., Cimitan L., Rossi L. & Zanetti A. (1994) "Caratterizzazione petrologica e chimica di malte pozzolaniche antiche", *Materiali e strutture*, 1, 1-20.

Barba L., Blancas J., Manzanilla L.R., Ortiz A., Barca D., Crisci G.M., Miriello D. and Pecci A. (2009) "Provenance of the limestone used in Teotihuacan (Mexico): a methodological approach", *Archaeometry* 51, 4, 525-545.

Barca D., De Francesco A. M. and Crisci G. M. (2007) "Application of laser ablation ICP-MS for characterization of obsidian fragments from peri-Tyrrhenian area", *Journal of Cultural Heritage*, 8, 141-150.

Barone G., Belfiore C. M., Mazzoleni P., Pezzino A., Viccaro M. (2010) "A volcanic inclusions based approach for provenance studies of archaeological ceramics: application to pottery from southern Italy", *Journal of Archaeological Science*, 37 713-726.

Belfiore C.M., La Russa M.F., Mazzoleni P., Pezzino A., Viccaro M. (2009) "Technological study of "ghiara" mortars from the historical city centre of Catania (Eastern Sicily, Italy) and petro-chemical characterisation of raw materials", *Environmental Earth Sciences*, 61, 995-1003.

Boari E., Avanzinelli R., Melluso L., Giordano G., Mattei M., De Benedetti A., Morra V., Conticelli S. (2009) "Isotope geochemistry (Sr-Nd-Pb) and petrogenesis of leucite-bearing volcanic rocks from "Colli Albani" volcano, Roman Magmatic Province, Central Italy: inferences on volcano evolution and magma genesis", *Bulletin of Volcanology*, 71, 977-1005.

Cioni R., Laurenzi M. A., Sbrana A., Villa I. M. (1993) "⁴⁰Ar/³⁹Ar chronostratigraphy of the initial activity in the Sabatini volcanic complex (Italy)", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 112, 251-263.

Colleparidi M. (2003) "La lezione dei romani: durabilità e sostenibilità delle opere architettoniche e strutturali". *Proceedings of III Convegno AIMAT "Restauro e Conservazione dei Beni Culturali: Materiali e Tecniche"*, 3-4 October 2003, Cassino, Italy.

Conticelli S., Francalanci L., Manetti P., Cioni R., Sbrana A. (1997) "Petrology and geochemistry of the ultrapotassic rocks from the Sabatini Volcanic District, central Italy: the role of evolutionary processes in the genesis of variably enriched alkaline magmas", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 75, 107-136.

Conticelli S., Boari E., Avanzinelli R., De Benedetti A. A., Giordano G., Mattei M., Melluso L. & Morra V. (2010) "Geochemistry, isotopes and mineral chemistry of the Colli Albani volcanic rocks: constraints on magma genesis and evolution", in: Funicello R. & Giordano G. (eds) *The Colli Albani Volcano*. Special Publications of IAVCEI, 3, 107-139, Geological Society, London.

Cosentino D., Cipollari P., Pasquali V. (2006) "The Jurassic Pelagic Carbonate Platform of the Cornicolani Mts. (Latium, central Italy), in: Pasquarè G., Venturini C. (eds), *Mapping geology in Italy*, 177-184.

Cultrone G., Arizzi A., Sebastian E., Rodríguez-Navarro C. (2008) "Sulfation of calcitic and dolomitic lime mortars in the presence of diesel particulate matter", *Environmental Geology*, 56, 741-752.

Dallai L., Freda C., Gaeta M. (2004) "Oxygen isotopic geochemistry of pyroclastic clinopyroxene monitors carbonate contributions to Roman-type ultrapotassic magmas", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 148, 247-263.

Day R. (1990) "Pozzolans for use in low-cost housing", International Development Research Centre, Ottawa, Canada.

De Franceschini M. (2005) "Ville dell'Agro Romano", «L'Erma» di Bretschneider, Roma.

De Rita D., Funicello R., Rossi U., Spostato A. (1983) "Structure and evolution of the Sacrofano-Baccano Caldera, Sabatini volcanic complex, Rome", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 17, 219-236.

De Rita D., Faccenna C., Funicello R., Rosa C. (1995) "Stratigraphy and volcano-tectonics", in: Trigila R. (ed), *The Volcano of the Alban Hills*, Università degli Studi di Roma La Sapienza, Roma, 33-71.

De Rita D., Giordano G., Esposito A., Fabbri M., Rodani S. (2002) "Large volume phreatomagmatic ignimbrites from the Colli Albani volcano (Middle Pleistocene, Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118, 77-98.

Dickie J.M. (2010) "Mineralogical and Geochemical indicators of subaerial weathering in the Pozzolane Rosse ignimrite (Alban Hills Volcanic District, Italy)", Geosciences Theses, Paper 23, Georgia State University (Atlanta).

Documento UNI 10924 (2001) Beni Culturali - Malte per elementi costruttivi e decorativi - Classificazione e terminologia.

Fernández R., Nebreda B., Vigil de la Villa R., García R., Frías M. (2010) "Mineralogical and chemical evolution of hydrated phases in the pozzolanic reaction of calcined paper sludge", *Cement & Concrete Composites*, 32, 775-782.

Fornaseri M., Scherillo A., Ventriglia U. (1963) "La regione vulcanica dei Colli Albani", CNR, 561 pp.

Franzini M., Leoni L., Lezzerini M. (2000) "A procedure for determining the chemical composition of binder and aggregate in ancient mortars: its application to mortars from some medieval buildings in Pisa", *Journal of Cultural Heritage*, 1, 365-373.

Freda C., Gaeta M., Palladino D. M., Trigila R. (1997) "The Villa Senni Eruption (Alban Hills, Central Italy): the role of H₂O and CO₂ on the magma chamber evolution and the eruptive scenario", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 78, 103-120.

Freda C., Gaeta M., Karner D. B., Marra F., Renne P. R., Taddeucci J., Scarlato P., Christensen J. N., Dalla L. (2006) "Eruptive history and petrologic evolution of the Albano multiple maar (Alban Hills, Central Italy)", *Bulletin of Volcanology*, 68, 567-591.

Frontoni R. & Galli G. (2010) "Calce e calcara nella Villa dei Quintili", *Arkos, Scienza e Restauro*, n° 25 Ottobre/Dicembre, 66-73.

Funciello R., Giordano G., De Rita D. (2003) "The Albano maar lake (Colli Albani Volcano, Italy): recent volcanic activity and evidence of pre-Roman age catastrophic lahar events", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 123, 43-61.

Gaeta M., Freda C., Christensen J.N., Dallai L., Marra F., Karner D.B., Scarlato P. (2006) "Time-dependent geochemistry of clinopyroxene from the Alban Hills (Central Italy): clues to the source and evolution of ultrapotassic magmas", *Lithos*, 86, 330-346.

García R., Vigil de la Villa R., Rodríguez O., Frías M. (2009) "Mineral phases formation on the pozzolana/lime/water system", *Applied Clay Science*, 43, 331-335.

Giavarini C., Samuelli M., Ferretti A., Santarelli M. L. (2006) "Mechanical characteristics of Roman opus caementicium", in Kourkolis S. K. (ed), *Fracture and failure of natural building stone*, Springer, Dordrecht, 107-120.

Giordano G. & Dobran F. (1994) "Computer simulation of the Tuscolano–Artemisio's second pyroclastic flow unit (Colli Albani, Latium, Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 61, 69–94.

Giordano G., De Benedetti A. A., Diana A., Diano G., Gaudio F., Marasco F., Miceli M., Mollo S., Cas R. A. F., Funicello R. (2006) "The Colli Albani mafic caldera (Roma, Italy): Stratigraphy, structure and petrology", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 155, 49-80.

Giordano G. & THE CARG TEAM (2010) "Stratigraphy, volcano-tectonics and evolution of the Colli Albani volcanic field", in: Funicello R. & Giordano G. (eds), *The Colli Albani Volcano*, Special Publications of IAVCEI, 3, 43-97, Geological Society, London.

Giustozzi N. (2010) "Via Appia – Guida", Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Soprintendenza Speciale per i Beni Archeologici di Roma., Milano, Electa.

Gobbi G., Zappia G., Sabbioni C. (1998) "Sulphite quantification on damaged stones and mortars", *Atmospheric Environment*, 32, 4, 783-789.

Jackson M. D., Marra F., Hay R. L., Cawood C. and Winkler E. M. (2005) "The judicious selection and preservation of tuff and travertine building stone in ancient Rome", *Archaeometry*, 47, 485-510.

Jackson M. D. & Marra F. (2006) "Roman stone masonry: Volcanic foundations of the ancient city", *American Journal of Archaeology*, 110, 403-436.

Jackson M. D., Kosso C., Marra F., Hay R., "Geological Basis of Vitruvius' Empirical Observations of Materials Characteristics of Rock Utilized in Roman Masonry". *Proceedings of the Second International Congress of Construction History Queen's College*, University of Cambridge, 29 March – 2 April 2006, edited by Dunkeld M., Campbell J., Louw H., Tutton M., Addis B. and Thorne R., London: The Construction History Society, 2, 1685-1702 (2006).

Jackson M. D., Logan J. M., Scheetz B. E., Deocampo D. M., Cawood C. G., Marra F., Vitti M., Ungaro L. (2009) "Assessment of material characteristics of ancient concretes, Grande Aula, Markets of Tajan, Rome", *Journal of Archaeological Science*, 36, 2481-2492.

Jackson M. D., Deocampo D., Marra F. and Scheetz B. (2010) "Mid-Pleistocene Pozzolanic Volcanic Ash in Ancient Roman Concretes", *Geoarchaeology: An International Journal*, 25, 1, 36-74.

Karner D.B., Marra F., Renne P.R. (2001) "The history of the Monti Sabatini and Alban Hills volcanoes: groundwork for assessing volcanic-tectonic hazard for Rome", *Journal of*

Volcanology and Geothermal Research 107, 185-219.

Lancaster Lynne C. (2005) "Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome: Innovations in Context". Cambridge: Cambridge University Press.

Le Maitre R.W. (1989) "A classification of igneous rocks and glossary of terms". Recommendations of the IUGS Subcommittee of Systematic of Igneous rocks, Blackwell Scientific, London, 193 pp.

Lechtman H. N. and Hobbs L. W. (1987) "Roman Concrete and the Roman Architectural Revolution", *Ceramics and Civilization*, 3, 81-128.

Lopez-Arce P., Gomez-Villalba L. S., Martinez-Ramirez S., Alvarez de Buergo M., Fort R. (2011) "Influence of relative humidity on the carbonation of calcium hydroxide nanoparticles and the formation of calcium carbonate polymorphs", *Powder Technology*, 205, 263-269.

Marra F., Freda C., Scarlato P., Taddeucci J., Karner D. B., Renne P. R., Gaeta M., Palladino D. M., Trigila R. and Cavarretta G. (2003) "Post-caldera activity in the Alban Hills volcanic district (Italy): $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology and insights into magma evolution", *Bullettin of Volcanology*, 65, 227-247.

Marra F., Deocampo D., Jackson M. D., Ventura G. (2011) "The Alban Hills and Monti Sabatini volcanic products used in ancient Roman masonry (Italy): An integrated stratigraphic, archaeological, environmental and geochemical approach", *Earth Science Reviews*, 108, 115-136.

Massazza F. (2001) "Pozzolana and pozzolanic cements", in: Hewlett P. C. (ed), *Lea's chemistry of cement and concrete*, 10, 471-602.

Middendorf B., Hughes J. J., Callebaut K., Baronio G. and Papayianni I. (2005a) "Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 1: Mineralogical characterisation", *Materials and Structures* 38, 761-769.

Middendorf B., Hughes J. J., Callebaut K., Baronio G. and Papayianni I. (2005b) "Investigative methods for the characterisation of historic mortars - Part 2: Chemical characterisation", *Materials and Structures* 38, 771-780.

Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. (1988) "Nomenclature of pyroxenes", *American Mineralogist*, 73, 1123-1133.

Moropoulou A., Cakmak A., Labropoulos K. C., Van Grieken R., Torfs K. (2004) "Accelerated microstructural evolution of a calcium-silicate-hydrate (C-S-H) phase in pozzolanic paster using fine siliceous sources: Comparison with historic pozzolanic mortars", *Cement and Concrete research*, 34, 1-6.

Moropoulou A., Bakolas A., Anagnostopoulou S. (2005) "Composite materials in ancient structures", *Cement & Concrete Composites*, 27, 295-300.

Paris R. (2000) "Via Appia - La villa dei Quintili". Collana Soprintendenza Archeologica di Roma. Mondadori Electa.

Pavía S. (2008) "A petrographic study of mortar hydraulicity", in: *Historical Mortars Conference: Characterization, Diagnosis, Conservation, Repair and Compatibility*, LNEC General Civil Engineering Laboratory, Lisbon.

Pavía S. & Caro S. (2008) "An investigation of Roman mortar technology through the petrographic analysis of archaeological material", *Construction and Building Materials*, 22, 1807-1811.

Peccerillo A. (2005) "Plio-Quaternary Volcanism in Italy: Petrology, Geochemistry, Geodynamics". Springer-Verlag Berlin and Heidelberg GmbH & Co. K.

Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E. (2008) "Le malte antiche e moderne: tra tradizione ed innovazione", Patron Editore, Bologna.

Perini G., Francalanci L., Davidson J.P., Conticelli S. (2004) "The petrogenesis of Vico Volcano, Central Italy: an example of low scale mantle heterogeneity", *Journal of Petrology*, 45, 139-182.

Pirro M. (2007) "Gli sprofondamenti del suolo nell'area dei Monti Cornicolani (Lazio)", *Annali dell'Associazione Nomentana*, 126-133.

Sabbioni C., Bonazza A., Zappia G. (2002) "Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal", *Journal of Cultural Heritage*, 3, 83-88.

Sánchez-Moral S., Luque L., Cañaveras J. C., Soler V., Garcia-Guinea J., Aparicio A. (2005) "Lime pozzolana mortars in Roman catacombs: composition, structures and restoration", *Cement and Concrete Research*, 35, 1555-1565.

Silva D. A., Wenk H. R., Monteiro P. J. M. (2005) "Comparative investigation of mortars from Roman Colosseum and cistern", *Thermochimica Acta*, 438, 35-40.

- Sottili G., Palladino D. M., Marra F., Jicha B., Karner D. B., Renne P. (2010) "Geochronology of the most recent activity in the Sabatini Volcanic District, Roman Province, central Italy", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 196, 20-30.
- Trigila R., Agosta E., Currado C., De Benedetti A. A., Freda C., Gaeta M., Palladino D. M., Rosa C. (1995) "Petrology", in: Trigila R. (ed), *The Volcano of the Alban Hills*, Università degli Studi di Roma La Sapienza, Roma, 283 pp.
- Villa I. M. (1987) "Datazioni $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ delle basi delle vulcaniti della Provincia Romana. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 42, 315.
- Villa I. M. (1993) "Geochronology", in: Di Filippo M. (ed), Sabatini Volcanic Complex, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, 33-79.
- Voltaggio M. & Barbieri M. (1995) "Geochronology", in: Trigila R. (ed), *The Volcano of the Alban Hills*, Roma, 167-192.
- Washington H. S. (1906) "The Roman comagmatic region", Carnegie Institute, Washington, 36, 1-220.
- Watkins S. D., Giordano G., Cas R. A. F., De Rita D. (2002) "Emplacement processes of the mafic Villa Senni Eruption Unit (VSEU) ignimbrite succession, Colli Albani volcano, Italy", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 118, 173-203.