

SIMONE BARBIERI, FABIANA ZANDONAI & STEFANO MARCONI

SINTESI DEI RISULTATI DELLO STUDIO DI ALCUNI
CAMPIONI DI MALTE DALLE MURATURE
NEL SETTORE A DEL SITO ARCHEOLOGICO
DI S. ANDREA DI LOPPIO, MORI (TN)

ABSTRACT - BARBIERI S., ZANDONAI F. & MARCONI S., 2016 - Results of some mortar samples analysis from the ancient walls in Sector A of the St. Andrea's Loppio archaeological site, Mori, Northern Italy.

Atti Acc. Rov. Agiati, a. 266, 2016, ser. IX, vol. VI, B: 107-133.

In this article the authors describe the study of some representative samples of mortars from different ancient walls in Sector A (North) of Loppio's archaeological site. This site, dug and studied by the Archaeological Department of the Rovereto Civic Museum Foundation since 1992, is characterised by many building ruins from different ages, from Late Antique to Early Medieval. The methodological approach of the analysis on the mortar fragments is similar to the approach used in the minero-petrographic study of rocks and sediments. It consists of the observation of the macroscopic features of the considered samples, the study of their thin sections and a series of punctual measurements with IR micro-spectroscopy, in order to better define their chemical compositions. The analytical process has been documented through images. The whole data, elaborated to find distinctive parameters (like the rock type forming the coarse fraction and/or used for the cement; the level of degradation; particular components; the quality of the mortar formula; ...), allow to identify different groups (types) of mortars with interesting characteristics. By comparing the analysis results of some samples, also considering their position on site (the site is organized in sectors identified by letters, and subsectors by roman number), a good level of congruence in terms of different ages of construction, executive anomalies and so on, can be highlighted. One of the sample, for instance, is of poor quality, with signs of reuse of the original material. This specimen comes from a wall that has been repaired. Furthermore, another aim of this study is to understand whether the source of the raw material is local or not. The results have been studied in view of the geological and environmental data about this area of Southern Trentino. The lithotypes recognised for the preparation of the analysed mortars were mostly available in situ; they came from the carbonatic bedrock or from loose deposits (glacial till; detrital sediments; landslide accumulation; ...).

KEY WORDS - Archaeometry; St. Andrea's Loppio archeological site; Sector A; Wall mortars; Microscopy, IR spectroscopy.

RIASSUNTO - BARBIERI S., ZANDONAI F. & MARCONI S., 2016 - Sintesi dei risultati dello studio di alcuni campioni di malte dalle murature nel settore A del sito archeologico di S. Andrea di Loppio, Mori (TN).

Il sito tardo antico-altomedievale che occupa l'isola di S. Andrea a Loppio è stato oggetto negli ultimi vent'anni di una serie di studi sulle strutture murarie, sui reperti mobili e sui resti biologici che hanno mirato a ricostruire l'articolata storia di utilizzo di questo luogo. Le ricerche sono ancora in corso anche se è stata recentemente pubblicata un'opera monografica a cura di B. Maurina (2016). Nel presente studio gli autori descrivono le analisi in microscopia classica e all'infrarosso svolte su ventitre campioni di malte (tal quale e sezione sottile) rappresentativi dei diversi resti murari portati alla luce in questi anni nel Settore A (porzione nord dell'isola) e ora visibili in posto dopo un accurato restauro. Questo lavoro ha consentito di distinguere malte di diversa natura che di fatto provengono da settori archeologicamente diversi, di raccogliere informazioni riguardanti la materia prima utilizzata e di formulare ipotesi sulle zone di approvvigionamento; di avere un riscontro sulla qualità esecutiva dell'impasto e della sua posa, e di confermare il ricorso alla pratica del reimpiego, testimoniata da un campione anomalo – per composizione e natura – rispetto agli altri. Lo studio delle malte integra e rafforza il quadro delle conoscenze già disponibile, dimostrandosi uno strumento utile a supporto della lettura della storia costruttiva del *castrum* loppiese.

PAROLE CHIAVE - Archeometria; Sito archeologico di S. Andrea di Loppio; Settore A; Malte murarie; Studio in microscopia classica; Spettroscopia IR.

1. PREMESSA

Nella prima metà del 2015 è stato effettuato nei laboratori dell'OpenLab della Fondazione MCR, all'interno di un progetto di tirocinio, lo studio sistematico di 23 campioni di malta (identificati con il codice numerico della relativa unità stratigrafica, ad esempio US 31) provenienti dai resti del sito archeologico presente sull'Isola di S. Andrea, nella Valle di Loppio (Comune di Mori, Provincia di Trento) (Fig. 1). Per una descrizione dettagliata del sito in tutti i suoi aspetti, si rimanda alla recente pubblicazione monografica dedicata al *Castrum* tardoantico-altomedievale di Loppio, a cura di B. Maurina (MAURINA, 2016 a).



Fig. 1. Localizzazione geografica del sito archeologico dell'isola di S. Andrea, nella Valle di Loppio (Comune di Mori, Provincia di Trento).

I campioni analizzati si riferiscono perlopiù a porzioni murarie e in minor misura a strati orizzontali del Settore A situato nella parte settentrionale dell'isola (Fig. 2).

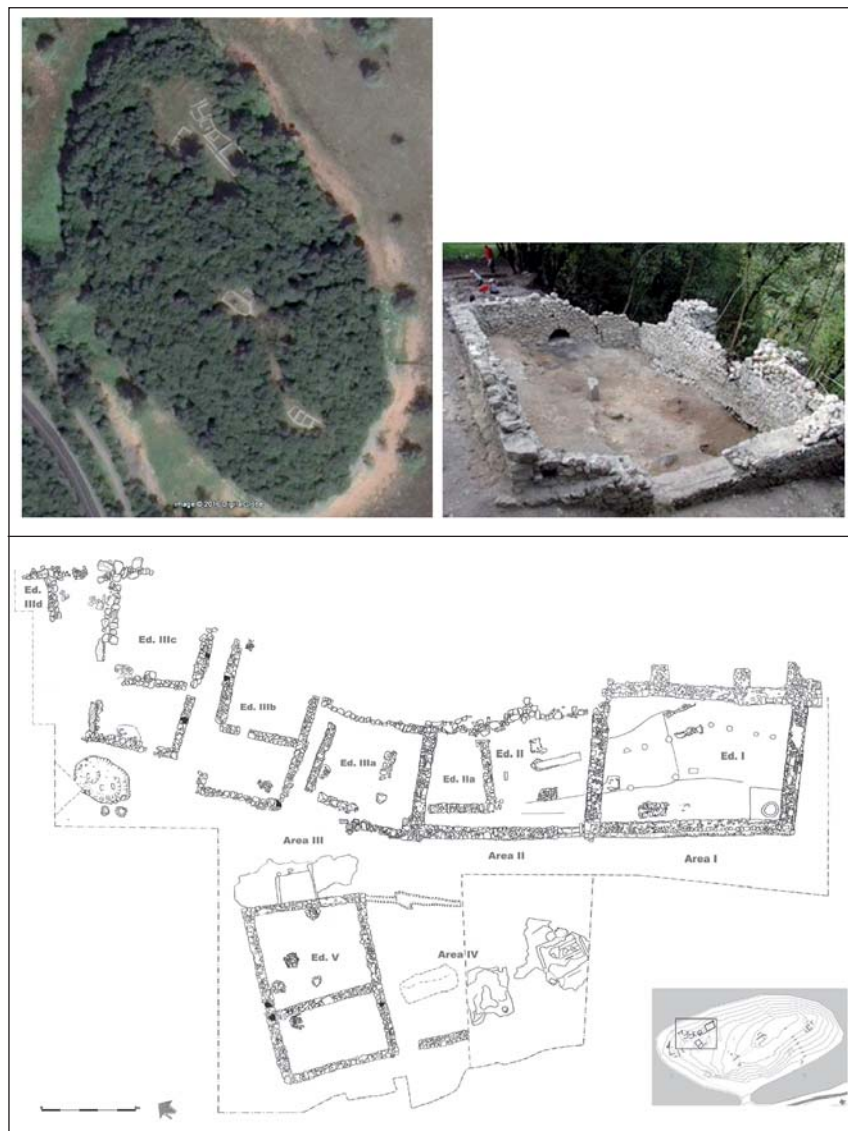


Fig. 2. Sopra: a sinistra la vista aerea dell'Isola di S. Andrea coi resti murari (immagine orientata secondo il N, estratta da Google Earth, Image2016 Digital Globe), il Settore A è quello visibile nella porzione settentrionale; a destra, una foto dell'edificio I nel Settore A da cui provengono alcuni dei campioni esaminati, la foto è precedente al restauro. Sotto: la planimetria di dettaglio del Settore A con a fianco, in piccolo, il rilievo topografico dell'intero sito.

Le indagini sono state condotte per completare il quadro di conoscenze acquisito durante gli anni di scavo e studio del sito, in particolare in merito a natura e tipologia delle malte murarie, integrando così i dati archeologici già disponibili, fornendo un ulteriore elemento utile a supporto dell'interpretazione e ricostruzione complessiva della storia relativa a costruzione e uso degli edifici. Una notizia preliminare dei risultati della ricerca è stata comunicata in forma sintetica nell'ambito della pubblicazione dello scavo (MAURINA, 2016a).

2. LE MALTE ANTICHE

Anche se tuttora se ne annoverano vari tipi, la calce aerea è stato il legante principalmente utilizzato sia in epoca romana che durante l'alto medioevo (PECCHIONI *et al.*, 2008). Questa si divide in calci calciche se vengono cotti calcari contenenti eminentemente carbonato di calcio, e in calci magnesiache se la pietra da calce comprende calcari magnesiaci, dolomitici o dolomie. La cottura (tra i 750°C e i 900°C a seconda del tipo di roccia madre) prende il nome di calcinatura secondo precise reazioni endotermiche. La pietra da calce sottoposta a cottura è chiamata calce viva (CaO), la quale risulta molto porosa. La calcinatura fino in epoca altomedievale veniva principalmente realizzata in forni a funzionamento periodico (fuoco intermittente; PETRELLA, 2008; SAGUI, 1986). La scarsa efficienza di questa tipologia di forni, soprattutto per le perdite di calore, richiedeva tempi di cottura anche di diversi giorni, la tempistica variava anche in base alle condizioni meteorologiche, alle dimensioni del forno stesso e al tipo di combustibile utilizzato (PECCHIONI *et al.*, 2008). Tali fluttuazioni di temperatura potevano dar luogo a innumerevoli difetti tecnologici che, come si vedrà in seguito, a tutt'oggi possono risultare utili per discriminare malte diverse. Una volta raffreddata la calce si procedeva con il suo spegnimento tramite acqua; la calce veniva posizionata in recipienti (bagnoli) e impastata con una quantità di acqua superiore a quella stechiometrica; poi la miscela poteva essere filtrata per asportare i frammenti non calcinati, o comunque le impurità, e infine stagionata in ambiente anaerobico (calcinaie) finché ogni calcinello si fosse spento. Il composto così ottenuto prende il nome di grassello, essenzialmente idrossido di calcio, che fa presa a contatto con l'aria per reazione con l'anidride carbonica (carbonatazione), indurendo e divenendo nuovamente carbonato di calcio. È documentato che fino al XIX secolo, soprattutto in Italia settentrionale, veniva impiegata calce calda, ovvero calce viva messa in opera mentre il processo di spegnimento era ancora attivo. Questa metodica, utilizzata anche nel sito antico di Loppio, veniva principalmente seguita sia per la realizzazione di malte di allettamento, sia per interventi di restauro ed era adatta per un

utilizzo invernale (PECCHIONI *et al.*, 2008). Generalmente le malte utilizzate con questa tecnologia possiedono le seguenti caratteristiche:

- Rapporto legante/aggregato alto (1/1 o 1/2);
- Presenza di numerosi inclusioni che testimoniano frammenti di calce non amalgamata all'impasto (grumi);
- Buone caratteristiche meccaniche, in particolare resistenza al gelo.

Prima della posa in opera, al grassello veniva associata (miscelazione) una più o meno cospicua componente di aggregato, ovvero quella frazione costituita da frammenti di roccia e minerali in granuli che ha lo scopo di impedire fessurazioni e fratture durante la presa. Questa operazione doveva essere ben calibrata, poiché basse quantità potevano favorire fenomeni di ritiro e formazione di macroporosità durante la presa, al contrario eccedendo diminuiva la lavorabilità dell'impasto durante la stesura con conseguente necessità di aggiungere acqua (PECCHIONI *et al.*, 2008).

È documentato l'utilizzo già dall'antichità di idraulizzanti per conferire alla calce aerea le proprietà per indurire e far presa in ambienti molto umidi (caratteristiche idrauliche). Tra i tanti materiali a comportamento pozzolanico, a partire dall'epoca romana era correntemente utilizzato il cocciopesto (frammenti di laterizio), essendo particolarmente ricco di silice e allumina (PECCHIONI *et al.*, 2008 e 2014).

3. ANALISI E METODI

Tornando allo studio in esame, volutamente, in fase preliminare, analisi e valutazioni sono state condotte senza conoscere l'unità stratigrafica di origine di ciascun campione, in modo da evitare condizionamenti indotti dalla prossimità fisica o dalla analogia dei contesti di provenienza.

Il programma di analisi sulle malte antiche mutua metodi e tecniche dalle Scienze della Terra, nella fattispecie per la caratterizzazione dei costituenti, ovvero dell'aggregato e del legante, nonché per il riconoscimento di difetti tecnologici insorti durante la fase di calcinatura, di posa in opera e di indurimento (PECCHIONI *et al.*, 2008, 2014). Per ogni campione esaminato si disponeva del frammento di malta e della relativa sezione sottile (taglio standard a 30 micrometri); ciò ha consentito un'efficace integrazione fra osservazioni macroscopiche e microscopiche, sia con metodi classici che col ricorso alla spettroscopia infrarossa.

Per le analisi ci si è avvalsi della seguente strumentazione presente presso l'OpenLab della Fondazione MCR (Fig. 3):

- stereoscopio a luce riflessa Wild M3, per l'osservazione sul campione tal quale dei componenti maggiori (minerali in granuli, aggregati e frammenti di roccia), dei rapporti reciproci fra componenti (struttura omogenea o meno); dell'aspetto cromatico; del legante in termini di compattezza e omogeneità; del generale stato di conservazione della malta; di elementi peculiari (additivi e/o componenti idraulicizzanti) e della presenza di difetti (es. fessure da ritiro).
- Microscopio binoculare da mineralogia Carl Zeiss Jena Jenapol per lo studio in luce trasmessa della sezione sottile al fine di determinare la natura minero-petrografica dell'aggregato e degli incotti (data l'abbondanza di frammenti di rocce carbonatiche è risultata fondamentale l'analisi micropaleontologica e tessiturale per definire il litotipo di appartenenza); la distribuzione granulometrica e il grado di arrotondamento dei granuli (correlabili con operazioni di setacciatura e/o macinazione); la struttura della malta (da cui discende la qualità della miscelazione) e la tessitura del legante, se micritica o microsparitica, che dà indicazioni sulla temperatura di calcinazione; i difetti tecnologici insorti durante la calcinatura (grumi da incotti o da stracotti) e/o durante e dopo la messa in opera (grumi da idratazione e carbonatazione tardiva, grumi da legante non amalgamato all'impasto, fessurazioni da ritiro, porosità da bolle d'aria, dissoluzione); la presenza di additivi inorganici idraulicizzanti (cocciopesto e/o selce); la presenza di elementi diagnostici, come l'utilizzo di malta da reimpiego ed eventuali residui di combustione.
- Spettrometro FT-IR 6600 Jasco (range spettrale $7800\text{-}350\text{ cm}^{-1}$ e $600\text{-}250\text{ cm}^{-1}$, risoluzione $0,9\text{ cm}^{-1}$) per supportare la discriminazione di peculiari campioni di malta, attraverso la determinazione della composizione mineralogica del tal quale o la natura dei singoli componenti. Per la misura in spettrometria IR è sufficiente disporre di una modestissima quantità del materiale da analizzare, nel caso specifico per alcuni campioni di malte si è effettuato un prelievo mirato (sotto stereomicroscopio), in taluni casi a carico del legante, in altri su singoli granuli di aggregato. In prevalenza si mirava a distinguere tra calcite e dolomite, in subordine si voleva confermare la presenza di silice, frutto della possibile aggiunta di selce macinata per idraulicizzare la malta. L'analisi microFT-IR ha fornito spettri di buona qualità, con picchi diagnostici ben leggibili, consentendo un elevato grado di corrispondenza con gli spettri di confronto della banca dati dei minerali in uso presso l'Openlab.

Per ciascun campione sono stati quindi ricavati una serie di parametri di interesse che consentissero di raggruppare i campioni stessi in insieme



Fig. 3. Alcune delle strumentazioni utilizzate per il presente studio, disponibili nel laboratorio OpenLab della Fondazione MCR.

sufficientemente omogenei. Le osservazioni sono state supportate da una documentazione fotografica puntuale.

4. ELABORAZIONE DEI DATI

I risultati dell'esame macroscopico e microscopico sono stati riorganizzati, per ogni campione, in schede di dettaglio, complete di immagini esplicative dove si riportano e descrivono le caratteristiche principali di ogni campione. Su queste, ricercate e definite per ogni campione esaminato, si è poi concentrata l'analisi comparata.

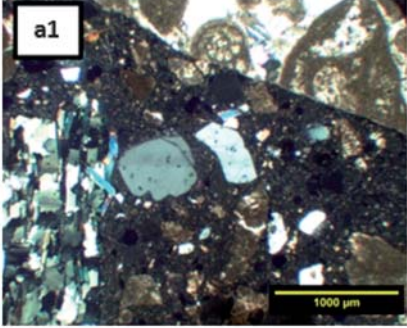
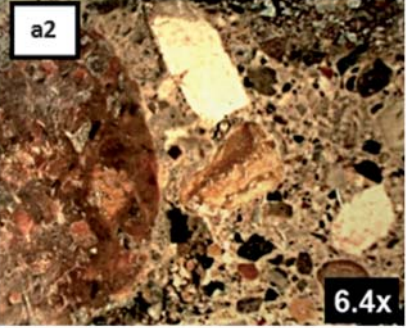
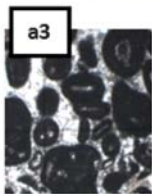
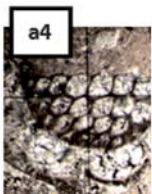
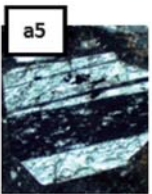
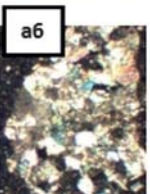
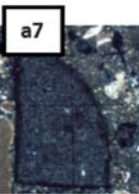
Di seguito si riportano le schede relative ad alcuni dei campioni (US 31, US 1110, US 629 e US 1132) di maggior interesse poiché esemplificano bene le situazioni esaminate, sia per quanto riguarda le caratteristiche più frequenti che quelle che potremmo definire anomale (decisamente peculiari) rispetto alle condizioni generali. Come si vedrà nelle schede tecniche si fa riferimento a termini propri dell'analisi granulometrica dei materiali sciolti, questo poiché la struttura e tessitura dell'aggregato e i suoi rapporti col legante rivestono un ruolo primario nella qualità del prodotto finale (malta). Inoltre definire l'abbondanza relativa di legante e aggregato consente di stabilire se si tratti di un impasto magro (povero di legante) o viceversa grasso, con ricadute di nuovo sul prodotto finito. Particolare cura è stata rivolta anche nell'identificazione dei difetti, che molto possono raccontare della "storia

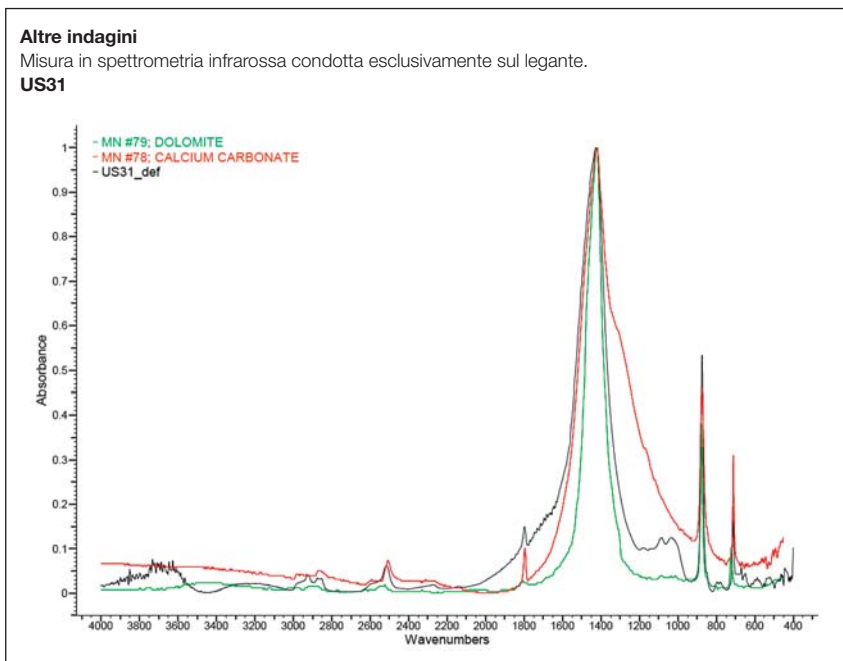
di una malta”. Ad esempio, per migliorare le caratteristiche meccaniche di resistenza della malta, ed evitare fenomeni di ritiro, era solito mantenerla relativamente idratata durante la presa, in modo da favorire tutte le reazioni di idratazione e carbonatazione. Ne risulta che caratteristiche intrinseche, come un alto tasso di fessurazione, possono essere indicative di bassa attenzione nella miscelazione dell’aggregato e di poca cura nella fase di indurimento.

4.1 *Esiti esame campione US 31*

Per il campione US 31 si può osservare che, in riferimento ai resti di cottura, la buona variabilità tessiturale e del contenuto fossilifero denotano un approvvigionamento della materia prima sia dalle formazioni eoceniche di piattaforma (*grainstone* con briozoi e alghe rosse), affioranti a nord lungo la dorsale del Monte Biaena (ad esempio con il Calcare di Torbole e quello di Nago), sia dalle formazioni giurassiche a *grainstone* oolitici ben rappresentate nei dintorni del sito, come anche dai *wackestone* a foraminiferi planctonici, riferibili alle formazioni bacinali cretatiche (come Maiolica e Scaglia Rossa), presenti lungo il Rio Gresta e poi sulla dorsale del Monte Baldo. Inoltre è probabile che blocchi e sfridi di questi litotipi fossero rinvenibili anche negli accumuli di frana e nei depositi detritici e di falda alluvionale; i primi costituiscono lo sbarramento del Lago di Loppio verso ovest mentre i secondi gli spessori di materiali sciolti ai piedi delle pareti rocciose e allo sbocco delle incisioni torrentizie laterali (vedi Rio Gresta e Rio Vallone delle Porte) della valle di Loppio.

Tornando al campione in esame, l’aggregato della malta si caratterizza per diversi frammenti di rocce metamorfiche scistose e per la presenza di un grosso frammento di riolite (superficie di circa 1 cm² di area), componenti riferibili a depositi glaciali. Il variabile grado di arrotondamento dei grani fa supporre la miscelazione di sabbie di origine naturale con quelle ottenute per frantumazione anche se non può essere trascurato il controllo dovuto alla diversa tenacità e durezza (e quindi diversa risposta alla frantumazione e all’abrasione) dei materiali utilizzati. La compattezza del legante è da attribuire, oltre che all’accuratezza nella scelta e nella miscelazione dell’aggregato, anche ad una cura nel mantenere idratata la malta a seguito della messa in opera, ciò ha in parte evitato la formazione di fessure da ritiro. Il basso colore di interferenza (osservazione a nicol incrociati) del legante e la presenza di selce, seppur sporadica, possono essere indicatori dell’aggiunta di selce macinata con lo scopo di idraulicizzare la malta. La presenza di silice trova conferma nella misura in spettroscopia infrarossa condotta esclusivamente sul legante: è emerso che il carbonato di calcio è la componente preponderante ma ci sono anche modeste anomalie nel campo diagnostico dei silicati.

Panoramica al microscopio polarizzatore (immagine a nicol incrociati)	Panoramica allo stereoscopio			
				
				
Caratterizzazione dell'aggregato				
<p>Minerali in granuli: quarzo, plagioclasio (a5), pirosseno, muscovite, biotite. Frammenti di roccia: riolite, scisti, dolomia (a6), selce (a7), granulo acido a microliti feldspatici. Distribuzione granulometrica: curva bimodale (prevalgono due classi granulometriche). Grado di arrotondamento: grani da angolosi ad arrotondati. Distribuzione dell'aggregato nel legante: ben distribuito (buona miscelazione). Rapporto legante/aggregato: impasto magro. Idraulicizzanti: cocciopesto (sporadico), selce (sporadica).</p>				
Caratterizzazione del legante				
<p>Tipo: calce aerea con idraulicizzanti. Tessitura: micritica. Struttura: compatta e omogenea.</p>				
Caratterizzazione dei difetti				
<p>GRUMI Tipologia: incotti (comuni); legante non amalgamato all'impasto (sporadico). Natura degli incotti: <i>wackestone</i> a foraminiferi planctonici; <i>grainstone</i> a ooidi e peloidi (a3); <i>grainstone</i> a bioclasti; <i>mudstone</i>. Contenuto fossilifero: foraminiferi planctonici del Cretacico ma non distinguibili a livello di genere; briozoi (a4), e alghe quali <i>Mesophyllum</i> sp., <i>Neogoniolithon</i> sp., tipiche dei calcari di piattaforma eocenici.</p> <p>POROSITÀ Tipologia: porosità da bolle d'aria.</p>				

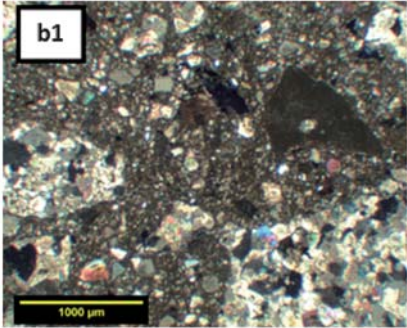
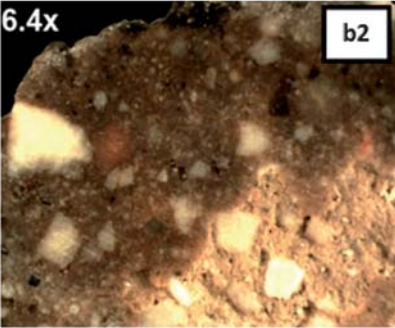
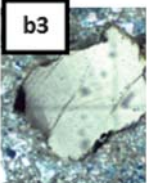
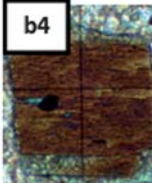
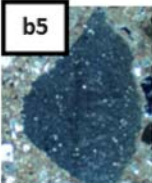
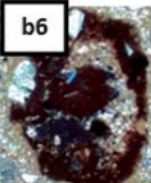



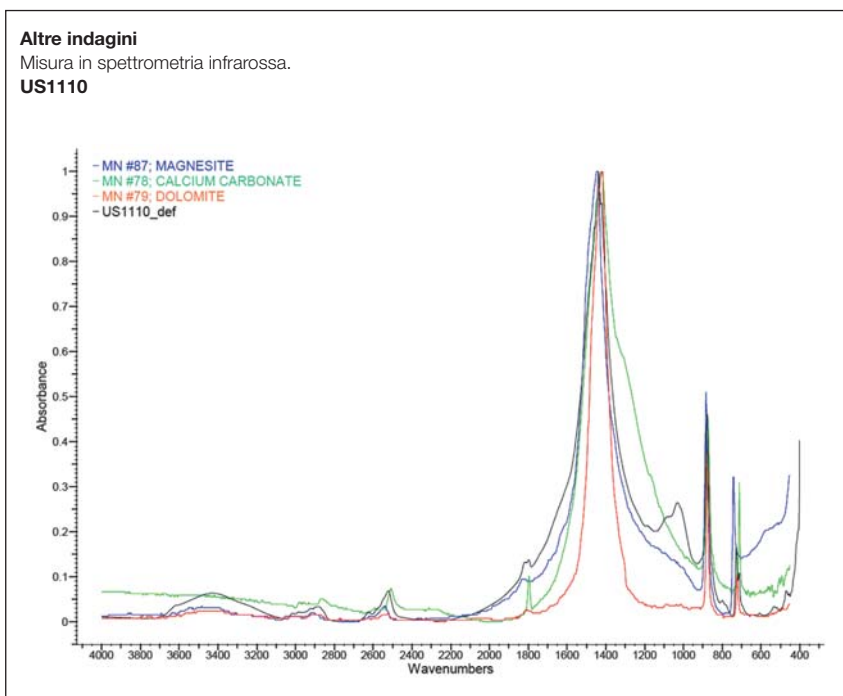
I grumi sono sporadici e si tratta essenzialmente di concentrazioni di legante non amalgamato all'impasto. Si rilevano inoltre residui di combustione.

Per questo campione, i dati emersi, e soprattutto lo stato di compattezza della malta, testimoniano una certa cura e abilità nelle modalità operative di preparazione e messa in opera, questo può far supporre la presenza di maestranze specializzate o particolare attenzione nella realizzazione del fabbricato o parti di esso.

4.2 Esiti esame campione US 1110

L'aggregato del campione US 1110 è costituito per la quasi totalità da frammenti di dolomia e calcari dolomitici macinati; comuni sono i frammenti di incotto le cui tessiture riconoscibili rivelano *grainstone* a ooidi/peloidi e calcari micritici. Gli incotti raramente superano il millimetro in dimensioni e comunque non sono mai oltre i 2 mm; questo fa supporre che ci sia stata attenzione durante la vagliatura del grassello o comunque nell'utilizzo di blocchi non eccessivamente grandi di pietra da calce. Le rocce in questione sono reperibili nelle zone direttamente circostanti l'Isola di S. Andrea, che è modellata nella Formazione della Dolomia Principale. La componente silicatica è nettamente subordinata e rappresentata prevalentemente da quarzo

Panoramica al microscopio polarizzatore (immagine a nicol incrociati)	Panoramica allo stereoscopio			
 <p>b1</p>	 <p>6.4x b2</p>			
 <p>b3</p>	 <p>b4</p>	 <p>b5</p>	 <p>b6</p>	 <p>b7</p>
Caratterizzazione dell'aggregato				
<p>Minerali in granuli: dolomite, quarzo (b3), biotite (b4). Frammenti di roccia: dolomia, selce (b5). Distribuzione granulometrica: curva polimodale (più classi granulometriche ben rappresentate). Grado di arrotondamento: grani da sub-angolosi ad arrotondati, rari angolosi. Distribuzione dell'aggregato nel legante: ben distribuito (buona miscelazione). Rapporto legante/aggregato: impasto molto magro. Idraulicizzanti: cocciopesto (sporadico), selce (rara).</p>				
Caratterizzazione del legante				
<p>Tipo: calce aerea magnesiaca con idraulicizzanti. Tessitura: micritica. Struttura: compatta e omogenea.</p>				
Caratterizzazione dei difetti				
<p>GRUMI Tipologia: incotti (comuni). Natura degli incotti: frammenti di dolomia cristallina; <i>grainstone</i> a ooidi e/o peloidi; <i>mudstone</i>. Contenuto fossilifero: assente.</p> <p>POROSITÀ Tipologia: porosità da bolle d'aria; scarsa fessurazione da ritiro.</p>				



monocristallino, mentre tra i materiali idraulicizzanti si riscontrano sporadici frammenti di cocciopesto e rari di selce, questi ultimi – per la bassa spigolosità – non sono il risultato di una frantumazione e data anche la loro esiguità è molto probabile che non siano stati aggiunti volontariamente.

Il legante si presenta compatto, caratterizzato da una porosità da intrapolamento di bolle d'aria trascurabile e solo localmente da una fessurazione da ritiro. L'analisi tramite FT/IR sembra confermare il maggiore utilizzo di roccia dolomitica per la produzione della calce, è emerso infatti che nel campione esaminato sono presenti sia i picchi del carbonato di calcio (in generale dei minerali la cui struttura è riferibile al gruppo della calcite) sia quelli diagnostici della dolomite. Inoltre anche in tal caso si ha una modesta risposta nel campo tipico dei silicati.

Nel campione sono stati inoltre riconosciuti diversi residui carboniosi, come quello dell'immagine (b7), studiati con le strumentazioni del Laboratorio di dendrocronologia interno all'OpenLab della Fondazione Museo Civico di Rovereto. Si è così rilevato che in alcuni casi i resti hanno preservato la microstruttura che è risultata essere omoxila, tipica delle conifere. In un caso l'interpretazione è invece dubbia e potrebbe trattarsi di latifoglia. Questo ha consentito di identificare nel legno di conifera il

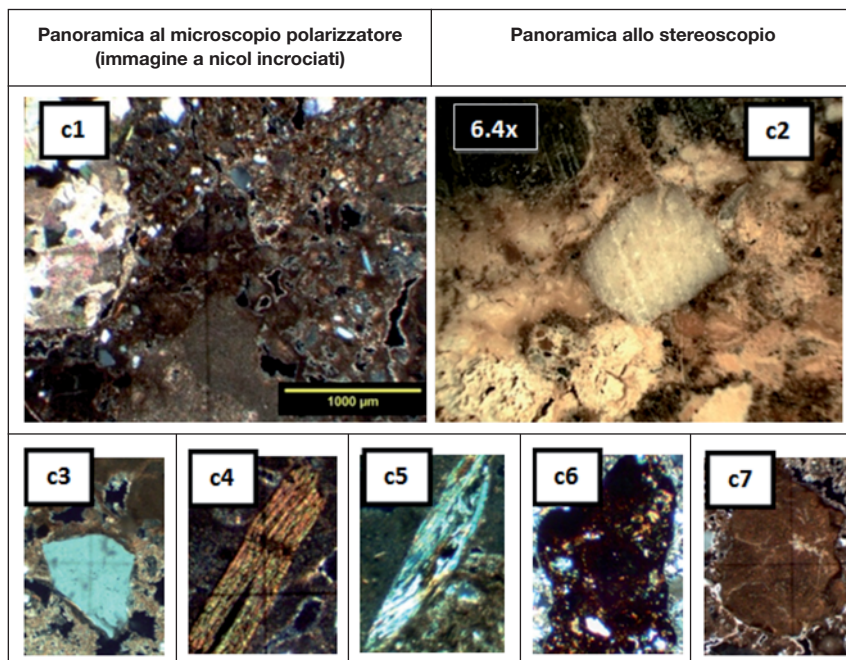
combustibile prevalentemente usato per la calcinatura. Non è stato invece possibile arrivare a definire le essenze legnose.

L'insieme dei dati testimonia particolare cura nella produzione della malta, anche per quanto riguarda la materia prima rappresentata per la quasi totalità da roccia carbonatica sottoposta a macinazione per formare l'aggregato (come dimostrato dalla disomogeneità nel grado di arrotondamento dei singoli frammenti). Non si hanno però elementi per affermare che si sia trattato di una scelta voluta, certo era favorita dalla buona disponibilità e quindi facile reperibilità di tale materiale in loco.

4.3 Esiti esame campione US 629

Nel presente campione, gli incotti paiono tutti essere riferibili a rocce dolomitiche, il cui prevalente utilizzo come pietra da calce è confermato anche dai vari relitti di cottura che, malgrado siano stati completamente calcinati, conservano i fantasmi dell'abito romboedrico dei cristalli di dolomite.

Il legante, oltre essere interessato da numerosi grumi di varia natura, si presenta estremamente poco compatto a causa di una fessurazione da ritiro molto spinta.




Caratterizzazione dell'aggregato
<p>Minerali in granuli: quarzo (c3), biotite (c4), muscovite, feldspato. Frammenti di roccia: micascisti (c5). Distribuzione granulometrica: curva bimodale (prevalgono due classi granulometriche). Grado di arrotondamento: grani da angolosi a sub-arrotondati. Distribuzione dell'aggregato nel legante: mal distribuito (miscelazione non ottimale). Rapporto legante/aggregato: impasto grasso. Idraulicizzanti: cocciopesto (sporadico) (c6).</p>
Caratterizzazione del legante
<p>Tipo: calce aerea magnesiacca con idraulicizzanti. Tessitura: micritica/microspartita. Struttura: estremamente poco compatto, disomogeneo per zone a diversa cristallinità.</p>
Caratterizzazione dei difetti
<p>GRUMI Tipologia: concentrazioni di legante non amalgamato all'impasto (comuni); incotti (comuni); stracotti della pietra da calce (comuni) (c7); stracotti idratati e carbonatati dopo la presa della malta (sporadici). Natura degli incotti: frammenti di dolomia cristallina. Contenuto fossilifero: assente.</p> <p>POROSITÀ Tipologia: fessurazione da ritiro, dissoluzione; porosità da bolle d'aria.</p>
Altre indagini
Nessuna.

La pessima distribuzione dell'aggregato, l'estrema disomogeneità strutturale del legante, l'intensa fessurazione e la grande presenza di grumi rivelano principalmente una noncuranza nella miscelazione dell'impasto, la mancanza di una corretta idratazione durante la presa, oltre a difetti tecnologici dati anche da una cottura poca attenta della pietra da calce.

4.4 Esiti esame campione US 1132

Il campione esaminato presenta un aggregato caratterizzato principalmente da quarzo, e grani carbonatici di varia pezzatura (anche di dimensioni >1 cm) e natura quali frammenti di incotti; la tessitura di questi ultimi è spesso parzialmente obliterata ma mediamente riconoscibile. Sul campione tal quale si rileva un clasto di calcare micritico di colore rosato di dimensioni > 2 cm: proviene dalla Formazione della Scaglia Rossa il cui utilizzo è stato confermato dalle determinazioni in sezione sottile per la presenza di *Macroglobigerinelloides sp.* (Cretacico sup.) (d5). La taglia grossolana dell'aggregato fa supporre poca attenzione durante la preparazione della calce, con la cottura di blocchi eccessivamente grossi. Si segnalano poi frammenti di malta da reimpiego

Panoramica al microscopio polarizzatore (immagine a nicol paralleli)	Panoramica allo stereoscopio			
				
				
Caratterizzazione dell'aggregato				
<p>Minerali in granuli: quarzo (d3). Frammenti di roccia: dolomia, microliti feldspatici (d4). Distribuzione granulometrica: curva polimodale. Grado di arrotondamento: grani da sub-angolosi ad arrotondati, in subordinate angolosi. Distribuzione dell'aggregato nel legante: ben distribuito. Rapporto legante/aggregato: impasto magro. Idraulicizzanti: cocciopesto (sporadico).</p>				
Caratterizzazione del legante				
<p>Tipo: calce aerea con idraulicizzanti. Tessitura: micritica. Struttura: poco compatta ed eterogenea.</p>				
Caratterizzazione dei difetti				
<p>Tipologia: incotti (comuni); concentrazioni di legante non amalgamato all'impasto (comuni). Natura degli incotti: <i>mudstone</i>; <i>grainstone</i> a peloidi; <i>wackestone</i> a foraminiferi planctonici; <i>wackestone</i> a foraminiferi bentonici; frammenti di dolomia cristallina. Contenuto fossilifero: foraminiferi dei generi <i>Nummulites</i> sp. e <i>Macroglobigerinelloides</i> sp.(d5); alghe di <i>Mesophyllum</i> sp., briozoi.</p> <p>POROSITÀ Tipologia: fessurazione da ritiro; porosità da bolle d'aria.</p>				

(uno ben visibile, in alto a sinistra, nella immagine al microscopio, a nicol paralleli, *supra*, d1, e nel particolare dell'immagine sempre in microscopia, d7) utilizzati come aggregato, ovvero vecchie malte già indurite derivate dallo smantellamento di murature precedenti. Il legante si presenta scarsamente compatto a causa di una fessurazione da ritiro mediamente spinta, evidente soprattutto lungo il perimetro dei resti di cottura più grandi e determinata da una probabile scarsa idratazione durante la presa.

Nelle figure seguenti (Figg. 4 e 5) si riportano le viste di alcune delle murature del Settore A di cui si sono investigate le malte (campioni US 31 e US 1110).



Fig. 4. La posizione del campione US 31 nella muratura dell'Edificio I, Area I, Settore A (fotopiano Sat Survey).



Fig. 5. La posizione del campione US 1110 nella muratura dell'Edificio IIIc, Area III, Settore A (foto B. Maurina).

5. RISULTATI

La caratterizzazione dei parametri diagnostici (qualitativi e semiquantitativi) ha permesso la suddivisione dei campioni in gruppi abbastanza omogenei per quanto riguarda natura delle materie prime (e relative ipotesi sulla provenienza), qualità delle malte (attenzione alla macinazione e alla

preparazione dei componenti; temperatura di cottura) e relativa messa in opera (ad esempio cura durante la presa onde evitare fessurazioni).

Di seguito le caratteristiche principali utilizzate per la rielaborazione complessiva dei dati e i gruppi risultanti.

5.1 Distinzione basata sulla natura della pietra da calce

Si tratta della organizzazione dei campioni in base alla natura della roccia carbonatica (roccia madre) da cui è stata prevalentemente derivata la pietra da calce. Il litotipo di partenza, come già detto, è stato individuato in base alla natura del legante, in particolare grazie alla tessitura e al contenuto fossilifero dei resti non calcinati (incotti). Dopo di che per la roccia madre, in base alle evidenze delle analisi, si sono distinte rocce dolomitiche, rocce da successioni giurassiche di piattaforma, rocce da successioni giurassico - cretacee bacinali e infine rocce da successioni eoceniche di piattaforma, attribuendo a ciascuna voce un aggettivo (dominante, comune, sporadico, raro, assente) che ne descrivesse abbondanza e frequenza nel campione.

Questa caratterizzazione ha permesso di definire 3 gruppi diversi di malta:

- a) malte (4 su 23, tra cui US 1110 e US 629) ove la calce di partenza è stata ottenuta principalmente dalla calcinatura di dolomie, rocce reperibili in loco, a testimoniare un approvvigionamento prettamente locale della pietra da calce;
- b) malte (9 su 23, tra cui US 823, US 823E, US 823W, vedi Fig. 6) ove la calce di partenza è stata ottenuta dalla prevalente calcinatura di calcari giurassici di piattaforma (che rappresentano quindi la roccia più utilizzata) a cui si associano componenti più o meno variabili di dolomie locali e/o calcari pelagici giurassico-cretacici, questo denota un approvvigionamento anche dalle aree circostanti al sito;
- c) malte (5 su 23, tra cui US 31) ove la calce di partenza è stata ottenuta dalla calcinatura di calcari nummulitici eocenici, calcari giurassici oolitici o a peloidi, calcari pelagici giurassico-cretacici, in questo caso l'areale di possibile approvvigionamento si poteva espandere dal Monte Baldo settentrionale alla porzione meridionale della Val di Gresta e del Monte Biaena.

Si deve inoltre sempre tener conto anche della fonte di materia prima rappresentata dai depositi sciolti presenti nei pressi dell'Isola di S. Andrea.

Dei rimanenti cinque campioni, quattro sono contraddistinti da una più spinta alterazione termica degli elementi carbonatici, che nella maggior parte dei casi ha obliterato le tessiture originarie, e non possono essere

utilizzati in questo tipo di confronto; mentre il campione US 1132, sebbene con caratteristiche analoghe a quelle del gruppo “c”, rappresenta un caso anomalo in quanto è l'unico per cui è risultato evidente l'utilizzo di malta da reimpiego. Risulterebbe quindi fuorviante prendere a riferimento il tipo di roccia di calce di cui si caratterizza, poiché non si riuscirebbe a discriminare se i resti di incotto siano il risultato di una precisa strategia di approvvigionamento oppure siano residui di vecchie malte riutilizzate.

5.2 Distinzione basata sulla natura dell'aggregato

I campioni sono stati valutati anche sulla base della natura dell'aggregato aggiunto al legante, considerando tutti i parametri inerenti che hanno restituito elementi utili per la distinzione delle malte. In particolare si sono distinti e definiti: i componenti, tra metamorfici, vulcanici acidi e carbonatici, e stimata l'abbondanza (di nuovo con i termini dominante, comune, sporadico, raro, assente); il rapporto tra legante e aggregato (se impasto magro, grasso, molto magro, molto grasso) e la distribuzione granulometrica (aggregato ben classato o mal classato).

Complessivamente i dati raccolti sull'aggregato suggeriscono la seguente distinzione:

- a) in 7 casi su 23 (tra cui US 31), sabbie ottenute per frantumazione di ciottoli o massi di scisti e rioliti reperibili in loco (depositi glaciali e fluvioglaciali) e in seguito miscelate (scarsa cernita);
- b) in 3 casi su 23 (tra cui US 1110), sabbie ottenute principalmente per frantumazione di roccia dolomitica locale;
- c) in 5 casi su 23, impasti estremamente grassi, con minima percentuale di aggregato, questo contraddistinto da buona cernita, classe granulometrica principalmente della sabbia fine e composizione mineralogica prevalentemente quarzosa di nuovo riferibile a depositi glaciali e fluvioglaciali.

Sette campioni (tra cui US 629 e US 823, US 823E, US 823W) possiedono caratteristiche troppo generiche per essere ascritti a uno dei gruppi sopra citati. Infine, anche in questo caso il campione US 1132, nel quale sono stati individuati frammenti di vecchie malte frantumate e reimpiegate come aggregato, mostra caratteristiche simili al gruppo “a”, ma richiede una trattazione a sé stante.

Lo studio della composizione minero-petrografica dell'aggregato e dei parametri relativi alle sue caratteristiche tessiturali (granulometria) ha mostrato come si siano usati prevalentemente frammenti di natura metamorfica

e vulcanica, riferibili a litotipi esotici atesini, a indicare una provenienza dai depositi sciolti glaciali (compresi massi erratici) e fluvioglaciali presenti nella zona in esame. Più interessanti invece le osservazioni sul rapporto aggregato-legante in termini di abbondanza relativa e qualità della miscelazione.

5.3 Distinzione basata sui difetti tecnologici

In merito alla distinzione secondo i difetti tecnologici si sono presi in considerazione quelli ritenuti di maggiore valenza diagnostica, vale a dire le fessurazioni da ritiro (definite da trascurabili, a moderate fino a elevate) e la presenza di grumi, distinguendo incotti, stracotti e legante non amalgamato. Per i tre tipi di grumi si è anche in tal caso usato lo stesso tipo di valutazione sull'abbondanza, come fatto in precedenza per i componenti di legante e aggregato, attraverso l'attribuzione dell'aggettivo più rappresentativo per ciascun campione tra i termini dominante, comune, sporadico, raro, assente.

Confrontando i dati emersi dallo studio dei difetti tecnologici emerge un quadro che rispecchia sia le modalità operative inerenti alla scelta della materia prima, sia quelle attuate durante e dopo la posa in opera della malta. Si hanno infatti:

- malte compatte (7 su 23, tra cui US 31 e US 1110) ove la fessurazione è minima e il legante risulta ben amalgamato. Questo testimonia accuratezza nella scelta e nella miscelazione dell'aggregato (ben assortito) e/o cura nel mantenere idratata la malta a seguito della messa in opera;
- malte scarsamente compatte (6 su 23, tra cui US 1132 e US 823, US 823E, US 823W) ove i difetti tecnologici non causano comunque un degrado spinto;
- malte da poco a estremamente poco compatte (10 su 23, tra cui US 629), caratterizzate da intensa fessurazione ed elevata presenza di grumi. Questo suggerisce poca cura o scarsa abilità nel modo di operare durante la produzione della malta.

6. DISCUSSIONE

Nell'insieme, guardando alle distinzioni descritte nel capitolo precedente, e ammettendo una certa variabilità nella realizzazione delle malte dello stesso periodo, dovuta ad accidenti o a cause contingenti, si possono definire alcuni gruppi omogenei e individuare delle malte che poco o nulla hanno a che fare con le altre.

Per quanto riguarda la composizione di legante e aggregato, il presente studio ha evidenziato il ricorso a materiali lapidei e sciolti dalle buone qualità, calcari e calcari magnesiaci, a bassa impurità, e calcari porosi più o meno impuri, decisamente idonei al confezionamento di malta. Questi materiali erano disponibili negli immediati dintorni del sito (in particolare quelli ricavabili dalla Dolomia Principale e dal Gruppo dei Calcari Grigi) o comunque in prossimità (calcari eocenici e cretaco-giurassici), semplificando di molto – almeno dal punto di vista della reperibilità – le questioni legate all'approvvigionamento. Inoltre non si deve dimenticare come nei pressi del sito fossero presenti, oltre agli affioramenti rocciosi, anche accumuli di materiali sciolti, che potevano facilitare ulteriormente le operazioni di recupero degli sfridi di roccia per il pietrisco e per la pietra da calce.

L'incrocio tra i dati ricavati dalle varie analisi condotte (al microscopio polarizzatore, allo stereoscopio, integrate da quelle in spettrometria infrarossa) e le conoscenze archeologiche pregresse, compresa quindi la conoscenza del settore di provenienza di ogni campione, ha offerto un riscontro positivo, con indicazioni interpretative, rispetto ai cinque periodi insediativi già ipotizzati per il sito (B. Maurina, 2016, in particolare pp. 279-297).

- Le malte caratterizzate da calce aerea magnesiaca e ove domina o è ubiquitaria roccia dolomitica come componente dell'aggregato, si riscontrano in tutti i campioni relativi al periodo insediativo II (tre campioni su tre, tra cui US 629), mentre solo raramente nel periodo V (due campioni, tra cui US 1110, su quattordici). Questo fa supporre che nel periodo II la scelta di utilizzare roccia dolomitica locale sia stata intenzionale, anche perché nella maggior parte dei casi il prodotto finito risultava compatto e limitato nei difetti tecnologici; mentre la sua scarsa evidenza nel periodo V denota o una scelta dettata dalla facile reperibilità, o la consapevolezza delle migliori caratteristiche ottenibili, ma utilizzata solo occasionalmente e per scopi ben precisi (ad esempio per aree abitative di maggior pregio).
- Le malte ottenute cuocendo, tra gli altri, calcari eocenici rappresentano il 70% dei campioni del periodo III (quattro campioni, tra cui US 31, su sei), ma nel 17% l'impasto era estremamente grasso, la roccia ben calcinata e priva di resti di cottura, impedendo così il riconoscimento della materia prima utilizzata come roccia di calce. In tutti i campioni del periodo III, inoltre, è da notare l'assenza o la scarsità di elementi provenienti da rocce dolomitiche. Sempre nel 70% dei campioni del III periodo, la qualità delle malte è risultata buona. Anche in questo caso si può pensare ad una scelta dei materiali voluta, ove risultano cambiate le strategie di approvvigionamento della materia

prima rispetto al periodo precedente. Residui di calcari eocenici sono stati rilevati anche in due campioni attribuiti al periodo V, come il campione US 1132, ma per quest'ultimo – elemento peculiare – è stata utilizzata malta da reimpiego (ovvero resti di vecchie malte, macinate e adoperate come aggregato, verosimilmente ottenute dallo smantellamento di vecchi edifici). Non è pertanto da escludere che le malte attribuibili ad entrambi i campioni siano state prodotte ricavando parte del materiale dai ruderi del periodo III.

- Dal punto di vista dei materiali usati per idraulicizzare la malta, il cocciopesto è presente nella maggior parte dei campioni (87%); è ipotizzabile quindi un utilizzo intenzionale come materiale idraulicizzante per tutti i periodi indagati; stessa cosa non si può dire per la selce, che appare sporadicamente o è del tutto assente. In questo caso la prudenza è d'obbligo, essendo possibile che non se ne conoscesse il suo potere idraulicizzante e che la sua presenza fosse quindi casuale: la selce infatti è comune nelle successioni bacinali cretacicche, ma anche rintracciabile nella coltre sciolta quaternaria. Né il cocciopesto né la selce risultano utili per discriminare periodi insediativi diversi mentre danno una probabile indicazione sulla conoscenza del loro potere idraulicizzante da parte delle maestranze.
- Per ogni campione è ubiquitaria seppur variabile la presenza di grumi quali resti di cottura e/o frammenti stracotti, a testimoniare temperature non omogenee durante la calcinatura, aspetto a favore dell'utilizzo di forni a fuoco intermittente. Situazione concorde con le evidenze archeologiche riscontrabili in altri siti alto-medievali (PETRELLA, 2008; SAGUÌ, 1986). Per un gruppo di cinque campioni si riscontrano comunque delle affinità sia riguardo al rapporto legante/aggregato (impasti molto grassi), che riguardo alla numerosa presenza di stracotti della pietra da calce: questa evidenzia disomogeneità di temperatura nella fornace, poca attenzione nella fase di spegnimento (spegnimento in opera - calci calde) e mancanza della vagliatura della calce dopo lo spegnimento. Non a caso la qualità del prodotto finito per l'80% dei suddetti campioni (tutti del V ad eccezione di uno riferito al III periodo) è decisamente scadente.
- Per quanto riguarda la qualità generale del prodotto finito (compattezza, assenza di difetti e stato di conservazione), sebbene si noti un significativo trend di miglior qualità per le malte del II e del III periodo, rispetto a quelle del V periodo (descrivibili in generale come malte dalle caratteristiche strutturali e composizionali affini ma relative a periodi costruttivi diversi), ciò può essere solo un dato di supporto e non diagnostico. Non si può d'altra parte escludere che l'attenzione alla

- miscelazione e alla cura durante la posa fosse una caratteristica individuale, propria del singolo operaio e non dipendente dalle maestranze.
- In 7 dei 23 campioni indagati sono stati riconosciuti residui di combustione; in due di essi, US 823 (Fig. 6) e US 1110, alcuni di questi frammenti hanno preservato l'originaria microstruttura del legno, rendendo determinabile (perlomeno a livello tassonomico di divisione) il tipo di legno utilizzato come combustibile per la calcinatura: in entrambi i casi riferibile a conifere (legno omoxilo). In US 1110 è stato anche analizzato un carbone che per le caratteristiche di tessitura farebbe propendere per una sua attribuzione al legno di una latifolia (legno eteroxilo); purtroppo però le condizioni di conservazione non ottimali non permettono di avere la certezza della determinazione. La presenza di un resto di questo tipo non stupirebbe vista la grande preponderanza di legno di faggio (*Fagus sylvatica*) ritrovato nei pochi carboni analizzati provenienti dagli strati di terreno indagati durante lo scavo archeologico (MARCONI & PEZZO, 2004), in cui otto reperti su nove sono di questa essenza mentre uno solo è di carpino nero (*Ostrya carpinifolia*).

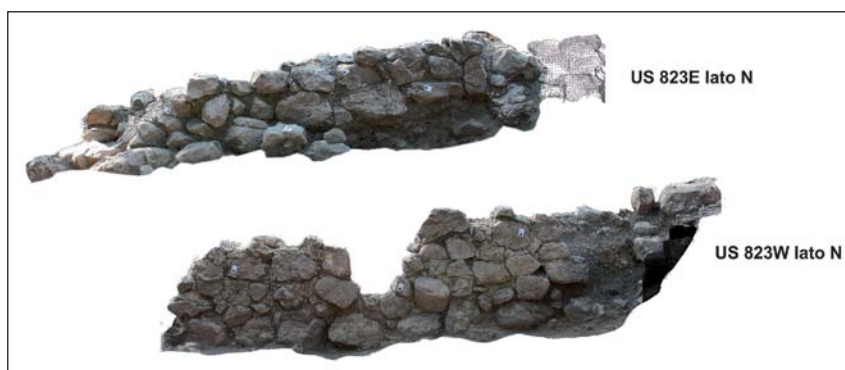


Fig. 6. Viste del muro da cui provengono i campioni US 823, relativi all'edificio IIIc, Area III, Settore A (fotopiani Sat Survey).

7. CONCLUSIONI

L'obiettivo principale dell'indagine è stato quello di caratterizzare e discriminare i campioni di malta provenienti dal sito fortificato di S. Andrea di Loppio, sulla base della composizione e delle caratteristiche proprie dell'impasto e dei difetti tecnologici (insorti durante la cottura della pietra da calce e/o la messa in opera della malta stessa). Si tratta di elementi strettamente

collegati alle modalità operative e alla loro possibile variazione nel tempo nei differenti periodi di utilizzo del sito. Si sono così potuti individuare da un lato gruppi di campioni dalle caratteristiche omogenee e dall'altro mettere in luce situazioni anomale. L'insieme delle informazioni ha permesso di integrare i dati archeologici a disposizione e verificare la coerenza dei risultati con le condizioni e la storia dei relativi resti murari, trovando un buon riscontro complessivo (MAURINA, 2016 b) e risultando un valido strumento di supporto per la fase interpretativa sulle strutture in muratura del sito di Loppio. L'analisi archeologica delle strutture e delle tecniche murarie aveva già portato a ipotizzare un'articolazione cronologica delle strutture del *castrum* in sei periodi; tale periodizzazione è stata valutata anche alla luce delle risultanze dello studio oggetto del presente lavoro, risultando sostanzialmente valida. Inoltre l'identificazione della natura delle materie prime utilizzate ha dato modo di comprendere, alla luce delle conoscenze geologiche e geomorfologiche dell'area, come l'areale di approvvigionamento fosse locale, essendo utilizzate rocce e materiali sciolti rinvenibili direttamente nei pressi e nei dintorni del sito. Lo studio a tutto tondo ha consentito, non solo di distinguere la scelta della materia prima da parte del gruppo insediativo o dei gruppi insediativi, ma anche di fare valutazioni sulla qualità del prodotto finito e perciò sul grado di specializzazione della manodopera o, meglio, per lo stato delle conoscenze, sulla cura e sul tempo che venivano prestati nella realizzazione delle strutture in muratura per ogni rispettiva fase costruttiva; si è confermato anche il ricorso al cocchiopesto come aggiunta voluta di materiale idraulicizzante per migliorare le caratteristiche dell'impasto.

Infine interessanti sono risultati i resti di legno carbonizzato inclusi nelle malte. I carboni analizzati fanno propendere verso l'ipotesi che per il processo di combustione venisse prediletto l'utilizzo di legno di conifera, (probabilmente di abeti e pini, AA.VV., 1994, p. 25), perché migliore per questo impiego rispetto a quello di latifoglie, il cui uso invece è stato accertato nel sito per i focolari domestici.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano la prof.ssa Valeria Luciani per la supervisione delle determinazioni micropaleontologiche; Barbara Maurina, Franco Finotti e Maurizio Battisti per la rilettura critica del manoscritto e gli utili consigli.

APPENDICE

LE MALTE

Le malte costituiscono un prodotto realizzato dall'uomo fin dai tempi più antichi, utilizzando materiali naturali per creare un composto che una volta indurito è in grado di legare e consolidare manufatti diversi o parti di essi scollegate tra loro.

I costituenti principali delle malte sono quindi:

- Legante, ovvero la componente matriciale che ha la funzione di cementare l'impasto durante la reazione di presa;
- Aggregato, la componente incoerente che costituisce lo scheletro dell'impasto;
- Acqua, che ha lo scopo di rendere più lavorabile l'impasto durante la messa in opera;
- Composti idraulicizzanti (eventuali), come pozzolana, cocciopesto, selce, caolino, ecc.;
- Additivi organici (eventuali), come resine, cere, oli, grassi animali, uovo ecc.

Di seguito vengono espone le linee generali della metodologia proposta in PECCHIONI *et al.*, 2008 e PECCHIONI *et al.*, 2014 per la caratterizzazione delle malte antiche mediante indagine in microscopia. Tale metodologia è stata presa come riferimento per l'analisi delle malte del sito di Loppio.

La caratterizzazione del legante si fa sulla base della composizione mineralogica della pietra da calce, della temperatura raggiunta durante la calcinatura e della presenza di argilla, o comunque di additivi idraulicizzanti. Si distinguono, così, vari tipi di legante:

- Legante di calce aerea calcica, ottenuto per cottura a T di 850-900°C di calcari mediamente puri;
- Legante di calce aerea magnesiaca, ottenuta per cottura a 850-900°C di calcari dolomitici o dolomie;
- Legante di calce aerea con aggiunta di idraulicizzanti, che in base all'alto o basso grado di idraulicità possono indurire in ambienti più o meno umidi o addirittura in ambiente subacqueo.

A questi si aggiungono i leganti idraulici naturali, quelli moderni e i leganti gessosi, che in questa sede non verranno trattati poiché non di interesse per il presente lavoro.

Riguardo la caratterizzazione dell'aggregato è fondamentale il riconoscimento delle sue componenti mineralogiche, oltre all'analisi tessiturale (granulometria, morfometria, distribuzione) che può essere fatta tramite comparatori o per mezzo di metodi quantitativi. In tal proposito è importante considerare il riconoscimento di materiali idraulicizzanti, i quali vengono aggiunti durante la fase di miscelazione tra legante, aggregato ed acqua.

Ultimo aspetto ma non di minor importanza è il riconoscimento dei difetti tecnologici e di degrado insorti durante la fase di calcinatura, di posa in opera e di indurimento; questi danno specifiche indicazioni sulle modalità operative. Di seguito sono elencati le principali tipologie, utili per facilitare la caratterizzazione delle malte.

I grumi, ovvero porzioni di legante che si distinguono per l'aspetto incoerente e, in base all'origine, per il colore non omogeneo, i bordi alterati e localizzati fenomeni di fessurazione. L'osservazione in sezione sottile permette di riconoscere la loro natura:

- Grumi da legante non amalgamato all'impasto, che si originano per una non consona miscelazione;
- Incotti, ovvero relitti di cottura della pietra da calce, questi testimoniano disomogeneità della temperatura del forno durante la calcinatura o l'utilizzo di blocchi di pietra da calce troppo grandi. Questo tipo di grumi spesso mantengono le proprie tessiture inalterate e tendono a comportarsi come aggregato;
- Stracotti della pietra da calce, ovvero quei frammenti originatisi per una cottura della pietra da calce oltre la temperatura consona;
- Stracotti idratati e carbonatati dopo la presa della malta, tale reazione può determinare indesiderate variazioni di volume all'interno della malta (tensioni) con conseguente aumento della porosità.

I fenomeni di ritiro danno luogo a fessurazioni del legante e se spinti possono comportare la decoesione della malta con una perdita relativa di resistenza meccanica. Questo fenomeno è legato alla poca attenzione nel calibrare una sufficiente dose di aggregato durante la miscelazione (rapporto legante/aggregato troppo elevato), all'eccessiva presenza di acqua nell'impasto, oppure ad una scarsa cura nel mantenere idratata la malta dopo la messa in opera.

L'eccesso di acqua nell'impasto, con lo scopo di aumentarne la lavorabilità, può anche determinare durante la fase di presa lo sviluppo di una porosità di tipo capillare e ciò favorisce la circolazione di fluidi, questi micropori (<10 μm) non sono identificabili in sezione sottile ma danno luogo a fenomeni di dissoluzione del legante per risalita capillare. Al contrario al microscopio polarizzatore è ben riconoscibile la presenza di porosità data da bolle d'aria

intrappolate nell'impasto, che tende a presentarsi isolata nel legante, con un profilo sub-circolare e dai bordi lineari.

LA SCELTA DELLA MATERIA PRIMA

La scelta della materia prima, oltre alla tecnologia di preparazione impiegata, riveste particolare importanza nella qualità di resistenza e durezza del prodotto finito.

Le calci calciche con le migliori caratteristiche sono quelle che si ottengono dalla cottura di calcari porosi leggermente impuri (calcari leggermente marnosi, calcari selciferi) i quali durante la calcinatura permettono di ottenere cristalli di CaO porosi e quindi molto reattivi. Tuttavia si possono ottenere buone caratteristiche anche dalla cottura di calcari micritici compatti.

I leganti ottenuti dalla cottura di dolomie e calcari dolomitici permettono di realizzare malte con buone caratteristiche, oltre a richiedere temperature più basse rispetto a quelle necessarie per i calcari (PECCHIONI *et al.*, 2008; PECCHIONI *et al.*, 2014).

Per quanto riguarda l'origine dell'aggregato, questo poteva essere ricavato dagli accumuli di sedimenti sciolti oppure tramite frantumazione di rocce compatte, dando luogo, in termini tecnici, al pietrisco. Questo in passato veniva scelto sulla base delle caratteristiche tecniche, estetiche e composizionali (PECCHIONI *et al.*, 2008):

- buona resistenza meccanica e bassa alterabilità chimica degli elementi che lo compongono (ad es. sabbie prevalentemente silicee);
- bassa porosità, onde evitare assorbimento dell'acqua d'impasto e sfavorire alterazioni chimiche;
- assenza di argilla (che influisce sul rapporto acqua legante) e sostanze organiche (le quali ritardano la presa);
- granulometria compresa tra la sabbia molto fine (0,065 mm) e quella grossolana (2 mm);
- cernita scarsa, così da avere una migliore distribuzione all'interno del legante.

Detto ciò, in passato, come anche in tempi più recenti, soprattutto per opere di non elevato pregio, la scelta di materia prima con particolari attributi qualitativi era influenzata da considerazioni sulla reperibilità (vicinanza area sorgente) e conseguentemente da ragioni di tipo economico e pratico. Inoltre, la qualità complessiva del prodotto poteva dipendere anche dalla presenza di una manodopera più o meno specializzata, dall'urgenza richiesta, dalle condizioni meteorologiche.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV., 1994 - *Le calchere del comprensorio Alto Garda e Ledro*, Museo Civico di Riva del Garda, Trento, Editrice Temi, pp. 173.
- AVANZINI M., 1992 - Evoluzione strutturale della zona compresa tra Riva del Garda e Rovereto (Alpi Meridionali). *Mem. Sc. Geol.*, 44, Padova, pp. 13-25.
- BOLLI H.M., SAUNDERS J.B. & PERCH-NIELSEN K., 1985 - Plankton Stratigraphy. *Cambridge Earth Science Series*, Cambridge, pp. 1032, 1985.
- CASTELLARIN A., PICOTTI V., CANTELLI L., CLAPS M., TROMBETTA L., SELLI L., CARTON A., BORSATO A., DAMINATO F., NARDIN M., SANTULIANA E., VERONESE L. & BOLLETTINARI G., 2005 - Note illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 080 - Riva del Garda. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Firenze, pp. 145.
- FINOTTI F., 1981 - Note illustrative della Carta Geologica del Monte Baldo settentrionale (Trento). *Pubbl. Soc. Museo Civico di Rovereto*, 83, Rovereto, pp. 40, 1981.
- LUCIANI V., 1989 - Stratigrafia sequenziale del terziario nella catena del Monte Baldo (Province di Verona e Trento). *Mem. Sc. Geol.*, 41, Padova, pp. 263-351.
- LUCIANI V., BARBUJANI C. & BOSELLINI A., 1988 - Facies e cicli del calcare di Nago (Eocene superiore, Trentino meridionale). *Annali dell'Università di Ferrara, Sezione Scienze della Terra*, 1, pp. 47-62.
- MARCONI S. & PEZZO M. I., 2004 - Appendice 2, Lago di Loppio, isola di S. Andrea. L'analisi dendrocronologica, in MAURINA B., Ricerche archeologiche sull'isola di S. Andrea - Loppio (TN). Relazione preliminare sulla campagna di scavo 2003. *Ann. Mus. civ. Rovereto*, 19/03, Rovereto, pp. 47-50.
- MAURINA B., 2016(a) - Ricerche archeologiche a Sant'Andrea di Loppio (Trento, Italia). Il Castrum Tardoantico-Altomedievale. *Archaeopress Publishing e Mus. civ. Rovereto Cv*, 2016.
- MAURINA B., 2016(b) - 4. Edifici e strutture murarie: tipologia, materiali, tecniche costruttive. In MAURINA B., Ricerche archeologiche a Sant'Andrea di Loppio (Trento, Italia). Il Castrum Tardoantico-Altomedievale. Parte Seconda. Lo scavo archeologico: periodizzazione e analisi stratigrafica. *Archaeopress Publishing e Mus. civ. Rovereto Cv*, 2016.
- PECCHIONI E., FRATINI F. & CANTISANI E., 2008 - Le malte antiche e moderne tra tradizione ed innovazione. Bologna, Pàtron Editore, pp. 237.
- PECCHIONI E., FRATINI F. & CANTISANI E., 2014 - Atlante delle malte antiche in sezione sottile e al microscopio ottico. Firenze, Nardini Editore, pp. 78.
- PREMOLI S. I., VERGA D., 2004 - Practical manual of cretaceous planktonic foraminifera. International school on planktonic foraminifera, Perugia, pp. 283.
- PETRELLA G., 2008 - De calcariis faciendis. Una proposta metodologica per lo studio, in *Archeologia dell'Architettura*, XIII, Villard de Honnecourt. L'architettura nel Medioevo e i modi di costruire, Atti del seminario (Genova 2004), a cura di Anna Boato, pp. 29-44.
- SAGUÌ L., 1986 - Crypta Balbi (Roma). Lo scavo nell'essedra del monumento romano. Seconda relazione preliminare, in *Archeologia medievale*, 13, pp. 345-355.

