

## Malte 'fortificate': lo studio delle malte di allettamento nei fortini peruzziiani delle mura di Siena (Italia)

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.scalea@unisi.it

### Abstract

Nell'ambito di un ampio progetto di ricerca sui materiali impiegati nell'edilizia del centro storico di Siena (Italia) è stato intrapreso uno studio mineralogico-petrografico sulle malte di allettamento provenienti dalle fortificazioni progettate da Baldassarre Peruzzi nella prima metà del XVI secolo e un confronto con malte impiegate in settori della cerchia muraria risalenti ad epoche precedenti (XIV e XV secolo). Le indagini preliminari hanno consentito di verificare l'impiego di malte di diversa tipologia nelle fortificazioni peruzziane rispetto a quelle antecedenti, con uso di calci ad elevato indice di idraulicità e maggiore cura nella selezione e nel trattamento degli aggregati. Queste evidenze suggeriscono una scelta deliberata di nuovi materiali, più avanzati sul piano tecnologico, nel contesto di importanti interventi di potenziamento delle difese cittadine attuati agli inizi del Cinquecento

**Keywords:** malta, analisi petrografiche, cinta muraria, Siena, Baldassarre Peruzzi.

### 1. Introduzione

Lo studio mineralogico-petrografico delle malte di allettamento degli edifici storici può rivelarsi, com'è noto, uno strumento di indagine particolarmente significativo per la ricostruzione delle fasi costruttive di un complesso cantiere e delle sue trasformazioni nel tempo, per la realizzazione di data-base cronotipologici validi a livello locale o sub-regionale e per l'eventuale individuazione, in una dimensione sincronica, di malte selezionate per specifiche tipologie edilizie.

Lo studio in oggetto si colloca in un più ampio progetto di ricerca in corso sulle malte del centro

storico di Siena (Italia), mirato alla creazione di un data-base in cui le malte stesse sono distinte per epoca e tipologia d'impiego, alla identificazione delle località di provenienza delle materie prime e all'individuazione delle caratteristiche di lavorazione.

Questo breve contributo si focalizza su un confronto preliminare tra le malte impiegate nelle strutture difensive progettate da Baldassarre Peruzzi per le mura della città nei primi decenni del XVI secolo e quelle presenti in alcune strutture antecedenti del circuito murario, databili al XIV e XV secolo.

## 2. Nota storica

La cinta muraria di Siena, ancora oggi in buona parte conservata, è il risultato di una serie di addizioni avvenute in epoche diverse, dal XII al XV secolo (cfr. Pellegrini, 2012). Un piano di ammodernamento del sistema difensivo fu messo a punto, su progetto di Baldassarre Peruzzi, tra il 1527 e il 1534. Tale piano prevedeva la costruzione di una serie di bastioni, o “fortini” come vengono oggi chiamati, inseriti in punti strategici delle mura, in modo da integrare le strutture preesistenti con un sistema in grado di far fronte alle nuove esigenze imposte dall’uso di più potenti ed efficaci armi da fuoco (cfr. AA.VV., 1982; Pepper, Adams, 1986). Le strutture del Peruzzi prese in considerazione nel presente studio sono il bastione di Porta Pispini, riferibile agli anni 1527-28, e il bastione di Porta Laterina, in costruzione a partire dal 1528 (ibidem). Per quanto riguarda le strutture antecedenti, sono state oggetto di analisi le malte provenienti dal corpo originario di Porta Pispini, riferibile al XIV secolo, e dal suo antemurale, databile al XV secolo, nonché da due tratti di mura corrispondenti alla valle di Follonica, anch’essi realizzati nel corso del Quattrocento (Gabbrielli, 2010).



Fig. 1 - Bastione (fortino) di Porta Pispini.



Fig. 2 - Bastione (fortino) di Porta Laterina.

## 3. Materiali e metodologie analitiche adottate

Vengono riportati i dati relativi a sei campioni di malte di allettamento di murature in laterizi prelevate da porzioni diverse della cinta muraria senese (tab.1).

<i>Sigla</i>	<i>Settore</i>	<i>Datazione</i>
PI785	Mura presso la fonte di Follonica	XV sec.
PI787	Mura presso la fonte di Follonica	XV sec.
PI813	Porta Pispini, antemurale	XV sec.
PI814	Porta Pispini, corpo originario	XIV sec.
PI800	Bastione di Porta Pispini	1527-28
DE50	Bastione di Porta Laterina	1528-

Tab. 1 - Materiali oggetto di studio.

Le malte in questione sono state scelte per la loro rappresentatività e significatività sul piano cronologico. I materiali sono stati prelevati a qualche centimetro di profondità evitando le porzioni più superficiali maggiormente soggette a fenomeni di degrado (principalmente rappresentati da biodeteriogeni e croste nere). Tutte le malte analizzate mostrano una colorazione sul grigio-giallastro tenue, con abbondanti grumi di dimensioni da sub-millimetriche a plurimillimetriche (fig. 3, 4).



Fig. 3 - Aspetto macroscopico di una malta del XV secolo (tratto di mura presso la fonte di Follonica).



Fig. 4 - Aspetto macroscopico di una malta del XVI secolo (bastione di Porta Laterina).

I campioni di XIV e XV secolo sono caratterizzati da grumi di colore prevalentemente bianco, mentre nelle malte delle fortificazioni peruziane prevalgono grumi di colore nocciola.

Per ogni campione sono state preparate una o più sezioni sottili, le quali sono state 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 diffrazione a raggi X delle polveri (XRPD). Questa tecnica è stata impiegata sia sull'intero campione che sui soli

grumi appositamente separati per l'analisi chimica (vedi oltre). Lo strumento impiegato è un diffrattometro Philips X'Pert PRO PW 3040 a geometria Bragg-Brentano equipaggiato di detector PW3015 X'Celerator, usato alle condizioni operative di 40 kV e 40 mA e impiegando la radiazione CuK $\alpha$ . Gli spettri sono stati raccolti nell'intervallo 3 - 85°(2 $\theta$ ) con una velocità di scansione di 0.016°/s.

Sono state eseguite analisi chimiche sui grumi per una migliore caratterizzazione del legante. Per ogni campione numerosi grumi di dimensioni plurimillimetriche sono stati isolati sotto controllo allo stereomicroscopio al fine di allontanare eventuali componenti dell'aggregato. L'operazione non è stata effettuata nel caso del campione PI814, per il quale non è stato possibile isolare manualmente grumi ben puliti a causa delle ridotte dimensioni degli stessi. Dal materiale derivante, finemente macinato, sono stati prelevati 50 mg di polvere, i quali sono stati riscaldati con Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> e LiBO<sub>2</sub> a 950°C per 30 minuti in crogioli di platino (fusione alcalina). La perla vetrosa è stata solubilizzata con una soluzione al 5% di HNO<sub>3</sub>. 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 lo standard internazionale JLS-1 (calcare, GSJ). 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

$$I.I. = (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)/(CaO + MgO).$$

#### 4. Risultati

I materiali provenienti dalle strutture riferibili al XIV e XV secolo sono risultati tutti molto simili tra loro (fig. 5). Si tratta di malte costituite da un legante a calce cui si associa un aggregato prevalentemente sabbioso, con rapporti legante/aggregato di circa 1/2. La distribuzione dimensionale dei granuli è relativamente ampia, variando dal silt alla sabbia grossolana. Tra i componenti dell'aggregato si riconoscono i costituenti tipici delle sabbie marine di età pliocenica su cui insiste il centro storico di Siena (cfr. Fabiani et al., 2001), con presenza

significativa di frammenti litici di arenaria pliocenica. Questi ultimi derivano da livelli del substrato geologico della città in cui le sabbie plioceniche, di norma scarsamente cementate, raggiungono un maggior grado di litificazione.

Le malte delle fortificazioni peruzziane mostrano invece una distribuzione dimensionale

più ristretta, prevalentemente centrata sulla sabbia molto fine-sabbia fine, con scarsa presenza di componenti siltose o più grossolane. Gli elementi dell'aggregato sono qualitativamente affini a quelle delle malte più antiche, ma si osserva una variazione nelle

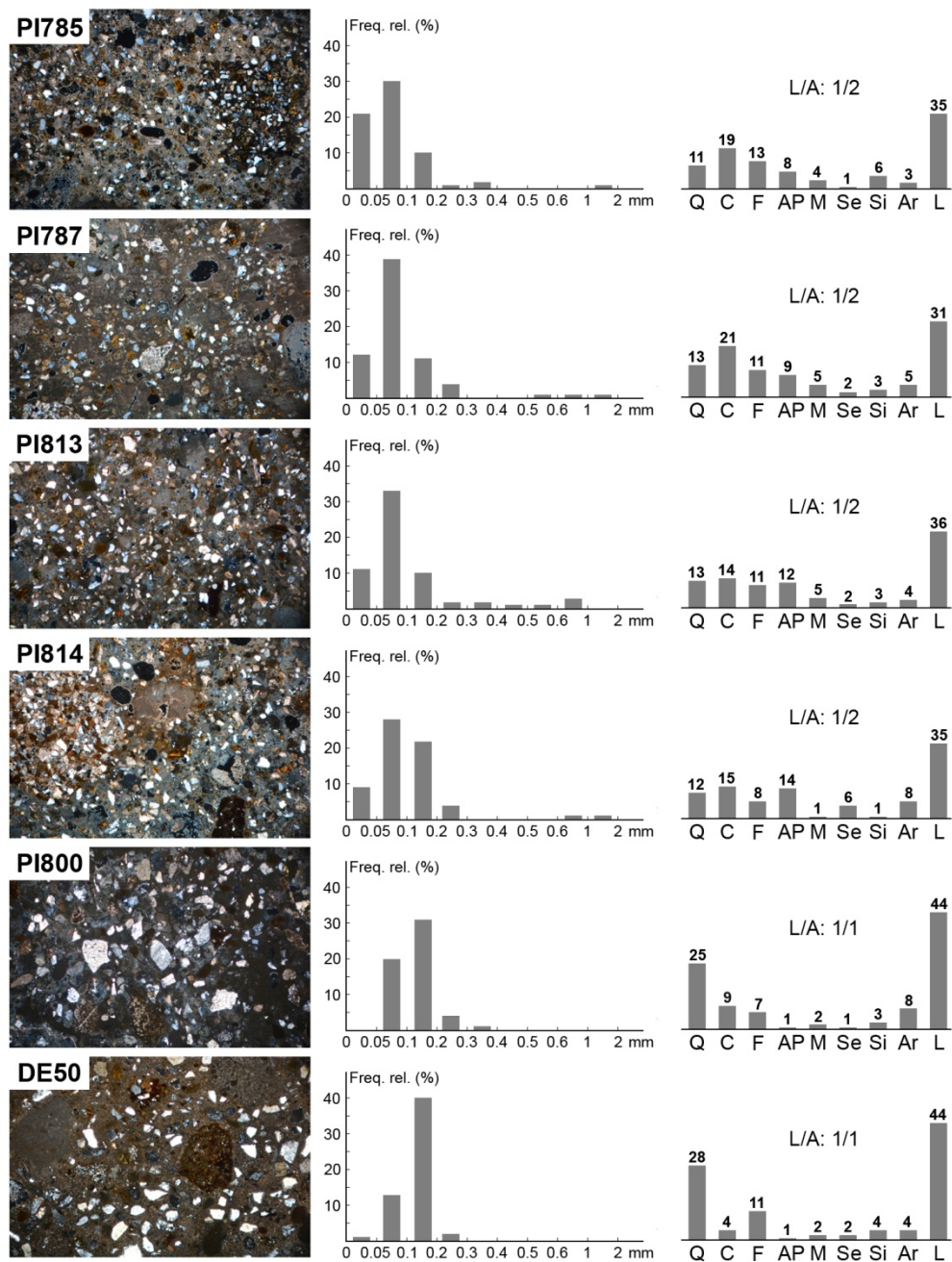


Fig. 5 - Sintesi dei risultati dell'analisi petrografica. A sinistra: immagine ottenuta al microscopio ottico polarizzatore in sezione sottile, Nicol incrociati. La base della foto corrisponde a 5 mm. Al centro: distribuzione dimensionale dei granuli dell'aggregato nell'intervallo 0 - 2 mm. A destra: risultati dell'analisi modale, con indicazione della percentuale dei componenti (Q: monocristalli e aggregati policristallini di quarzo; C: granuli a composizione carbonatica; F: feldspati; AP: arenaria pliocenica; M: miche; Se: selce; Si: siltite; Ar: argillite; L: legante) e dei rapporti legante/aggregato (L/A).

	JLs-1 c.	Jls-1	PI785	PI787	PI813	PI800	DE50
MgO	0.606	0.534	0.440	0.456	0.062	0.475	0.351
SiO <sub>2</sub>	0.120	0.100	1.960	2.134	0.928	28.1	20.6
Na <sub>2</sub> O	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.023	2.39	2.367
K <sub>2</sub> O	0.003	0.004	0.045	0.101	0.061	0.587	0.545
CaO	55.09	56.0	52.0	50.3	51.7	30.3	33.8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.021	0.019	0.291	0.76	0.129	3.61	3.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.017	0.011	0.103	0.264	0.058	1.28	1.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.029	0.030	0.021	0.088	0.042	0.086	0.111
TiO <sub>2</sub>	0.002	0.001	0.006	0.030	0.004	0.090	0.077
MnO	0.002	0.002	0.003	0.004	0.003	0.95	0.120
I.I.			0.04	0.06	0.02	1.07	0.72

Tab. 2 - Risultati delle analisi chimiche dei grumi ottenute con ICP-OES. I dati sono espressi in wt%. I.I. = indice di idraulicità. Vengono riportati anche i valori ottenuti per il materiale usato come standard, del quale si riportano anche i valori di riferimento (JLs-1 c.). Le cifre decimali tengono conto della precisione della misura.

quantità relative degli stessi, con prevalenza di granuli di quarzo (sia in monocristalli che in aggregati policristallini). I rapporti legante/aggregato sono di norma maggiori rispetto alle malte tre-quattrocentesche (intorno a 1/1).

Le analisi chimiche dei grumi (tab. 2, fig. 6) mostrano differenze significative tra i leganti usati nelle malte tre-quattrocentesche rispetto a quelli dei fortini peruzziani. Sebbene con deboli variazioni nelle concentrazioni dei componenti minori e in traccia, la calce delle malte di XIV e XV secolo si caratterizza come una calce aerea, presentando indici di idraulicità sempre ben al di sotto di 0.1. Le malte peruzziane risultano invece fabbricate con calci ad elevata idraulicità. Si riscontra in particolare un valore dell'indice di idraulicità assai più elevato rispetto alle normali calci idrauliche (anche maggiore di 1). I dati suggeriscono l'uso di un materiale di partenza quale un calcare marnoso ricco in silice. Ad eccezione del Mg e del P, tutti gli elementi chimici che seguono la frazione non carbonatica tendono ad essere più abbondanti in questi leganti rispetto ai leganti tre-quattrocenteschi.

## 5. Discussione e conclusioni

Questo lavoro preliminare sulle malte della cinta muraria senese sembra mostrare un cambiamento di materie prime e lavorazioni

nelle fortificazioni del Peruzzi rispetto alle precedenti fasi. Si nota in particolare il passaggio dall'uso di calci aeree a calci fortemente idrauliche e una maggiore cura nella selezione e lavorazione degli aggregati, in ogni caso derivati dalle sabbie plioceniche che costituiscono il substrato geologico della città. Nel caso delle malte più antiche l'ampio range dimensionale degli aggregati e la presenza di abbondante frazione siltosa suggeriscono l'uso delle sabbie plioceniche tal quali, mentre nelle malte peruzziane gli aggregati si presentano meglio vagliati, consentendo di ipotizzare una cura maggiore nella preparazione.

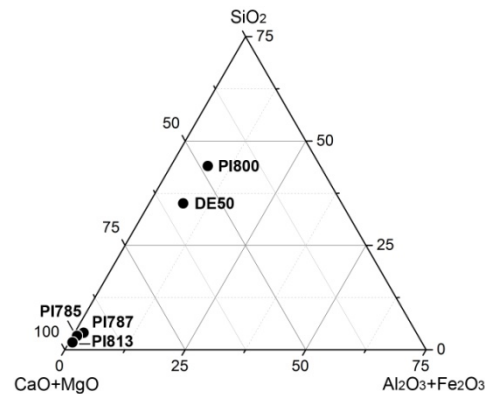


Fig. 6 - Diagramma ternario relativo ai dati chimici ottenuti sui grumi analizzati mediante ICP-OES.

L'alto livello qualitativo già raggiunto dalle malte impiegate nelle mura senesi del XIV-XV secolo, caratterizzate da una non comune tenacia, risulta pertanto ulteriormente migliorato al fine di una maggiore resistenza meccanica.

Complessivamente le evidenze raccolte suggeriscono una scelta deliberata di nuovi

materiali, più avanzati sul piano tecnologico, nel contesto degli importanti interventi di miglioramento e potenziamento delle difese cittadine attuati agli inizi del Cinquecento. Una ricerca più approfondita, attualmente in corso, potrà confermare queste prime ipotesi e fornire nuovi spunti per l'analisi della cinta muraria e della sua evoluzione nel tempo.

## References

- AA.VV. (1982), *Rilievi di fabbriche attribuite a Baldassarre Peruzzi, Catalogo della mostra*. Centrooffset. Siena. Italia.
- Fabiani F., Giamello M., Guasparri G., Sabatini G., Scala A. (2001). *I materiali lapidei dell'architettura senese: l'arenaria pliocenica ("tufo impietrato")*. Il supporto scientifico all'intervento di restauro di Palazzo Spannocchi. Ed. Nuova Immagine. Siena. Italia.
- Gabbrielli F. (2010). *Siena medievale. L'architettura civile*. Protagon Editori. Siena. Italia.
- Pellegrini E. (a cura di) (2015). *Fortificare con arte: mura, porte e fortezze di Siena nella storia*. Betti. Siena. Italia.
- Pepper S., Adams N. (1986). *Firearms and fortifications; military architecture and siege warfare in Sixteenth-century Siena*. Chicago University Press. Chicago. USA.