

## The defensive system of Montecatini Val di Cecina. Digital integrated relief for knowledge and enhancement

Roberto Castiglia<sup>a</sup>, Lorenzo Ceccarelli<sup>b</sup>

<sup>a</sup> University of Pisa, Pisa, Italy, [roberto.benedetto.castiglia@unipi.it](mailto:roberto.benedetto.castiglia@unipi.it), <sup>b</sup> University of Pisa, Pisa, Italy, [lorenzo.ceccarelli1@phd.unipi.it](mailto:lorenzo.ceccarelli1@phd.unipi.it)

### Abstract

On the occasion of the Fortmed 2024 held in Tirana was presented, by the same authors, a first contribution on the ancient village of Montecatini Val di Cecina, still dominated by the imposing tower of the Belforti (from now on Tower) one of the most powerful families of the Volterra's territory in sec. XIII. Important are the transformations that have affected the territory surrounding the village, first with the plant of a copper mine now transformed into a museum and more recently, with the exploitation of wind energy. The intent of the article already presented was to document, albeit through the initial acquisitions arising from archival, bibliographical and iconographic surveys, the results of the initial phase of research whose main objectives are knowledge and diachronic interpretation of the current urban conditions. The identification and diachronic interpretation of the residual traces of the ancient defensive system is testified, in addition to the Tower, also by the presence of circular towers, coeval or after the construction of the same Tower (1340). This paper documents, as indicated in the final part of the article Fortmed 2024, the expected developments of the research undertaken and which also include a more careful and thorough analysis of the Tower. The further steps of the research move in the first place from the indispensable acquisitions resulting from the integrated instrumental survey operations, performed with 3D laser scanning and drone photogrammetry. Beyond the operational issues related to major operations, the contribution aims to explain how the 3D restitution of the village of Montecatini Val di Cecina, although useful for the main objectives assumed on the basis of the research, is not only a necessary tool to undertake operations of protection and enhancement but also to activate innovative modes of communication all aimed at extending the dissemination of historical knowledge of the village, to be understood as a necessary and desirable cultural and tourist resource, to the wider catchment area.

**Keywords:** fortified structure, history, survey, Volterra.

### 1. Introduzione

Il patrimonio architettonico e paesaggistico della Toscana vanta la presenza di un gran numero di borghi fortificati, collocati soprattutto nei territori più interni della regione ed accomunati spesso da un forte legame con la natura e il contesto nel quale sono situate. La comprensione di questo complesso rapporto combinata con indagini di tipo storico-archivistico e tecniche di rilievo digitale

integrato risultano fondamentali per la ricostruzione dell'assetto storiografico. Oggi la mappatura grafica del patrimonio culturale viene ottenuta principalmente mediante sistemi aerei o terrestri di fotogrammetria SfM (*Structure From Motion*) e/o scanner laser 3D. L'integrazione dei due metodi è quanto mai necessaria per la realizzazione di un modello tridimensionale complesso come quello di un

borgo storico (Navarro & Piqueras, 2024). In tale quadro, nel presente articolo è documentata la metodologia adottata e una sintesi dei risultati del rilievo 3D del borgo di Montecatini Val di Cecina, antico centro del volterrano collocato su una delle ultime propaggini verso il Mare Tirreno, delle Colline Pisane (Fig. 1).

Tale contributo, inedito per questa parte di territorio della Val di Cecina, apre il campo a molteplici sviluppi della ricerca alla scala territoriale, urbana e architettonica, sincronica e diacronica.



Fig. 1- Borgo di Montecatini Val di Cecina (foto degli autori, 2024).

## 2. Inquadramento storico

Il borgo di Montecatini, che assume per un certo tempo anche quella di Monte Leone, sembra nominato per la prima volta nelle confinazioni dei beni confermati nel possesso della pieve di S. Eleuterio di Gabbreto, in un decreto vescovile del 1096 (Bocci et al. 2003).

Nel 1109, Gualando detto Malcone della Gherardesca dona al vescovo di Volterra la metà di alcuni “castelli”, tra cui Montecatini.

Al vocabolo castello non corrisponde nessuna conferma proveniente dalle fonti archivistiche, circa la presenza di un cassero, di una torre né tantomeno di una cinta muraria. Ciò nonostante, pur non conoscendo né i personaggi coinvolti né il riferimento temporale, viene ipotizzato di far risalire l’incastellamento al sec. XII per iniziativa, forse congiunta, dei vescovi volterrani e dei Gualandi o dei soli presuli (Ceccarelli Lemut, Bertini & Rosticci, 2000).

Nel corso del secolo XIV si afferma a Montecatini la casata guelfa dei Belforti, tra le più ricche e influenti famiglie della città di

Volterra, emersa fin dai primi del secolo XIII. La famiglia dei Belforti, in virtù dei proficui rapporti finanziari con il vescovato, sale a grande potenza quando Ranieri ascende alla cattedra vescovale di Volterra (1301-1320).

Per i privilegi laici ed ecclesiastici i Belforti ottengono la titolarità dei castelli di Montecatini Val di Cecina, Berignone e la titolarità di diritti su numerosi altri insediamenti del contado, tra cui Caselle e Serrazzano (Tripodi, 2011).

I Belforti, prima con Ottaviano e in seguito con il di lui figlio Paolo, poi giustiziato a seguito di una rivolta popolare appoggiata da Firenze, sono signori di Volterra dal 1340 al 1361.

La famiglia Belforti, bandita dal volterrano nel 1365, si disperde. Ai Belforti si deve la realizzazione del nuovo assetto e potenziamento della fortificazione di cui oggi rimangono evidenti tracce nella torre e nelle quattro torricelle (Fig. 2). Della cinta muraria non rimangono invece tracce, rimosse per trarne materiale da costruzione o inglobate nelle costruzioni.

Sappiamo che la torre, edificata probabilmente in corrispondenza del precedente cassero, è in corso di costruzione nel 1340. L’unica porta superstite, si trova nei pressi della chiesa di San Biagio, di cui le fonti scritte non offrono notizie fino al 1339. Come riportato in una epigrafe ancora esistente, la consacrazione della chiesa risale al 1361.

Pochi anni prima, nel 1355, i Belforti costruiscono nel castello anche un palazzo residenziale, oggi stravolto nella sua configurazione originaria con aggiunte incongrue. Sappiamo che nel 1355, la torre, il cassero e il palazzo sono esclusi dalla concessione in affitto della quasi totalità dei beni immobili posti da Filippo Belforti, vescovo di Volterra dal 1348 al 1358. Una ricostruzione del castello di Montecatini è stata ipotizzata da C. Inghirami (Melosi, 2007).

Una volta venuta meno la signoria dei Belforti a Volterra dopo l’uccisione di Paolo, d’indole tirannica, la casata si distacca progressivamente da Volterra seguendo le sorti della città fino all’assorbimento nel dominio fiorentino per mano di Federico da Montefeltro nel 1472. Le vicende di Montecatini tra i secoli XV e XVIII, non offrono significative argomentazioni anche perché le fonti scritte sono andate disperse.

Da segnalare, tra il secolo XV e il 1630, la coltivazione del rame, probabilmente in atto anche in epoca etrusca (Trovato, 2023).

Il secolo XIX si apre con la scoperta di consistenti affioramenti di rame nella zona prossima al castello, detta di Caporciano.

Nel 1826, con la nuova apertura della miniera cuprifera di Montecatini, industria nota in tutta Europa e che vede l'estrazione del rame anche a profondità elevatissime contando oltre dodici livelli di gallerie, corrisponde uno sviluppo sociale, economico urbano e edilizio.

### 3. Metodologia

La conoscenza morfometrica del borgo di Montecatini Val di Cecina si è avvalsa di un rilievo integrato che unisce tecniche di rilevamento terrestri e aeree, consentendo di ottenere un elevato grado di dettaglio e precisione anche in aree in cui sarebbe impossibile operare mediante un rilievo diretto. Considerata l'esigenza di una documentazione aggiornata sullo stato di conservazione del bene e sull'evoluzione temporale delle sue porzioni murarie, si è ritenuto opportuno ricorrere a tecnologie di rilievo adatte sia a scala architettonica che urbana (Bonafiglia, 2017; Marino et al. 2021). Il lavoro quindi, si è svolto secondo due fasi principali: (i) rilievo fotogrammetrico da drone; (ii) rilievo laser

scanner terrestre; (iii) il workflow completo è stato schematizzato secondo l'immagine rappresentata in Fig. 3.

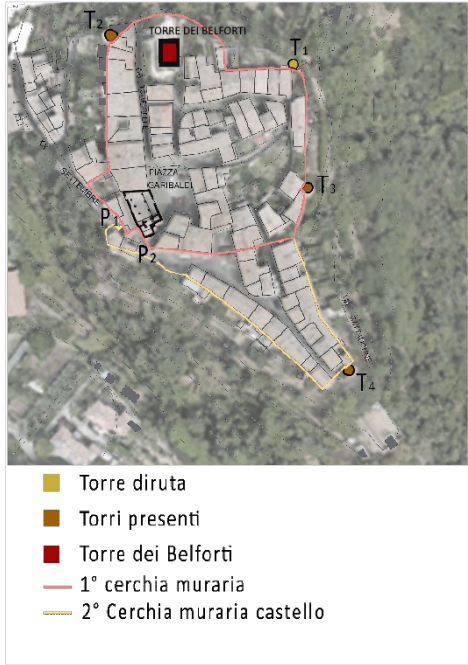


Fig. 2- Pianta Borgo di Montecatini Val di Cecina con evidenziate torre, torricelle e ipotesi di cerchia muraria (elaborazione degli autori, 2024).



Fig. 3- Workflow relativo alla metodologia del rilievo integrato (elaborazione degli autori, 2024).

### 3.1. Fotogrammetria SfM

La necessità di procedere con un rilievo fotogrammetrico aereo con drone nasce dalle caratteristiche geo-morfologiche del sito, ma anche dall'esigenza di avere una visione d'insieme del borgo.

La tecnica fotogrammetrica, che si basa sugli algoritmi SfM (*Structure from Motion*), ha permesso tramite il software *Reality Capture* di importare al suo interno le immagini digitali effettuate durante il volo, allinearle e generare così una nuvola di punti, che tramite successive elaborazioni è stata trasformata in una mesh texturizzata tridimensionale.

Nel caso specifico è stato adoperato un drone DJY Mini Pro 3, munito di obiettivo fotografico integrato, con lunghezza focale pari a 24 millimetri e un'altezza delle scansioni variabile tra 8 e 42 metri da terra.

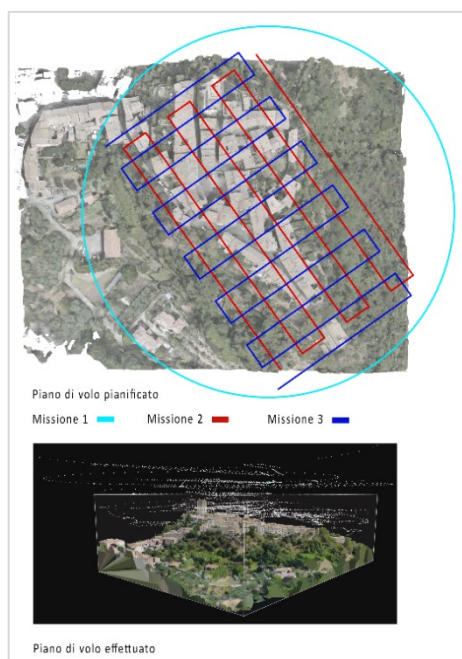


Fig. 4- Piano di volo del drone (elaborazione degli autori, 2024).

L'acquisizione fotografica effettuata dall'UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) è stata preceduta da una pianificazione del piano di volo che ha seguito un percorso a maglia incrociata 10x10m e uno orbitale che mantenesse una sovrapposizione degli scatti del 75%, effettuati ogni 2 s con stop di volo, come visibile in Fig.

4. Prima di procedere con il volo, sono stati posizionati sul territorio i targets RAD (*Ringed automatically detected*), che vengono rilevati automaticamente e consentono di abbinare più facilmente i punti.

Sono stati effettuati undici voli sul sito, uno con inclinazione della camera zenitale, a 45° e 35°. Infine, la restituzione ed elaborazione delle scansioni è avvenuta mediante il software *Reality Capture*, che esegue l'elaborazione fotogrammetrica di immagini digitali e genera un modello tridimensionale, che è stato utilizzato come strumento di ricerca (Fig. 5).

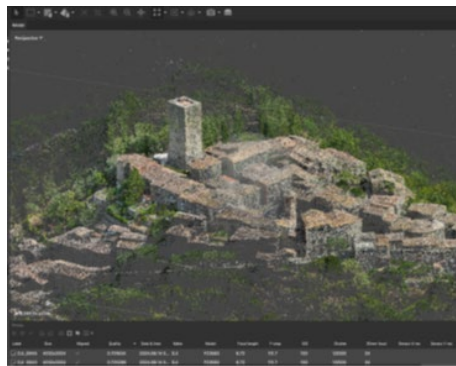


Fig. 5- Nuvola di punti del borgo da drone (elaborazione degli autori, 2024).

### 3.2. Rilievo laser scanner

Questa fase di rilievo, eseguita mediante laser scanner Faro Focus Cam 2, con una risoluzione a 165 megapixel per colore, ha consentito di rilevare le strade interne e le corti più difficilmente rilevabili tramite fotogrammetria aerea, fornendo maggiori informazioni di dettaglio sulle caratteristiche architettoniche.

La fase di acquisizione dati, effettuata in 2 giorni a settembre 2024 ha consentito di ottenere 331 scansioni. Ogni scansione è stata effettuata con una qualità di 1x e una durata di 4:20 minuti, la risoluzione di ogni scansione è stata pari a 6 millimetri, misurata su un piano a 10 metri dall'emettitore, con 500.000 punti di scansione per secondo.

Anche in questo caso, in fase di campagna, sono stati utilizzati i cosiddetti targets a scacchiera su piani differenti, che hanno facilitato la rototraslazione in fase di restituzione delle scansioni.



Fig. 6- Nuvola di punti Montecatini Val di Cecina (elaborazione degli autori, 2024).

L'elaborazione della nuvola di punti è avvenuta mediante il software RecapPro, versione 2025, che elabora e gestisce i dati scansionati (Fig. 6).

### 3.2. Rilievo integrato

L'integrazione tra i prodotti delle due metodologie ha consentito di ottenere un modello quanto più dettagliato possibile, unendo la visione d'insieme ottenuta grazie alla

fotogrammetria digitale aerea e i dettagli forniti, invece, dal rilievo laser scanning. Grazie all'utilizzo del software Cloud Compare v2.13 siamo stati in grado di allineare ed unire la *mesh* derivante da drone con la nuvola di punti del laser scanner, permettendo così di ottenere un modello tridimensionale completo (Fig. 7). L'uso di questo software ha permesso di ottenere così le orto-proiezioni del modello (piante, sezioni e prospetti).



Fig. 7- Risultato rilievo integrato (elaborazione degli autori, 2024).

### 4. Studio tipologico e analisi dello stato di fatto

In un processo volto alla documentazione e interpretazione del patrimonio, il quadro conoscitivo ottenuto con i risultati del rilievo evidenziati nelle Figure 6-8, risultano

fondamentali per attivare tutta una serie di futuri interventi di conservazione, valorizzazione e fruizione.

Nei limiti di questo contributo, sul piano dell'interpretazione, viene di seguito proposto uno studio tipologico con riferimento alla Torre

Belforti (Fig. 9). Gli elaborati estratti dalla campagna di rilievo sono serviti da base per indagare i costrutti geometrici che hanno sotteso alla realizzazione della Torre attraverso un’analisi dimensionale, volta a confermare quanto rivelato dalla ricerca storica. Alcune aperture non risultano in asse tra loro, questo dovuto probabilmente alla ricostruzione degli anni successivi alla Seconda Guerra Mondiale.

Gli spessori murari variano di poco tra i diversi livelli del corpo di fabbrica e l’unico spessore maggiorato risulta il piano terreno.

Grazie alla geometria accurata, è stato possibile anche condurre un’analisi proporzionale, basata sul confronto del braccio fiorentino, volterrano e ghibellino.

La scelta di confrontare i precedenti bracci indicati avviene in seguito ad un’indagine storica sulla Torre dei Belforti, svolta da Castiglia e Ceccarelli (Castiglia & Ceccarelli, 2024) che, pur non avendo individuato una datazione accurata della torre, hanno individuato fonti che ipotizzano la costruzione intorno al 1340, comunque successiva all’impiego delle 3 differenti canne nel territorio volterrano.

La canna, scolpita sul fianco destro della porta di S. Francesco a Volterra, costruita secondo Enrico Fiumi (Fiumi, 1947) tra il 1260 e 1266, ricade proprio nel periodo ghibellino, per cui può essere detta ghibellina.

La Canna volterrana secondo il sacerdote e studioso Anton Filippo Giachi (Giachi, 1786) è sia quella scolpita sulla facciata del Palazzo dei Priori, che quella sul fianco della porta di S. Francesco a Volterra. Da uno studio condotto da Caciagli (Caciagli, 1979) quella sul Palazzo dei Priori, definita Guelfa, misura 2,528mt, quella sulla porta di S. Francesco definita ghibellina misura invece 2,3588 m.

Se quest’ultima è stata costruita sicuramente insieme alla porta, in quanto gli estremi della canna sono serrati da pietre poste a piè d’opera, lo stesso non si può dire per la canna incisa sulla facciata del Palazzo dei Priori, non presentando termini certi di definizione, interessando solo parzialmente la pietra iniziale e finale.

Nella nostra analisi non si evince in maniera precisa l’utilizzo di una canna piuttosto di un altro, ma la canna volterrana guelfa del palazzo dei Priori è quella che rappresenta al meglio le proporzioni della torre, soprattutto nello spessore murario del primo livello, di 3 braccia pari a 1,9 m e la larghezza di 14 braccia e  $\frac{1}{8}$ , pari a 8,93 m e la lunghezza di 17 braccia e  $\frac{7}{8}$ , pari a 11,32 m. L’altezza della torre misura invece 49 braccia e  $\frac{1}{2}$  dal piano di calpestio, pari a 31,09 m, non considerando le fondazioni in quanto al momento non rilevate.

Lo scostamento massimo risultato da questa analisi varia da 3 mm a 3 cm come meglio riportato nella tabella 1.

| Braccio    | Spessore murario                 | Altezza                           | Larghezza                         | Lunghezza                           | Tolleranza      |
|------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| Volterrano | 3 braccia + 4 mm                 | 49 braccia e $\frac{1}{2}$ + 1 cm | 14 braccia e $\frac{1}{8}$ + 3 mm | 17 braccia e $\frac{7}{8}$ + 2 cm   | tra 3 mm e 2 cm |
| Ghibellino | 3 braccia e $\frac{1}{4}$ + 3 cm | 52 braccia 3 $\frac{3}{4}$ + 3 cm | 15 braccia e $\frac{1}{8}$ + 1 cm | 19 braccia e $\frac{1}{4}$ + 1,5 cm | tra 1 cm e 3 cm |
| Fiorentino | 3 braccia e $\frac{1}{4}$ + 3 mm | 53 braccia e $\frac{1}{4}$ + 1 cm | 15 braccia $\frac{1}{4}$ + 3 cm   | 19 bracci e $\frac{1}{8}$ + 1 cm    | tra 3 mm e 3 cm |

Tab. 1 - Tabella riassuntiva dell’analisi dimensionale (a cura degli autori, 2024).



Fig. 8- Sezioni (elaborazione degli autori, 2024).

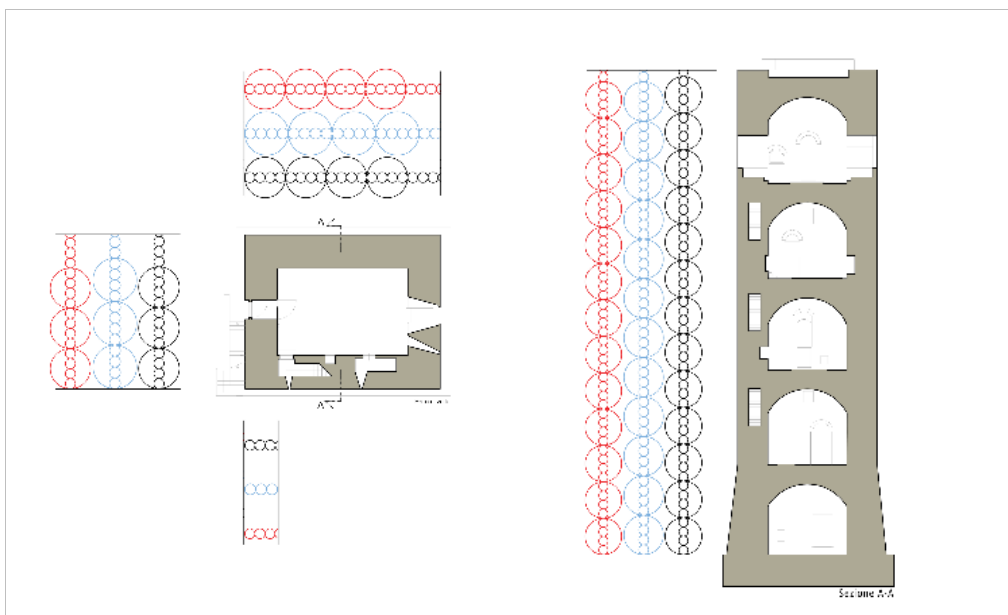


Fig. 9- Analisi dimensionale di pianta e sezione della Torre Belforti (elaborazione degli autori).

## 5. Conclusioni

Con il lavoro svolto sul centro storico di Montecatini Val di Cecina è stato perseguito l'obiettivo di costruire un nuovo quadro conoscitivo della configurazione morfologica e funzionale, foriero di molteplici e diversi livelli di

analisi, approfondimenti e caratterizzazioni tematiche.

Il modello 3D di Montecatini (Fig. 7), ottenuto con specifiche metodologie derivanti dalla particolare conformazione, rappresenta il risultato più evidente in grado di attuare il primo

passo per la conoscenza, comunicazione e valorizzazione del patrimonio culturale attraverso gli strumenti digitali, come modelli tridimensionali, esperienze di realtà aumentata o virtuale, o esperienze analogiche che promuovano percorsi culturali con pannelli e modelli tattili forniti di QR Code per approfondimenti audio-video. Sulla base dei risultati ottenuti dall'analisi dimensionale risulta che il braccio più corrispondente alle dimensioni della torre, considerando comunque una tolleranza tra i 3 mm e i 2 cm, risulta quello volterrano.

La metodologia adottata, fondata sul rilievo fotogrammetrico da drone e laser scanner terrestre ormai consolidata (Bonafiglia, 2017; Marino et al. 2021) combinata con l'osservazione diretta del bene e l'interpretazione delle fonti documentarie già raccolte in (Castiglia & Ceccarelli 2024) è risultata fondamentale per arricchire ulteriormente gli strumenti di conoscenza per meglio comprendere la storia e le trasformazioni del contesto indagato.

## Bibliografia

- Bocci, M., Falorni A., Lepri, N. & Palesati, A. (2003). *Montecatini Val di Cecina. Arte e storia*. Pomarance, Associazione Turistica Pro Pomarance.
- Bonafiglia, A. (2017). *Il disegno della Civitas e il rilievo morfometrico dei borghi antichi e abbandonati*.
- Caciagli, C. (1979). *Considerazioni sul Braccio volterrano*. Volterra, Rassegna Volterrana.
- Castiglia, R. & Ceccarelli, L. (2024). La torre Belforti e il Sistema difensivo di Montecatini Val di Cecina. In: Islami, V. (a cura di) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. XVI: Proceedings of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2024. Tirana, 18, 19 and 20 April 2024*, edUPV, pp. 193-198.
- Ceccarelli Lemut, M.L., Bertini, G. & Rosticci, F. (2000). *Montecatini Val di Cecina*. Pisa, Edizioni ETS.
- Fiumi, E. (1947). *Ricerche storiche sulle mura di Volterra*. Volterra, Rassegna Volterrana.
- Giachi, A.F. (1786). *Saggio di ricerche storiche sopra lo stato antico e moderno di Volterra*. Volterra, Rassegna Volterrana.
- Marino, B. G., Catuogno, R. & Marena, R. (2021). Restoration, representation, project: a dialogue-like approach for the Compsa palimpsest. In: Lerma, J. L. & Cabrelles, M. (a cura di) *Digital Twins for Advanced Cultural Heritage Semantic Digitization. Atti del Convegno ARQUEOLÓGICA 2.0 - 9th International Congress & 3rd GEORES - GEomatics and pREServation, 26-28 aprile 2021*, Valencia, Università Politecnica di Valencia, pp. 399-407.
- Melosi, A. (2007). *Quando c'erano io c'ero*. Montecatini Val di Cecina, Comune di Montecatini Val di Cecina *Metodologie di rilievo integrato per i contesti urbani complessi*. [Tesi di Dottorato]. Napoli, Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Rodríguez-Navarro, P. & Gil-Piquerasa, T. (2024). Estándares y métodos para optimizar la digitalización 3D de las fortificaciones. In: Islami, V. (a cura di) *Defensive Architecture of the Mediterranean XV to XVIII Centuries. Vol. XVII: Proceedings of the International Conference on Fortifications of the Mediterranean Coast FORTMED 2024. Tirana, 18, 19 and 20 April 2024*, edUPV, pp. 555-562.
- Tripodi, C. (2011). *La famiglia Belforti dalla Signoria di Volterra all'esperienza del declino*. Volterra, Rassegna Volterrana, pp.185-207.
- Trovato, S. (2023). *Inventario della miniera di Montecatini Val di Cecina*. Pontedera, Bandecchi & Vivaldi.

Da questo punto di vista, con analoghe metodologie, la ricerca può proseguire nei confronti dei legami spaziali e funzionali del centro storico con il più recente assetto del contesto urbano e in particolare rispetto alle infrastrutture della miniera cuprifera di Caporciano.

## Contributo degli autori

La ricerca presenta i risultati del lavoro congiunto degli autori. L.C e R.C. hanno scritto il paragrafo introduttivo, R.C. ha editato il paragrafo di inquadramento storico, L.C. ha editato i paragrafi 3 e 4, infine L.C. e R.C. sono responsabili del paragrafo conclusivo. Gli autori hanno letto e approvato il manoscritto finale.

## Ringraziamenti

Si ringraziano il dott. Ivan Lo Vecchio e il tecnico Alessio Manfredini per l'aiuto prestato nella campagna di rilievo e nell'elaborazione del materiale qui pubblicato.