

## Strong mortars from the tower of the Cerreto Ciampoli castle (Siena, Italy)

Marco Giamello<sup>a</sup>, Stefano Columbu<sup>b</sup>, Fabio Gabbrielli<sup>c</sup>, Sonia Mugnaini<sup>d</sup>, Andrea Scala<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Siena, Italy, marco.giamello@unisi.it; <sup>b</sup> Università di Cagliari, Dipartimento di Scienze della Terra, Cagliari, Italy, columbus@unica.it; <sup>c</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Siena, Italy, fabio.gabbrielli@unisi.it; <sup>d</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Siena, Italy, mugnaini12@unisi.it; <sup>e</sup> Università di Siena, Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente, Siena, Italy, andrea.scala@unisi.it

### Abstract

Known since the 11<sup>th</sup> century, the castle of Cerreto Ciampoli was one of the main fortifications of the ancient Republic of Siena (Tuscany, Italy). The magnificent ruins, located on the top of a hill overlooking the Chianti Mountains, consist of two city walls, a door, a church, the remains of some rooms and a mighty tower lying on the ground broken up into five sections of several meters in length. The present study is focused on the analysis of the mineralogical-petrographic and chemical features of the sack and the bedding mortars of the tower, and it is aimed at understanding the exceptional qualities of these mortars that, during the collapse of the artifact, prevented the tower from shattering into smaller pieces. The tenacity of these mortars appears to be the result of the concurrence of more expedients, such as the choice of well-selected materials (hydraulic limes obtained from the local Alberese limestone, sandy aggregates from well-rinsed river sands with a high silicoclastic component) and the use of particular technical methods (*i.e.*, hot lime technique).

**Keywords:** Chianti Mountains, Cerreto Ciampoli castle, Republic of Siena, historical mortars, applied petrography

### 1. Introduzione

Il presente studio ha come oggetto le malte della torre del castello di Cerreto Ciampoli (Comune di Castelnuovo Berardenga, Siena, Italia). Tale manufatto fa parte di un più ampio complesso fortificato di accertata importanza storica e strategica per il territorio in questione. La torre si presenta oggi sotto forma di cinque tronconi di notevoli dimensioni adagiati a terra, in ognuno dei quali le malte, che caratterizzano sia il nucleo della muratura che l'allettamento di bozze in pietra e di laterizi del paramento, si

contraddistinguono per un grado di adesione e di coesione particolarmente elevato.

Attraverso l'analisi mineralogico-petrografica e chimica delle malte si intende raccogliere elementi utili per l'identificazione delle materie prime e dei procedimenti tecnologici che hanno contribuito alla fabbricazione di malte di eccezionali qualità, tanto da garantire la durevolezza della muratura fino ai nostri giorni ed impedire, in occasione del crollo, la frantumazione della struttura in elementi minuti.

## **2. Nota storica e descrizione dell'apparato murario**

Il castello di Cerreto (fig. 1), detto anche Cerreto Ciampoli o Cerretaccio, località attestata fin dal 1097, costituì il principale fortalizio della potente consorceria senese dei Cerretani. Tra la fine del Duecento e il primo Quattrocento fu acquisito, in più tempi, dalla Repubblica di Siena di cui divenne uno dei capisaldi della linea di confine con il territorio controllato da Firenze (Cammarosano e Passeri, 1985; Fusai, 2010).

Lavori di fortificazione e di riparazione del castello sono documentati negli anni 1229-1230, 1268, 1398 e 1401-1402 (Passeri, 2002). Nel 1491, a conferma del ruolo strategico del sito, il Comune di Siena incaricò alcuni maestri, tra i quali l'architetto senese Francesco di Giorgio Martini, a ricostruire la fortezza, ma non è chiaro cosa effettivamente sia stato realizzato (Adams, 1993; Chironi, 1993).

Grandiose rovine, riferibili a diverse fasi edilizie, testimoniano l'importanza del castello e la sua continuità fino alla caduta dello Stato senese, avvenuta alla metà del XVI secolo (Gabbriellini, 1996; Marchetti, 2016). Sulla cima di una boscosa collina prospiciente i Monti del Chianti sono infatti riconoscibili due cinte murarie, una porta, i resti di una seconda porta, una chiesa dai caratteri tardoromanici e i resti di alcuni ambienti di incerta funzione. La struttura più spettacolare è una poderosa torre, a pianta rettangolare con base di circa sette metri di lato (misure interne: 2.42 x 2.86 m), la quale, caduta a terra forse a seguito di una deliberata opera di abbattimento (Parenti e Doglioni, 1993; Valenti, 1995), si presenta, eccezionalmente, spezzata in più tronconi, il primo dei quali raggiunge circa i 7.5 metri di lunghezza. I muri, che alla base misurano oltre due metri di spessore, presentano un paramento a bozze in pietra squadrate e un nucleo in calcestruzzo ad altissimo grado di adesione e coesione. La parte sommitale della struttura era in mattoni, come si evince da due tronconi ubicati nella parte terminale del crollo.

Il rivestimento della torre è realizzato principalmente in pietra Alberese. Si tratta di un calcare marnoso di colore variabile dal biancastro al grigio chiaro al nocciola, solcato da sottili vene di calcite spatica, molto compatto e a frattura concoide. Tale litotipo deriva dai depositi flyschoidi della Formazione di Monte Morello di età eocenica, che affiora estesamente nel territorio in oggetto, in particolare tra Firenze e le colline del Chianti (Lazzarotto et al., in stampa), e costituisce il substrato su cui insiste il castello stesso. Dal punto di vista petrografico l'Alberese si classifica come una biomicrite, con contenuto fossilifero rappresentato da radiolari, spicole di spugne e foraminiferi planctonici. Studi riferiti all'area fiorentina (Fratini et al., 1994) mostrano un contenuto di  $\text{CaCO}_3$  ampiamente variabile dal 55 al 90%, a seconda del livello stratigrafico e del sito di campionamento. La frazione non carbonatica è rappresentata da minerali argillosi (caolinite, illite, clorite, illite-smectite e clorite-vermiculite) e quantità minori di quarzo e feldspati. Il calcare Alberese è storicamente utilizzato in Toscana sia come pietra da costruzione tal quale che come pietra da calce (Fratini et al., 1994; Pecchioni et al., 2006), comparando con il termine di "albazzano" già nei quattrocenteschi trattati dello stesso Francesco di Giorgio Martini (Martini, 1967).

Le malte di allettamento e del nucleo, assai tenaci e compatte, mostrano un colore variabile da avana a grigiastro chiaro. Quelle di allettamento sono caratterizzate da aggregati con granuli di dimensioni per lo più fino a millimetriche, mentre in quelle del nucleo si osservano comunemente frammenti anche centimetrici. Sono inoltre presenti abbondanti grumi di dimensioni variabili da qualche millimetro fino a vari centimetri, e relitti di cottura dell'originaria pietra da calce di colore bianco e nocciola. Abbondanti concrezioni calcaree derivate da addensamento del legante sono visibili in più parti della muratura sia del nucleo che del paramento esterno.

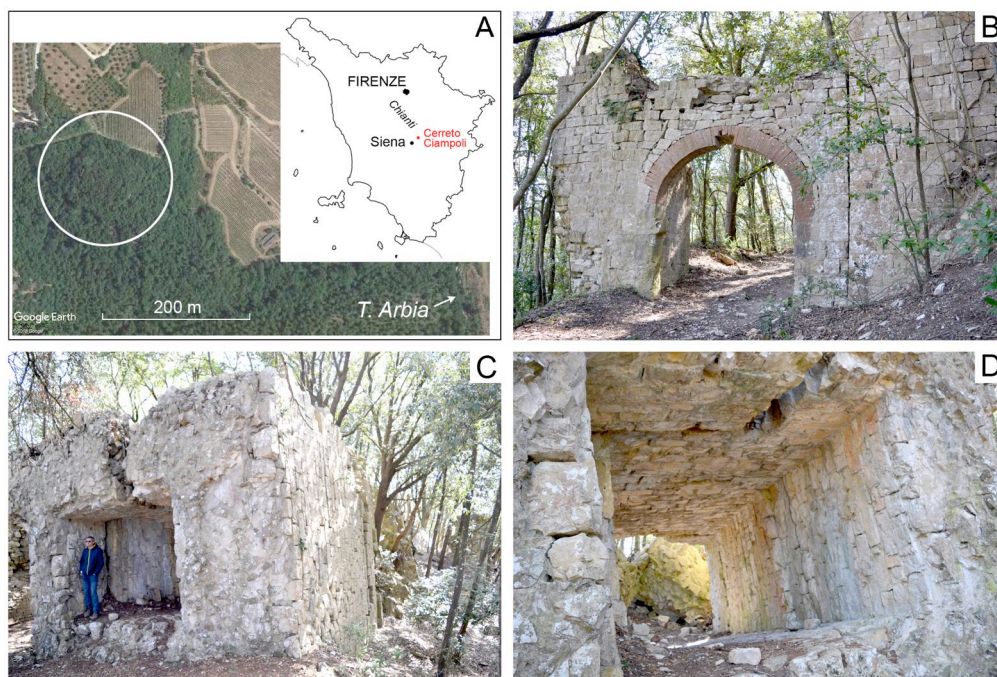


Fig. 1. Ruederi del castello di Cerreto Ciampoli. (A) Vista della zona dall'alto (cerchio bianco). (B) Ingresso del castello. (C) Troncone principale della torre. (D) Interno della torre.

### 3. Materiali e metodologie analitiche adottate

Sono stati prelevati cinque campioni di malta dai giunti tra le bozze squadrate del paramento e dal nucleo della torre, sia nelle parti in pietra che in laterizi (tab. 1). Ogni campione consiste in un unico frammento di dimensioni pluricentriche (fig. 2).

N. camp.	Tipo e ubicazione	Colore
1	Troncone 1, MA	H9,3YR;V7,3;C1,9
2	Troncone 1, MN	H9,2YR;V7,2;C1,8
3	Troncone 2, MA	H9,6YR;V7,0;C1,7
4	Troncone 3, MN	H9,3YR;V6,9;C2,1
5	Troncone 4, MA	H9,5YR;V6,9;C2,2

Tab. 1. Campioni di malte prelevate dalla torre del castello di Cerreto Ciampoli. MA: malta di allettamento; MN: malta del nucleo. Il colore è espresso secondo la notazione di Munsell.

Sui campioni di malta prelevati è stata effettuata preliminarmente un'osservazione macroscopica e allo stereomicroscopio e, a valle di una blanda pulitura, sono state effettuate le misurazioni del colore mediante il colorimetro Minolta Chroma Meters CR 200. I risultati vengono riportati nello spazio dei colori di Munsell.

Successivamente sono state preparate due o più sezioni sottili per ogni campione e analizzate mediante microscopio ottico polarizzatore. Sono state eseguite analisi modali per la quantificazione dei componenti della malta, conteggiando 300 punti per ogni campione in porzioni rappresentative, con un passo di 1 mm nelle due dimensioni. I granuli di dimensioni eccedenti 1 mm sono stati conteggiati una sola volta. Dall'analisi modale si è ottenuta anche una prima stima sulla distribuzione dimensionale dei granuli e sui rapporti legante/aggregato.

Le analisi in microscopia ottica sono state supportate da diffrattometria a raggi X delle polveri (XRPD). Lo strumento impiegato è un diffrattometro Philips X'Pert PRO PW 3040 a

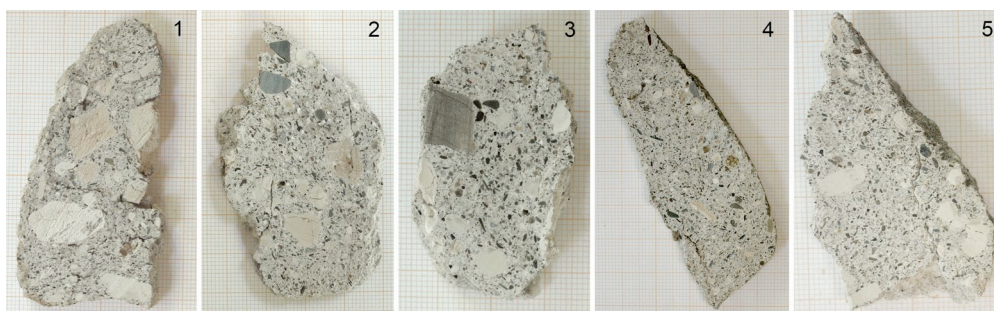


Fig. 2. Aspetto macroscopico delle malte oggetto di indagine.

geometria Bragg-Brentano equipaggiato di detector PW3015 X'Celetor, usato alle condizioni operative di 40 kV e 40 mA e impiegando la radiazione  $\text{CuK}\alpha$ . Gli spettri sono stati raccolti nell'intervallo  $3 - 60^\circ(2\theta)$  con una velocità di scansione di  $0.016^\circ/\text{s}$ .

Per una migliore caratterizzazione del legante, sono state eseguite analisi chimiche sui grumi. Per ogni campione, numerosi grumi sono stati isolati sotto controllo allo stereomicroscopio al fine di allontanare eventuali componenti dell'aggregato. Dal materiale derivante, finemente macinato, sono stati prelevati 100 mg di polvere, i quali sono stati riscaldati con  $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  e  $\text{LiBO}_2$  a  $950^\circ\text{C}$  per 30 minuti in crogioli di platino (fusione alcalina).

La perla vetrosa è stata solubilizzata con una soluzione al 5% di  $\text{HNO}_3$ . Le analisi sono state effettuate con uno spettrofotometro ad emissione ottica con sorgente ICP (ICP-OES) Perkin-Elmer Optima 2000. L'accuratezza delle analisi è stata verificata usando gli standard internazionali JLS-1 (calcare, GSJ) e GBW07108 (roccia carbonatica, GBW). La precisione analitica, determinata come %RSD su cinque repliche, è sempre risultata entro il 5% per concentrazioni superiori a 0.1% (in ossidi). L'indice di idraulicità (I.I.) viene espresso come  $\text{I.I.} = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)/(\text{CaO} + \text{MgO})$ .

#### 4. Risultati

Dall'analisi mineralogico-petrografica i materiali provenienti dai tronconi della torre sono risultati molto simili fra loro (fig. 3). Si tratta di malte che presentano un legante a base

di calce e un aggregato prevalentemente sabbioso. Il rapporto legante/aggregato risulta per lo più compreso tra 1/2 e 1/2.5. L'aggregato è relativamente ben sortito, con una distribuzione granulometrica unimodale non molto allargata in cui prevale la componente di sabbia fine-sabbia media. I granuli mostrano principalmente una sfericità medio-alta e una morfologia da sub-angolosa ad arrotondata. Dal punto di vista compositivo, l'aggregato è costituito da monocristalli, frammenti litici, rari microfossili carbonatici e rari frammenti di terracotta. I granuli di quarzo sono presenti sia come monocristalli che come aggregati policristallini (con cristalli sia deformati che non deformati). I grani con composizione carbonatica sono rappresentati da frammenti di micrite/microsparite (tra cui calcari marnosi), monocristalli e aggregati policristallini di calcite spatica e assai rari microfossili (gusci di bivalvi e foraminiferi). I feldspati sono presenti come monocristalli di plagioclasio (con composizione di tipo oligoclasio-albite e albite) e di k-feldspato (ortoclasio e microclino). Le miche sono rappresentate da lamelle e aggregati policristallini di muscovite e/o biotite, quest'ultima talora alterata in clorite. I frammenti litici sono rappresentati principalmente da arenaria quarzoso-feldspatica con matrice argillosa, argillite, siltite e selce. Tra i componenti rari e accessori (riportati come "altri componenti" in fig. 3) vi sono granuli costituiti da associazioni di quarzo e feldspati derivati da rocce magmatiche intrusive, frammenti di micascisto, frammenti di serpentinite, minerali opachi, monocristalli di zirconio e di titanite.

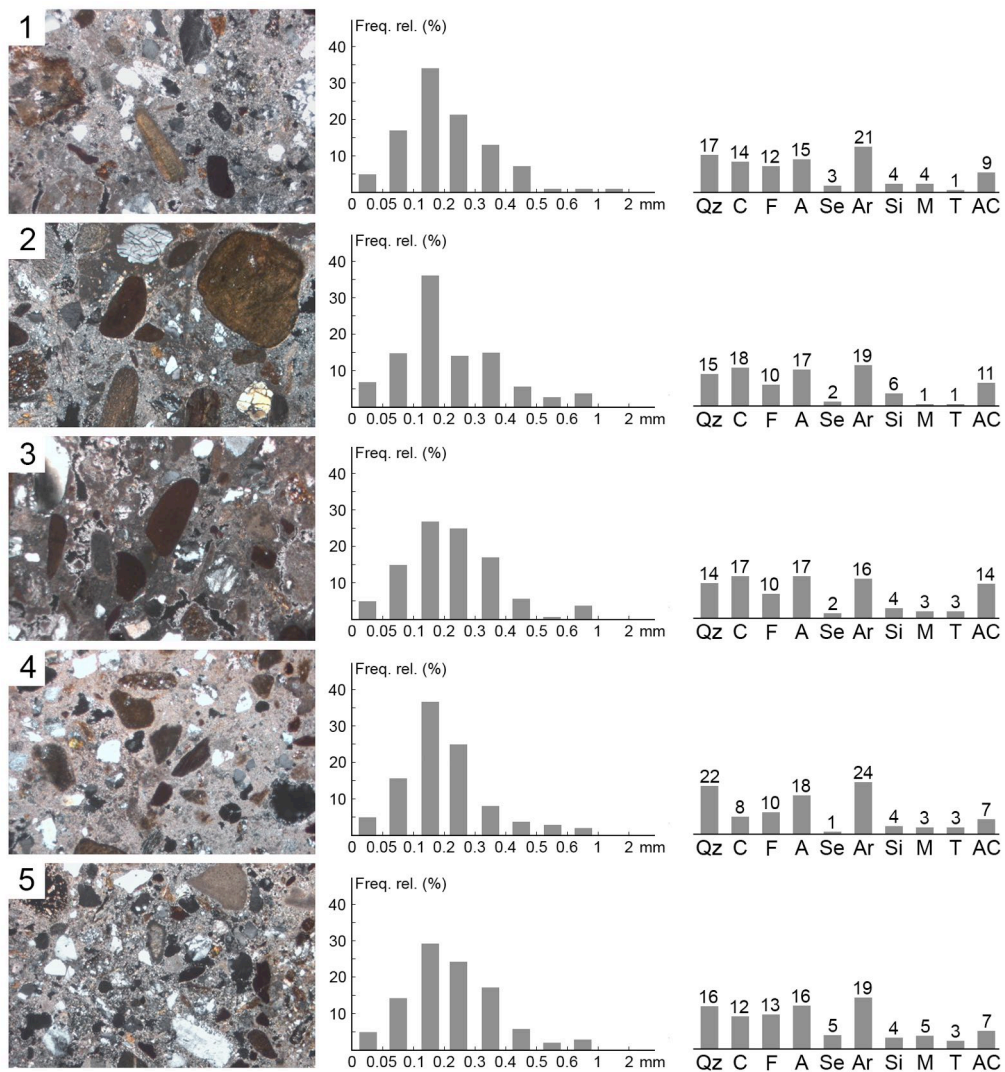


Fig. 3. Sintesi dei risultati dell'analisi petrografica degli aggregati delle malte oggetto di indagine. A sinistra: immagini ottenute al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile, Nicol incrociati. La base di ciascuna foto corrisponde a 4 mm. Al centro: distribuzione dimensionale dei granuli dell'aggregato nell'intervallo 0 - 2 mm. A destra: risultati dell'analisi modale, con indicazione della percentuale dei vari componenti (Qz: monocristalli e aggregati policristallini di quarzo; C: granuli a composizione carbonatica; F: feldspati; A: arenaria; Se: selce; Ar: argillite; Si: siltite; M: miche; T: terracotta; AC: altri componenti).

Il legante mostra una struttura micro-criptocristallina. Sono presenti, in quantità variabili, grumi di calce a tessitura omogenea, di dimensioni da qualche decina di  $\mu\text{m}$  fino a quelli pluricentrici visibili ad occhio nudo. I frammenti incotti della originaria pietra da calce,

scarsamente riconoscibili, mostrano una tessitura microcristallina con venature assai sottili.

La porosità è generalmente bassa in tutti i campioni analizzati ed è rappresentata da pori con forme irregolari variamente associati a calcite di riprecitazione secondaria.

Le analisi chimiche dei grumi (tab. 2) mostrano l'uso di calci ad elevata idraulicità, con variabile ma sostanziale presenza delle componenti idrauliche SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e valori di I.I. anche più elevati rispetto a quelli tipici delle normali calci idrauliche (da 0.40 a 1.10).

## 5. Discussione e conclusioni

L'insieme dei dati ottenuti consente di fare alcune considerazioni in merito alla tenacia mostrata dalle malte della torre del castello di Cerreto Ciampoli. Si ritiene che questa sia il risultato del concorso di più fattori che riguardano sia le specifiche materie prime impiegate (tipologie di calce e di aggregato), sia la tecnica di preparazione dell'impasto.

Per quanto riguarda la calce, si tratta di una calce avente caratteristiche fortemente idrauliche derivanti dalla cottura di un calcare marnoso o di una marna. Le composizioni rilevate possono essere ragionevolmente compatibili con il calcare Alberese dell'area del Chianti. La calce prodotta con il calcare Alberese, conosciuta anticamente nel territorio senese come calce "balzana" o "albazzana", veniva utilizzata, nelle

varietà più ricche in minerali argillosi, per la produzione di una calce "forte" adatta a costruire in virtù della sua tenacia e resistenza all'umidità (Fratini et al., 1994).

Per quanto attiene l'aggregato, si evidenzia una prevalenza della frazione silicoclastica e una buona classazione, indice di una certa attenzione nella scelta delle materie prime. I componenti dell'aggregato sono verosimilmente derivati dalle sabbie fluviali del torrente Arbia, vista la breve distanza dal castello. Si tratta infatti di sedimenti relativamente ben sciocquati dalla componente fine, la cui composizione petrografica è compatibile con le formazioni geologiche attraversate dal torrente stesso (Lazzarotto et al., in stampa). Notoriamente, la scarsità di una frazione argillosa-siltosa rappresenta un elemento favorevole nella fabbricazione di malte ad elevata resistenza.

Infine, riguardo alla tecnica di preparazione dell'impasto, l'abbondanza di grumi di calce non ben amalgamata di grosse dimensioni, la presenza di innumerevoli masse di concrezioni calcaree derivate da addensamento del legante e

	<i>JLs-1</i>	Jls-1	<i>GBW0</i> 7108	GBW0 7108	1	2	3	4	5
MgO	5.19	5.23	5.19	5.23	1.25	0.71	2.10	0.67	0.41
SiO <sub>2</sub>	15.6	15.9	15.6	15.9	13.5	22.4	17.8	23.4	29.4
Na <sub>2</sub> O	0.081	0.202	0.081	0.202	<0.001	0.105	<0.001	0.140	0.113
K <sub>2</sub> O	0.780	0.756	0.780	0.756	<0.001	0.253	<0.001	0.251	0.530
CaO	35.7	36.0	35.7	36.0	44.2	36.5	39.0	38.2	31.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.03	5.11	5.03	5.11	3.10	3.90	3.74	4.52	4.70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.52	2.54	2.52	2.54	1.37	1.26	2.49	0.95	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.052	0.066	0.052	0.066	0.103	0.062	0.139	0.100	0.069
TiO <sub>2</sub>	0.327	0.297	0.327	0.297	0.090	0.054	0.091	0.057	0.047
MnO	0.056	0.053	0.056	0.053	0.168	0.139	0.256	0.116	0.090
I.I.					0.40	0.70	0.60	1.10	0.70

Tab. 2. Risultati delle analisi chimiche dei grumi delle malte della torre ottenute con ICP-OES. I dati sono espressi in wt%. I.I. = indice di idraulicità. È mostrata l'analisi dei materiali usati come standard, dei quali si riportano anche i valori di riferimento (in corsivo). Le cifre decimali tengono conto della precisione della misura.

la scarsa porosità primaria sono elementi che indicano, con un buon grado di affidabilità, l'utilizzo della tecnica di "calce viva spenta in opera", anche detta "a calce calda". Questa tecnica può fornire alla malta ottime caratteristiche meccaniche ed elevata durabilità, grazie al calore che si sviluppa nello spegnimento della calce con temperature che possono raggiungere i 300 °C circa. Tale calore, sviluppato direttamente in opera, contribuisce in maniera positiva alla fase di adesione e reazione

fra la calce e l'aggregato, e l'idratazione porterebbe ad un aumento di volume con conseguente riduzione della porosità (Foster, 2004; Kraus et al., 1989; Margalha et al., 2011; Pecchioni et al., 2008).

Il lavoro intrapreso sulle malte della torre sarà a breve oggetto di estensione alle altre strutture del complesso, al fine di confermare le osservazioni qui riportate e di fare ulteriore chiarezza sulle vicissitudini storiche di questa importante fortificazione.

## Bibliografia

- Adams N. (1993). *L'architettura militare di Francesco di Giorgio*. In Fiore F.P., Tafuri M. (a cura di) "Francesco di Giorgio architetto - Catalogo della mostra (Siena 1993)", Ed. Electa, Milano, Italia, p. 155.
- Cammarosano P., Passeri V. (1985). *Repertorio*. In "I castelli del Senese, Strutture fortificate dell'area senese-grossetana". Ed. Electa, Siena, Italia, p. 293.
- Chironi G. (1993). *Appendice documentaria*. In Fiore F.P., Tafuri M. (a cura di) "Francesco di Giorgio architetto - Catalogo della mostra (Siena 1993)", Ed. Electa, Milano, Italia, pp. 405-406.
- Forster A. (2004). *Hot lime mortars: a current perspective*. Journal of Architectural Conservation, 10(3), pp. 7-27.
- Fratini F., Giovannini P., Manganelli Del Fà C. (1994). *La Pietra da calce a Firenze: ricerca e caratterizzazione dei materiali per la produzione di "calcina forte" e "calcina dolce"*. Atti del Convegno "Scienza e Beni Culturali n° 10: Bilanci e Prospettive", Bressanone (Italia), 5-8 luglio 1994, pp. 189-199.
- Fusai L. (2010). *Mille anni di storia attraverso le vicende della famiglia Cerretani Bandinelli Paparoni*. Edizioni ETS, Pisa, Italia.
- Gabbrielli F. (1996). *Scheda n. 79 - Cerretaccio*. In Gabbrielli F., Rotundo F. (a cura di) "Architettura nel Chianti senese, Catalogo di Castelnuovo Berardenga", Provincia di Siena, Siena, Italia, pp. 130-131.
- Kraus K., Wisser S., Knofel D. (1989). *Über das Löschen von Kalk in de 18 Jahrhunderts: Literaturswertung und Laborversuche*. Arbeitsblätter für Restauratoren, 1, pp. 206-221
- Lazarotto A., Costantini A., Sandrelli F., Brogi A., Foresi L.M. (in stampa). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1.50.000, Foglio 297 "Asciano"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Lazarotto et al. (in stampa). *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 297 "Asciano"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Marchetti F. (2016). *I castelli descritti dalle vestigia: Orgiale, Le Stinche, Monternano, Cerreto Ciampoli*. In Pellegrini E. (a cura di) "Fortificare con arte. Torri, casseri e fortezze nel Chianti". Betti Ed., Siena, Italia, pp. 122-135.

- Margalha G., Veiga R., Santos Silva A., de Brito J. (2011). *Traditional methods of mortar preparation: the hot lime mix method*. Cement & Concrete Composites, 33, pp. 796-804.
- Martini, F. di Giorgio (1967). *Trattati di Architettura, Ingegneria e Arte Militare*, a cura di Corrado Maltese, Ed. Il Polifilo, Milano, Italia.
- Parenti R., Doglioni F. (1993). *Murature a sacco o murature a nucleo in calcestruzzo? Precisazioni preliminari desunte dall'osservazione di sezioni murarie*. In Biscontin G., Mietto D. (a cura di) "Calcestruzzi antichi e moderni: storia, cultura e tecnologia", Atti del convegno di studi (Bressanone 6-9 luglio 1993), Scienza e beni culturali IX, Libreria Progetto Editore, Padova, Italia, pp. 150-151.
- Passeri V. (2002). *Documenti per la storia delle località della provincia di Siena*. Edizioni Cantagalli, Siena, Italia, pp. 83-84.
- Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E. (2006). *The ancient mortars, an attestation of the material culture: the case of Florence*. Periodico di Mineralogia, 75, pp. 303-324.
- Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E. (2008). *Le malte antiche e moderne tra tradizione ed innovazione*. Pàtron Editore, Bologna, pp.44-46.
- Valenti M. (1995). *Scheda n. 50 – Cerretaccio (Cerreto Ciampoli)*. In Valenti M. (a cura di) "Carta archeologica della provincia di Siena, vol. I, Il Chianti senese", Nuova Immagine Editrice, Siena, Italia, pp. 221-222.