

# Siena e i terremoti

Punti di vista multidisciplinari  
per una lettura archeosismologica  
del centro storico



a cura di  
Andrea Arrighetti



Biblioteca  
di Archeologia  
dell'Architettura

**8**

Serie monografica destinata  
ad accogliere quelle ricerche del settore  
dell'archeologia dell'architettura che, per complessità  
ed ampiezza di contenuti, non possono essere  
pubblicate all'interno del periodico  
«Archeologia dell'Architettura»

## ARCHEOLOGIA DELL'ARCHITETTURA

Supplemento di «Archeologia Medievale»

diretta da Gian Pietro Brogiolo, Sauro Gelichi (responsabile), Alessandra Molinari

### *Comitato di direzione:*

GIAN PIETRO BROGIOLO (già Dipartimento dei Beni Culturali: Archeologia, Storia dell'Arte, del Cinema e della Musica – Università degli Studi di Padova)

FRANCESCO DOGLIONI (Dipartimento di Culture del Progetto – Università Iuav di Venezia)

ROBERTO PARENTI (già Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali – Università degli Studi di Siena)

GIANFRANCO PERTOT (Dipartimento di Architettura e Studi Urbani – Politecnico di Milano)

### *Redazione:*

PAUL ARTHUR (Dipartimento di Beni Culturali – Università del Salento)

GIOVANNA BIANCHI (Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali – Università degli Studi di Siena)

ANNA BOATO (Dipartimento Architettura e Design – Università degli Studi di Genova)

AURORA CAGNANA (Soprintendenza Archeologia della Liguria)

STEFANO CAMPOREALE (Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali – Università degli Studi di Siena)

ALEXANDRA CHAVARRÍA ARNAU (Dipartimento dei Beni Culturali: Archeologia, Storia dell'Arte, del Cinema e della Musica – Università degli Studi di Padova)

ANNA DECRI (Istituto di Storia della Cultura Materiale di Genova)

PAOLO FACCIO (Dipartimento di Architettura Costruzione Conservazione – Università Iuav di Venezia)

FABIO GABBRIELLI (Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali – Università degli Studi di Siena)

ALESSANDRA QUENDOLO (Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica – Università degli Studi di Trento)

MIRELLA SERLORENZI (Soprintendenza Speciale per il Colosseo e l'Area archeologica centrale di Roma)

RITA VECCHIATTINI (Dipartimento Architettura e Design – Università degli Studi di Genova)

### *Coordinamento di redazione:*

GIOVANNA BIANCHI, [giobianchi@unisi.it](mailto:giobianchi@unisi.it)

ANNA BOATO, [aboato@arch.unige.it](mailto:aboato@arch.unige.it)

ALESSANDRA QUENDOLO, [lucca.quendolo@gmail.com](mailto:lucca.quendolo@gmail.com)

### *Segreteria di redazione:*

TOMMASO ARIANI, c/o All'Insegna del Giglio s.a.s.

[redazione@insegnadelgiglio.it](mailto:redazione@insegnadelgiglio.it)

### *Edizione e distribuzione:*

ALL'INSEGNA DEL GIGLIO s.a.s.

via A. Boito, 50-52

50019 Sesto Fiorentino (FI)

[www.insegnadelgiglio.it](http://www.insegnadelgiglio.it)

*Sito web della collana:* <https://www.insegnadelgiglio.it/categoria-prodotto/serie/biblioteca-archeologia-architettura/>

# Siena e i terremoti

Punti di vista multidisciplinari  
per una lettura archeosismologica  
del centro storico

a cura di  
Andrea Arrighetti



*All'Insegna del Giglio*

The project 'PROTECT – Knowledge for PReventiON. TEChniques for repairing seismic damage from The Medieval period to the modern era' was funded through the European Union's Horizon 2020 Research and Innovation program together with a Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship (Grant Agreement n. 101018762). Project website: [www.protect.altervista.org](http://www.protect.altervista.org)



Host Institution: École Normale Supérieure – Université Paris Sciences Lettres, Laboratoire Archéologie & Philologie d'Orient et d'Occident



Secondment Institution: Università degli Studi di Siena, Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali



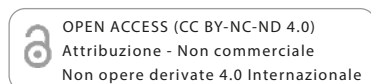
*In copertina:* ASSi, Tavoleta di Biccherna n. 34, autore: Francesco di Giorgio Martini, “La Vergine protegge Siena in tempo di terremoti”, 1467. Autorizzazione: MIC | MIC\_AS-SI | 28/03/2023 | 0000816-P. Divieto di ulteriore pubblicazione.

ISSN 2035-5327

ISBN 978-88-9285-214-3

e-ISBN 978-88-9285-215-0

© 2023 All'Insegna del Giglio s.a.s.



All'Insegna del Giglio s.a.s

via A. Boito, 50-52

50019 Sesto Fiorentino (FI)

[www.insegnadelgiglio.it](http://www.insegnadelgiglio.it)

stampato a Sesto Fiorentino (FI)

settembre 2023, BDprint

## INDICE

- 7 ENRICO ZANINI, CHRISTOPHE JOHN GODDARD  
*Prefazioni*
- 9 GIOVANNA BIANCHI, HÉLÈNE DESSALES  
*Presentazioni*
- 11 ANDREA ARRIGHETTI  
*Introduzione*
- 15 ANDREA ARRIGHETTI  
*PROTECT. Un progetto di archeosismologia per la città di Siena*
- 27 VIVIANA CASTELLI  
*La storia sismica di Siena: stato delle conoscenze (aggiornato a gennaio 2022)*
- 37 BARBARA GELLI  
*Al tempo de' tremuoti. Il sisma del 1467 nelle denunce della Lira senese*
- 43 DARIO ALBARELLO  
*Fra Natura e Storia: la pericolosità sismica*
- 51 ANDREA ARRIGHETTI, VALERIA RAZZANTE  
*Tecniche di riparazione post-sismica a Siena. Primi dati della ricognizione del Terzo di Città*
- 63 MARINA GENNARI  
*"Maggior stabilità e sicurezza... maggior convenienza, e decoro". Restauri e trasformazioni urbane a Siena dopo il terremoto del 1798*
- 77 GIOVANNI CANGI  
*Criteri costruttivi e tecniche antisismiche premoderne nella città di Siena*
- 83 NICOLA VALENTE  
*Siena e i terremoti: l'importanza della conoscenza per ridurre il rischio sismico*
- 93 STEFANO CAMPANA, STEFANO CAMPOREALE, ROSSELLA PANSINI, SIMAY GUZEL,  
MARIA GABRIELLA CARPENTIERO, FILIPPO BRASUGLIA, GIANLUCA CATANZARITI,  
GIANFRANCO MORELLI, GIULIA PENNO, JACOPO TABOLLI, VALENTINA TROTTA  
*SOtto Siena (SOS): verso nuovi paradigmi di archeologia urbana*

*Stefano Campana\**, *Stefano Camporeale\**, *Rossella Pansini\**, *Simay Guzel\**,  
*Maria Gabriella Carpentiero\*\*\**, *Filippo Brasuglia\*\**, *Gianluca Catanzariti\*\*\*\**,  
*Gianfranco Morelli\*\**, *Giulia Penno\*\**, *Jacopo Tabolli\*\*\*\**, *Valentina Trotta\*\*\**

\* Università degli Studi di Siena (stefano.campana@unisi.it; stefano.camporeale@unisi.it; simay.guzel@unisi.it; rossella.pansini@unisi.it).

\*\* Geostudi Astier srl (f.barsuglia@gmail.com; gf.morelli70@gmail.com; penno@geostudiastier.com).

\*\*\* Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Siena, Grosseto e Arezzo (mariagabriella.carpentiero@cultura.gov.it; valentina.trotta.85@gmail.com)

\*\*\*\* 3DGeoImaging (gianluca.catanzariti@3dgeoimaging.com).

\*\*\*\*\* Università per Stranieri di Siena (jacopo.tabolli@unistrasi.it).

## SOTTO SIENA (SOS): VERSO NUOVI PARADIGMI DI ARCHEOLOGIA URBANA

### Summary

#### SOTTO SIENA (SOS): towards new paradigms of urban archaeology

The SOS project (the acronym comes from 'SOtto Siena', in English 'Beneath Siena'), promoted by the Tuscany Region and coordinated by the University of Siena in collaboration with the Superintendency of Archaeology, Fine Arts and Landscape for the Provinces of Siena, Grosseto, and Arezzo (in partnership with the Municipality of Siena, the Regional Museums Directorate of Tuscany, and private companies) stems from the desire to create a useful tool for the knowledge and protection of the archaeological evidence in the urban area of Siena (Italy). Siena constitutes one of Italy's least known historical centres in its historical and archaeological evolution, despite the fact that numerous archaeological excavations have been carried out but have so far remained almost entirely unpublished. Within this framework we have identified and developed three main lines of action including: the development of a 3D Archaeological WEBGIS of Siena shared by the main partners in charge of the research aimed to the analysis, management and conservation of the urban landscape; the systematic acquisition of Ground Penetrating Radar (GPR) data of all the public spaces in Siena such as streets, squares, courtyards and gardens that are at least theoretically accessible for the mapping of archaeological features and utilities down to a depth of about 2 m and over an estimated 25 hectares of surveyable area; finally, the project envisages the retrieval and data entry into the GIS of all the historical-archaeological, geo-pedological knowledge of the city and the interpretations of the GPR surveys. The WEBGIS collects all information regarding historical and archaeological research carried out in Siena, combined with new acquisitions from field activities. The data concerning past research includes the main publications that have dealt with the historical and archaeological evolution of the city, but also dissertations, archival documents, and excavation records that have never been published. GPR data collected so far allowed us to identify several features that we interpreted in particular as underground utilities, archaeological evidence, and a fair amount of elements of uncertain interpretation. In order to improve the interpretation of the GPR data, instead of proceeding in the traditional way and thus reducing the 3D data to 2D (time slice), an important part of the work was devoted to the development of a pipeline for vectorizing the anomalies in 3D. The WEBGIS (SITAS) is a clone of the SITAR (WEBGIS of Rome); however, we developed a new tool for the visualisation of 3D data aimed to visualize GPR datasets. The availability of an already well-tested WEBGIS allow us to focus on the development of a 3D visualization tool that is essential to analyze, interpret and manage the complexity inherent in the radar datum in an urban context characterized by a very articulated morphology and the volumes of the built-up area. The inclusion of the third dimension on such a large scale has never been tested before, and the impact is not limited to knowledge and research but directly affects the analysis of the risk and archaeological potential of the city, and is a useful tool for urban planning and, more generally, for the management of the underground. All archaeological data and interpretations are accessible through the WEB and can be accessed graphically and through the data base containing the records and the attributes associated with each geometry. Like SITAR, SITAS is an innovative, open source and open access information system aimed to the improvement of the knowledge, conservation and enhancement of the archaeological heritage. After two years of activity, we can say that a number of results have been achieved and some trends emerge quite clearly. The SOS project in this first phase clearly demonstrated its potential by implementing an WEBGIS in which the knowledge about the city was collected. The implementation of subsurface GPR scanning required the development of interdisciplinary expertise, protocols, and complex institutional relationships but the results were entirely positive demonstrating clearly the concrete possibility of the project's implementation and the extraordinary potential of the prospecting method for the knowledge and management of the city's underground. It is important to point out and be aware that SOS is an experience that is far from over. The project is still in a completely preliminary and extremely delicate stage. In order to continue this experience, it is essential to urge all the institutional and entrepreneurial components of the working group, the territorial authorities (Province and Region), the Ministry of Culture, the Ministry of University and Research, and other institutional partners to support the follow up of this experience, which has among its founding objectives the knowledge and technology transfer to any other historical urban context in Italy as well as abroad.

*Keywords:* urban archaeology, Ground Penetrating Radar, 3D WEBGIS, Siena.

### Introduzione

Com'è noto possiamo distinguere due tipi principali di contesti urbani: a continuità di vita e abbandonati. Le caratteristiche intrinseche ai contesti urbani a continuità di vita sono da individuare in particolare nella densità delle testimonianze antropiche e nella lunga durata dell'insediamento, con uno sviluppo verticale e orizzontale che comporta l'occultamento di ampie superfici e la presenza di ricchi e articolati depositi stratigrafici. Queste

stesse caratteristiche hanno indirizzato gli archeologi verso pratiche e metodi di ricerca nettamente distinti rispetto allo studio delle città abbandonate (CAMPANA 2021).

Queste ultime, spesso corrispondenti a spazi attualmente destinati ad attività agricole, sono state a lungo indagate attraverso i resti monumentali (se presenti), lo scavo archeologico e tramite la ricognizione di superficie, la fotografia aerea, ecc. (BINTLIFE, SNODGRASS 1988). A partire dalla fine degli anni '90 a questi metodi si sono aggiunte le prospezioni geofisiche finalizzate all'acquisizione

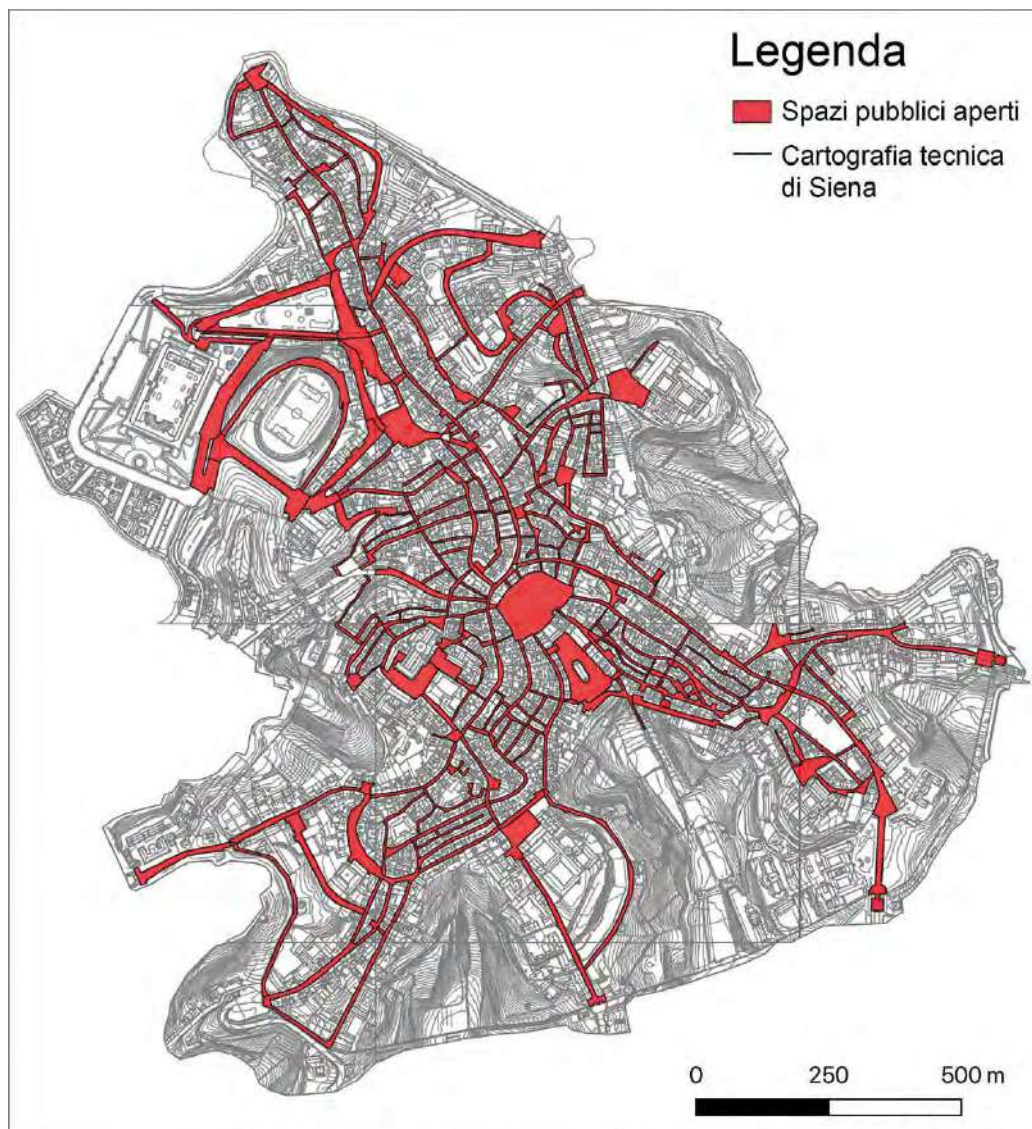


fig. 1 – Cartografia tecnica del centro storico della città di Siena con indicati in rosso gli spazi aperti dove è possibile eseguire rilevamento GPR.

dell'intera area urbana (VERMEULEN *et al.* 2012; JOHNSON, MILLETT 2013; VERDONCK *et al.* 2020). Fin dai primi anni della loro applicazione è parso chiaro che le opportunità e i vantaggi offerti da queste nuove tecniche fossero molto significativi (KEAY *et al.* 2005). Le prospezioni geofisiche sono spesso in grado di rivelare l'intera pianta della città, anche in grandi e complessi siti un tempo urbani, precedentemente studiati per la loro importanza monumentale e storica o valore artistico attraverso il rilievo dei monumenti e la ricognizione di superficie. In molti casi, le esperienze più recenti, gestite tramite sistemi GIS e quindi integrando anche le conoscenze pregresse, hanno permesso agli archeologi di rispondere a domande specifiche in un modo che non era stato possibile in precedenza. Progressi significativi sono stati acquisiti nella conoscenza delle strutture edilizie e nella cronologia di specifici edifici, ma soprattutto nelle forme delle città, definendo la topografia delle strutture e delle infrastrutture, permettendo di guardare al fenomeno dell'urbanistica da nuove prospettive anche comparative.

L'archeologia urbana di contesti a continuità di vita, come la conosciamo oggi, è stata sviluppata in Gran Bretagna nel periodo successivo alla Seconda guerra mondiale, utilizzando lo scavo stratigrafico come principale metodo di indagine, successivamente integrato da altre tecniche

come i carotaggi e l'analisi degli ambienti ipogei. Nelle città a continuità di vita si può inoltre contare su un'ampia disponibilità di informazioni documentarie, fonti d'archivio e testimonianze di rinvenimenti archeologici progressi che ne conservano, almeno in parte, la memoria. La presenza diffusa di edifici, specialmente quelli di una certa antichità, consente inoltre l'applicazione della lettura stratigrafica e l'analisi delle facciate, degli elementi strutturali e decorativi, delle cantine e così via: tutte fonti che forniscono ulteriori informazioni di grande rilievo.

Sebbene in relazione ad entrambi i tipi di contesti urbani si siano verificati progressi molto significativi delle nostre capacità di indagine, lo studio delle città abbandonate risulta nel complesso più semplice e avvantaggiato dalla possibilità di analizzare il *continuum* archeologico (CAMPANA 2018). Al contrario, il costruito onnipresente nelle città a continuità di vita costituisce un grave ostacolo per l'applicazione di gran parte dei metodi diagnostici non distruttivi, non escludendone del tutto l'uso ma certamente riducendo, complicando e rallentando le opportunità di svolgere lavori di indagine. Questa situazione ha comportato un'applicazione limitata e puntuale delle prospezioni.

Il caso di Siena è certamente emblematico. Tra i centri storici in Italia è forse il contesto meno conosciuto dal



punto di vista del passato archeologico, anche a fronte di numerosi scavi, nella quasi totalità ad oggi inediti. Questo limite offre però al contempo la significativa potenzialità di ri-affrontare il ‘contesto urbano abitato’ in una nuova prospettiva. Il progetto SOS, promosso dalla Regione Toscana e coordinato dall’Università di Siena in collaborazione con la Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio per le province di Siena, Grosseto e Arezzo (e in partnership con il Comune di Siena e la Direzione Regionale Musei della Toscana), si inserisce in questo quadro con l’obiettivo di superare alcune delle prospettive e dei limiti presenti nello studio delle città a continuità di vita, per rispondere in particolare alle esigenze della conoscenza e della tutela. Come si è visto, per ovvie ragioni in questi contesti non è possibile analizzare nella continuità il record archeologico, pur tuttavia l’integrazione fra le fonti e i metodi attualmente a disposizione consente di raggiungere quantomeno una forma di conoscenza che potremmo definire “continuità intermittente”. Per ottenere questo risultato abbiamo identificato e sviluppato tre linee principali di azione:

- elaborazione di un Sistema Informativo Archeologico di Siena sotterranea su piattaforma WEBGIS condiviso, aggiornato e accessibile dai principali soggetti deputati alla ricerca, tutela/valorizzazione, analisi e gestione del territorio (Università, Soprintendenza e Comune di Siena);
- immissione nel Sistema Informativo Territoriale di tutte le conoscenze storico-archeologiche, geo-pedologiche pregresse della città e delle interpretazioni dei rilevamenti GPR;
- acquisizione ed elaborazione di dati *Ground Penetrating Radar* (GPR) per la mappatura archeologica georeferenziata (GNSS) degli spazi pubblici della città di Siena: strade, piazze, cortili, giardini, ecc (fig. 1).

La collocazione in un WEBGIS di tutti i rinvenimenti e le informazioni note della città non è certo una iniziativa innovativa, ma l’integrazione con i rilievi GPR degli spazi pubblici consente di garantire una forma di continuità fondamentale per la conoscenza dello sviluppo urbano e per le implicazioni sostanziali nelle attività quotidiane della SABAP (oltre che del Comune), migliorando la capacità di fornire prescrizioni puntuali, a favore di uno sviluppo sostenibile dell’area urbana, delle attività connesse all’imprenditoria e in generale della cittadinanza.

Al fine di realizzare il progetto, oltre alla collaborazione esistente fra l’Università e la Soprintendenza, è stato necessario coinvolgere nelle attività di ricerca e rilevamento altre aziende specializzate ed enti, con ruoli differenti<sup>1</sup>. Dal punto di vista tecnico la gestione del WEBGIS è affidata all’azienda LDP progetti che, in collaborazione con uno degli assegnisti del progetto, ha sviluppato il visualizzatore dati 3D. Va infine precisato che è stata stabilita una convenzione con la Soprintendenza Speciale ABAP di Roma per la condivisione del Sistema Territoriale Informativo Archeologico di Roma (SITAR), ospitato sul *cloud* GARR (SERLORENZI 2019). La disponibilità di un WEBGIS già

ben strutturato permette, nel caso di Siena, di potersi concentrare sullo sviluppo di un sistema di visualizzazione 3D indispensabile per analizzare, interpretare e gestire la complessità connaturata al dato radar in un contesto urbano caratterizzato da una morfologia molto articolata e dalle volumetrie dell’edificato. L’inserimento della terza dimensione su una scala così ampia non è mai stato testato e l’impatto non si limita alla conoscenza e alla ricerca ma incide direttamente sull’analisi del rischio e del potenziale archeologico della città che continua a vivere su se stessa, traducendosi in strumenti utili alla pianificazione urbanistica e, più in generale, alla gestione del sottosuolo.

S. C.na, S.C.le, G.C., J.T., V.T.

## 1. Le fonti edite e inedite del progetto

Uno degli scopi del progetto SOTTOsiena è raccogliere e “mettere a sistema” tutte le informazioni edite e inedite prodotte finora che riguardino le ricerche archeologiche nel territorio cittadino. Fine ultimo di questa attività è la costruzione di uno strumento utile alla tutela e alla valorizzazione, utilizzabile sia dalle istituzioni preposte alla salvaguardia, sia dai ricercatori, sia dai cittadini interessati a conoscere la storia e le risorse archeologiche presenti nel territorio. In quest’ottica, il progetto SOTTOsiena si propone come aggregatore di contenuti, contenitore entro il quale immagazzinare tutte le conoscenze finora prodotte sull’archeologia urbana della città.

Le fonti con le quali il progetto si deve misurare sono molteplici per natura e provenienza e necessitano di essere collazionate, riordinate e valutate, affinché esse costituiscano risorse utili a nuove interpretazioni che possono coadiuvare l’attività di tutela.

### 1.1 *Ledito*

Il punto di partenza è stato la raccolta della bibliografia edita riguardante l’evoluzione diacronica della città, ricostruita attraverso ricerche di tipo storico e archeologico. Tra i materiali editi, sono stati raccolti tutti i contributi realizzati in seguito agli scavi compiuti nel territorio, costituiti da cronache, resoconti o comunicazioni (come PICCOLOMINI 1899; 1898; 1901; MAZZESCHI 1976; COCCIA, TIXIER 2010), o che ne sintetizzano e interpretano i risultati a livello provinciale o micro-regionale (BIANCHI BANDINELLI 1927; VOLPI 1992; ACCONCIA 2012), cittadino (CRISTOFANI 1979; CIACCI 1995; LEONCINI 1998; BROGINI 2003; CANTINI 2007; PALLECCHI 2007; 2012) o di singolo contesto (PARENTI, BOLDRINI 1991; CAUSARANO 2018). Oltre a queste, sono state raccolte le relazioni e i materiali multimediali riguardanti gli scavi realizzati nella città nei primi anni del XXI secolo, pubblicati nel volume *Paesaggi Medievali* (FRANCOVICH, VALENTI 2005) e nella collana multimediale *Archeologia dei Paesaggi Medievali*<sup>2</sup>. Insieme a queste, sono state raccolte anche tutte le opere dedicate alla storia della città prodotte da storici ed eruditi locali (come, per esempio, MALAVOLTI 1599; FALUSCHI 1815; ROSSI 1897).

<sup>1</sup> Hanno collaborato e partecipato attivamente al progetto Luca Gentili, Fabio Gianni e Duccio Fanetti (LDP), Francesco Pericci (ATS srl), Matteo Sordini (ATS srl), Fabio Vitali (Università di Bologna), Debora Barbagli (Comune di Siena), Mirella Serlorenzi (Soprintendenza Speciale ABAP di Roma) e Carlo Cifarelli.

<sup>2</sup> Alcune informazioni sono reperibili anche attraverso il sito web <http://archeologiamedievale.unisi.it/luoghi/Siena/siena.html>

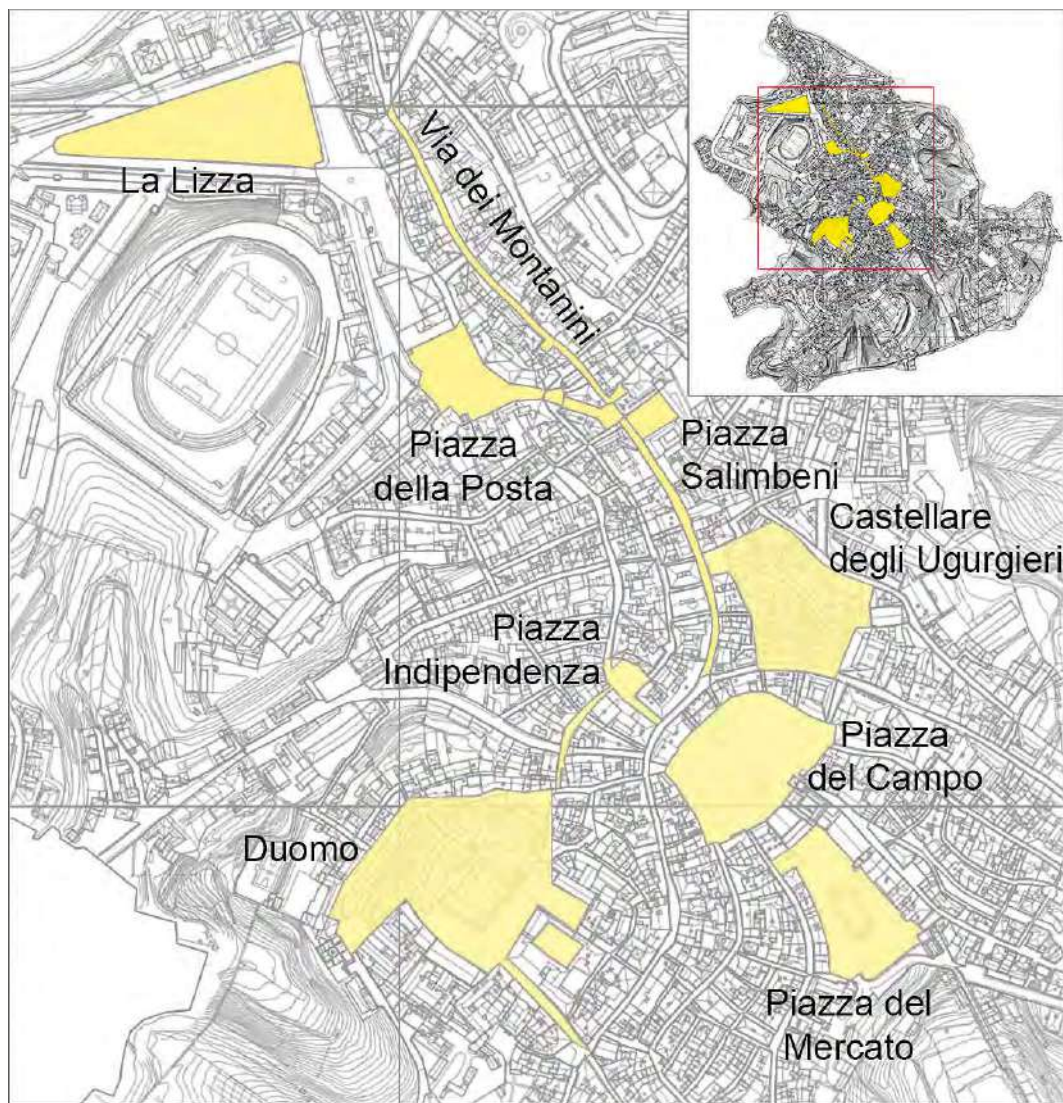


fig. 2 – In giallo sono indicate le aree della città di Siena di cui abbiamo eseguito i rilievi GPR.

## 1.2 L'inedito

I materiali inediti raccolti finora sono invece costituiti prevalentemente da tesi di laurea (tra le principali: BROGINI 1992-1993; COSCI 2000; NAGI 2009; PANSINI 2010-2011; XUE HAI CHIESA 2013) e documenti d'archivio. Questi ultimi sono custoditi presso la sede dell'archivio dell'ex Soprintendenza Archeologia della Toscana, a Firenze<sup>3</sup>, presso Palazzo Chigi Piccolomini alla Postierla a Siena (Polo Museale Toscano) e presso la sede della attuale SABAP-SI.

Altro materiale raccolto è la documentazione di scavo, prodotta dai ricercatori dell'Università di Siena durante le ricerche archeologiche in città, costituita da schede US, materiale fotografico, rilievi a mano e relazioni. Tra questi, risultano di particolare interesse i dati prodotti durante gli scavi del complesso dell'ex Ospedale Santa Maria della Scala, mai giunti ad una pubblicazione d'insieme (le analisi delle fasi medievali sono in CANTINI *et al.* 2001; CANTINI 2011; CAUSARANO *et al.* 2011), ma che costituiscono uno degli esempi più significativi di archeologia urbana in Italia.

Tutte queste risorse sono state scansionate e digitalizzate e costituiscono la nuova base per il sistema WebGIS che è stato implementato.

<sup>3</sup> Si ringrazia la dott.ssa Barbara Arbeid per la sua disponibilità.

## 1.3 I materiali

Altra attività importante è stata una prima individuazione dei materiali provenienti da scavi e ricognizioni realizzati nell'area urbana, conservati nei magazzini della SABAP presso la Fortezza Medicea di Siena e nel laboratorio di ceramologia del Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, e dagli scavi nel complesso di Santa Maria della Scala, conservati nei magazzini del complesso museale<sup>4</sup>. Particolarmente numerosi risultano i materiali provenienti da ricognizione nel territorio, collazionati nell'ambito di una tesi di laurea (COSCI 2000) mai giunta alla pubblicazione, e quelli relativi all'area dell'ex Ospedale, pubblicati solo in parte (CANTINI 2007).

R.P.

## 2. Rilievi GPR degli spazi pubblici della città

Nel febbraio 2021 è stata avviata la campagna di rilievi GPR (*Ground Penetrating Radar*) finalizzati alla scansione del primo sottosuolo degli spazi pubblici della città. Le

<sup>4</sup> La possibilità di esaminare i materiali presso il Complesso Museale di Santa Maria della Scala si deve alla stretta collaborazione tra Università di Siena, SABAP-SI e Direzione Museale. Alla dott.ssa Debora Barbagli si deve, inoltre, un ringraziamento sentito per disponibilità, gentilezza e professionalità.



fig. 3 – Sistema di acquisizione dati GPR IDS Stream UP (200 MHz polarizzazione VV/600 HH) trainato da un veicolo elettrico. In alto la georeferenziazione delle misure è eseguita con la stazione totale robotica mentre in basso con il sistema di georeferenziazione satellitare e la piattaforma IMU.

misure hanno impegnato il gruppo di lavoro in modo non continuativo per circa due anni, interessando spazi urbani per un totale di 7,4 ettari (fig. 2)<sup>5</sup>.

È stato utilizzato il sistema *StreamUP* di IDS, un georadar di ultima generazione in grado di fornire elevata qualità e produttività nell'esecuzione di indagini del sottosuolo in tempo reale<sup>6</sup>. Si tratta di un sistema multicanale, multi-frequenza (200MHz e 600MHz) a doppia polarizzazione (longitudinale VV e trasversale HH)

<sup>5</sup> Al momento della pubblicazione sono state rilevate tramite GPR: Piazza Duomo, Piazza Jacopo della Quercia, Piazza San Giovanni, Piazza Tolomei, Piazza dell'Indipendenza, Piazza del Mercato, Piazza della Posta, Piazza Salimbeni, via di Diacceto, via del Capitano, via delle Terme, via Cecco Angiolieri, via dei Montanini, via Banchi di Sotto, giardini La Lizza. L'acquisizione ed elaborazione dei dati GPR è stata coordinata da Geostudi Astier (<http://www.geostudias-tier.it>) in collaborazione con ATS srl (<http://www.atsenterprise.com>) e la dott.ssa Rossella Pansini. Il contributo dell'amministrazione comunale è stato fondamentale per la fornitura di cartografie tecniche ma soprattutto per la gestione di questioni logistiche di grande rilievo in aree urbane: accesso alle zone ztl, ordinanze di sgombero e controllo del traffico e dei pedoni in occasione dei rilevamenti, ecc.

<sup>6</sup> Si veda il sito WEB: <https://idsgeoradar.com/products/ground-penetrating-radar/stream-up>

dedicato all'analisi del sottosuolo su aree estese che facilita l'intero processo di acquisizione e processamento dei dati. La doppia frequenza e doppia polarizzazione permettono di raggiungere maggiori profondità di investigazione mantenendo un altrettanto elevato grado di risoluzione e dettaglio.

Lo *streamUP* viene trainato da un automezzo e nell'ambito del progetto SOTTOsiena è stato utilizzato un mezzo elettrico in grado di operare anche in ambiente urbano senza rallentare il traffico o rappresentare un elemento di disturbo per la cittadinanza. Durante le operazioni di rilevamento, il software di acquisizione dei dati georadar gestisce simultaneamente i dati provenienti da strumentazione topografica al fine di registrare la posizione dell'antenna durante le varie scansioni. In un contesto urbano e in modo particolare in un centro storico come quello senese, caratterizzato da spazi aperti ristretti e vie anguste che comportano una visibilità verticale molto limitata, non era possibile georeferenziare le misure utilizzando un sistema GNSS tradizionale. Per questo, nel corso del primo anno di misure si è optato per l'uso

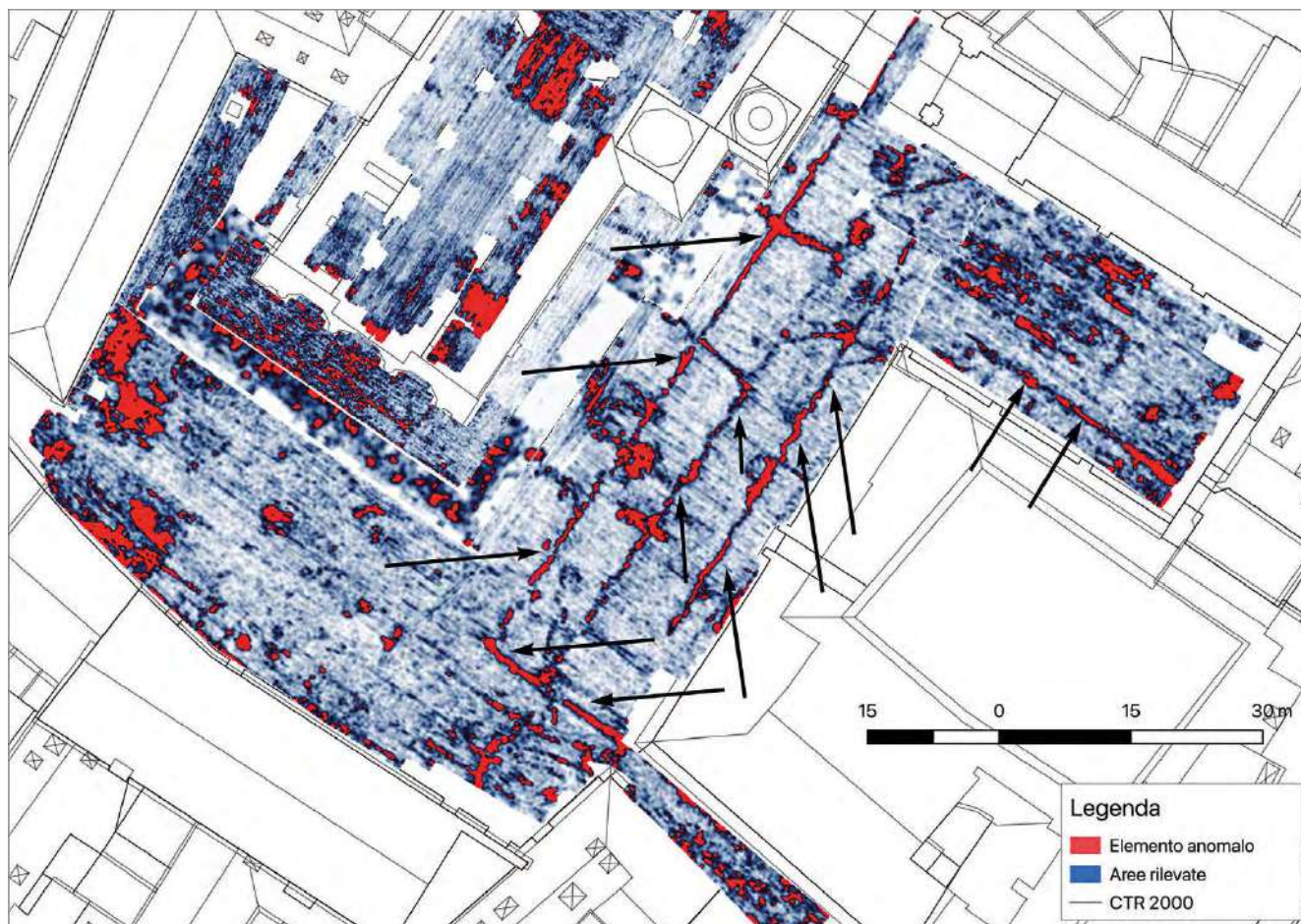


fig. 4 – Le frecce nere indicano una serie di anomalie con andamento rettilineo parallelo e ortogonale situate tutte tra 0,60 e 1 m di profondità riconducibili a sottoservizi la cui esistenza e posizione non erano note in precedenza.

di una stazione totale robotica (RTS) operante tramite connessione visiva ad un prisma posizionato sull'antenna radar. Questa soluzione è sicuramente efficace ma rallenta notevolmente l'acquisizione dei dati radar dato che, per ogni area, deve essere spostata e riposizionata la RTS in relazione alle coordinate della precedente posizione. Per questo è stato utilizzato il GPS abbinato alla APS (*Accurated Positioning System*) o IMU (*Inertial Measurement Unit*); il GPS, in presenza di copertura satellitare, registra le coordinate ogni 5 secondi in RTK (*Real Time Kinematic*) garantendo la precisione centimetrica della posizione dell'antenna radar. Il sistema APS entra in gioco laddove il segnale GPS viene a mancare, ad esempio in presenza di alti palazzi, strade alberate, gallerie, ponti, sfruttando il modulo che combina la tecnologia GNSS di NovAtel con algoritmi di traiettoria avanzati per ottenere informazioni sul posizionamento più accurate in caso di copertura satellitare scarsa o assente. Questo permette di velocizzare drasticamente l'acquisizione in campo fino a raggiungere qualche km di strade cittadine al giorno come è avvenuto nel caso del progetto SOTTOsiena<sup>7</sup> (fig. 3).

In seguito al processing e all'elaborazione delle misure i dati hanno messo in evidenza la presenza di numerose anomalie riconducibili in particolare a sottoservizi (fig. 4), evidenze di interesse archeologico (fig. 5) e a un certo numero di elementi di incerta interpretazione<sup>8</sup>.

Come ci aspettavamo, particolarmente complessa è stata l'interpretazione dei rilievi delle strade, caratterizzate da uno sviluppo lungo e stretto nelle quali è molto più difficile (a differenza delle piazze, ad esempio) osservare forme complete o parzialmente complete di anomalie.

Al fine di migliorare l'interpretazione dei dati GPR, com'è noto costituiti da modelli tridimensionali, invece di procedere in modo tradizionale e quindi riducendo i dati 3D in 2D (time slice) una parte importante del lavoro è stata dedicata allo sviluppo di una pipeline per la vettorializzazione delle anomalie in tre dimensioni. A questi modelli è stata inoltre aggiunta l'interpretazione semantica tramite il collegamento a un database che consente di associare ai volumi informazioni qualitative (attributi). I risultati dell'interpretazione sono inseriti all'interno del sistema SITAS e visualizzabili direttamente via web.

S. C.na, R.P., F.B., G.M., G.P., G.C.

<sup>7</sup> Nel caso specifico sono stati utilizzati i seguenti strumenti: Total Station (TS50 della Leica), GPS (GS18 della Leica) abbinato alla APS.

<sup>8</sup> Il processing è stato realizzato con i software: IDS IQMaps e GPR-SLICE.

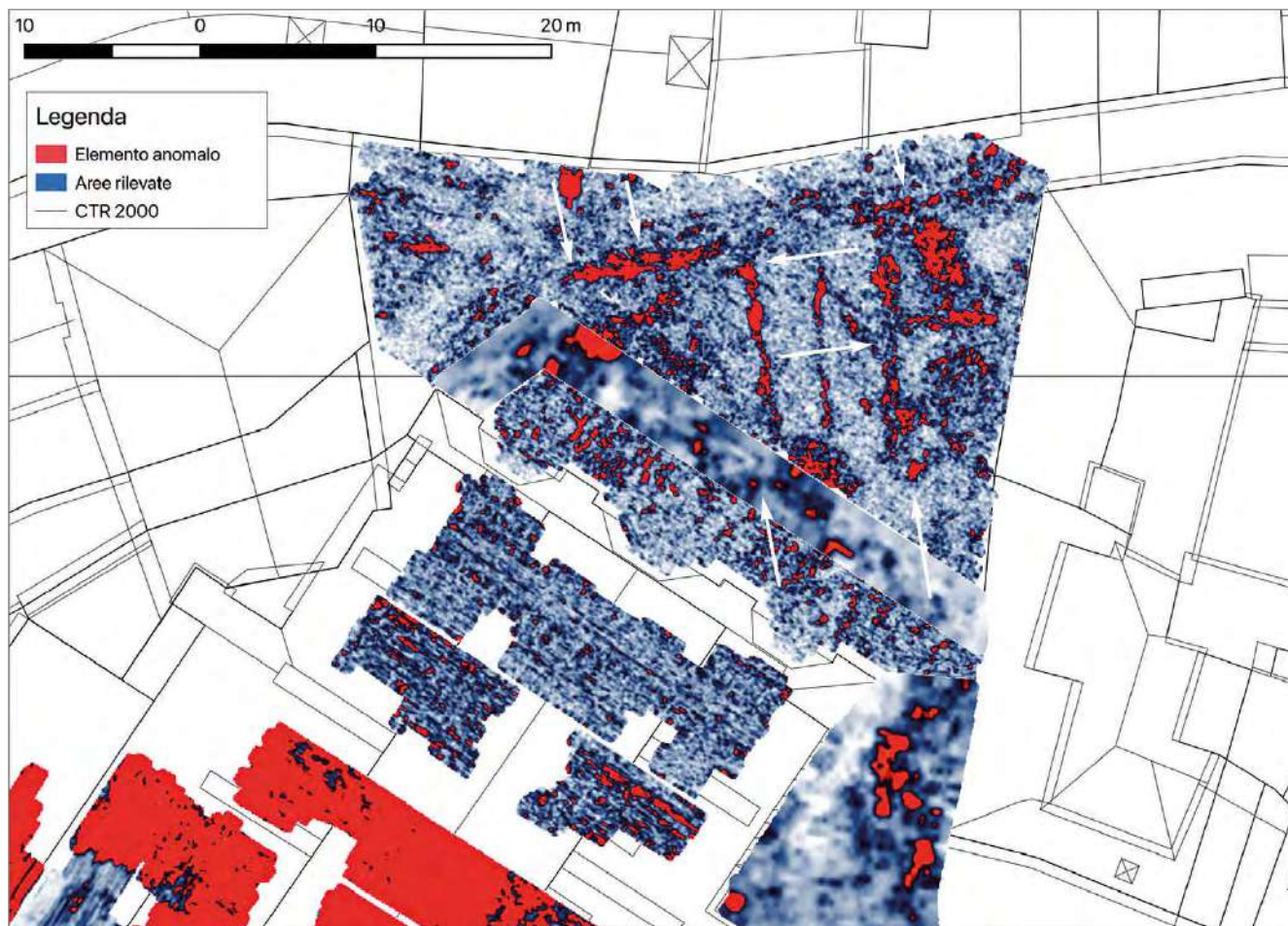


fig. 5 – La figura mostra il rilievo GPR di Piazza San Giovanni dove a ca 1 m di profondità è emersa la presenza di resti di strutture (alcune indicate dalle frecce bianche) del tutto coerenti per dimensioni e orientamento al tessuto della città medievale e molto probabilmente da riferire ad edifici precedenti alla realizzazione della piazza avvenuta in occasione della costruzione della seconda facciata della cattedrale.

### 3. SITAS: una soluzione open-source per l'integrazione dei dati e la visualizzazione 3D

SITAS è un'applicazione WEBGIS 3D open source, finalizzata alla conoscenza e alla tutela del patrimonio archeologico realizzata per la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Siena, Arezzo e Grosseto (SABAP-SI)<sup>9</sup>.

Il sistema consiste in una piattaforma informatica e in una sequenza di procedure che combinano dati cartografici georeferenziati, documenti e archivi della SABAP-SI, ed elementi 3D di strutture ipogee in forma di anomalie (GPR) di tutti i volumi dell'edificato della città (modello 3D generale) e di alcuni modelli di dettaglio di architetture specifiche (scansioni laser del complesso episcopale, ecc), fornendo agli utenti l'opportunità di consultare delle mappe interattive attraverso un web browser.

<sup>9</sup> La realizzazione di SITAS è stata possibile grazie all'attività di supervisione di F. Gianni e D. Fanetti (LDP Progetti GIS) e di C. Cifarelli, collaboratore della Soprintendenza Speciale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio di Roma per il progetto SITAR.

Il WEBGIS è una tecnologia usata ormai in numerosi ambiti, come le applicazioni per la gestione urbanistica delle città e la progettazione, ma anche per la gestione e interpretazione dei dati archeologici. L'obiettivo di SITAS è quello di interagire con istituzioni, specialisti, cittadini, applicazioni, tecnologie e metodologie nell'ambito della gestione delle informazioni territoriali e archeologiche. I dati geografici, tematici e cartografici sono messi a disposizione del pubblico attraverso un portale WEBGIS che viene progressivamente arricchito e aggiornato.

Il sistema è stato sviluppato con lo scopo di gestire un grande numero di dati provenienti da diverse fonti (documenti d'archivio, fotografie, modelli tridimensionali), ma anche per acquisire nuovi dati, provenienti per lo più da indagini effettuate con il GPR (*Ground Penetrating Radar*). In particolare, grazie a questa piattaforma archeologi, ricercatori ed enti preposti alla tutela e alla gestione della città possono disporre ovunque e in qualsiasi momento di informazioni aggiornate e complesse permettendo di interpretare e analizzare elementi di interesse archeologico localizzati nel sottosuolo, integrando le informazioni ad essi relativi con quelle provenienti da indagini precedenti.

Il SITAS non è però l'ennesimo nuovo SIT, bensì un clone della piattaforma SITAR, il Sistema Informativo

Territoriale Archeologico che da più di 15 anni gestisce tutte le informazioni della città di Roma<sup>10</sup> (SERLORENZI *et al.* 2012, pp. 33-35). SITAS ha la medesima struttura logica di SITAR con l'aggiunta di nuove funzionalità e, in particolare, la visualizzazione di dati tridimensionali. Come SITAR, il *workflow* e gli strumenti sviluppati nell'ambito di SITAS sono open e possono essere adottati da chiunque sia interessato alla gestione dei dati geospaziali.

### 3.1 Sviluppo del WEBGIS 3D: le sfide attuali

Tra i problemi attuali della modellazione e della visualizzazione 3D del patrimonio culturale via WEB Remondino (2011a) e Nishanbaev (2020) indicano:

- la definizione della metodologia appropriata (sensore, hardware, software) e della procedura di elaborazione dei dati;
- la necessità di velocizzare il tempo di elaborazione dei dati con la massima automazione possibile, ma sempre considerando la precisione come obiettivo primario;
- la gestione dei modelli digitali in 3D;
- la visualizzazione di modelli 3D di grandi dimensioni;
- un processo efficiente di ricerca e raccolta di big 3D data;
- l'essere in grado di visualizzare e interagire in modo fluido con il modello 3D ottenuto;

Il progetto SOTTOsiena e la realizzazione del SITAS hanno affrontato gran parte delle difficoltà elencate, ma le maggiori problematiche sono state riscontrate per la complessità dei dati GPR e la necessità di interpretarli attraverso il disegno 3D. Il dato GPR, infatti, contiene molte informazioni sugli elementi presenti nel sottosuolo riferibili ad elementi archeologici ma anche alle caratteristiche litologiche (natura dei suoli, presenza di cavità naturali, ecc.) e ad interventi recenti (sottoservizi). Per trasformare i dati GPR in informazioni è indispensabile eseguire un'analisi attenta, i cui esiti si esplicitano attraverso il disegno vettoriale e l'associazione ad ogni elemento geometrico del disegno di una serie di attributi. Questa procedura è del tutto standardizzata quando si lavora con un tradizionale GIS 2D, ma è materia ben più complessa e pionieristica quando si tratta di riprodurre e visualizzare volumi (CAMPANA 2018; DELL'UNTO, LANDESCI 2022). Un altro aspetto piuttosto laborioso consiste nell'unione dei modelli 3D contenenti dati riferibili a strutture localizzate nel sottosuolo e ai modelli 3D delle architetture storiche, dei monumenti e in generale delle volumetrie delle strutture presenti in elevato. Entrambe le questioni sono state affrontate e abbiamo avanzato proposte che sono descritte nel paragrafo successivo.

### 3.2 Il flusso di lavoro del SITAS per l'elaborazione dei dati geospaziali, l'integrazione dei dati geometrici in un database relazionale a oggetti e la rappresentazione dei modelli 3D in un visualizzatore 2D-3D

Il flusso di lavoro come abbiamo visto inizia con l'acquisizione dei dati sul terreno. Il GPR fornisce dati *raw* non strutturati sotto forma di nuvole di punti. Il

post-processing dei dati grezzi provenienti dal rilievo GPR avviene attraverso i software IQMaps e GPR-SLICE. Dopo una prima operazione di pulizia, i dati sono ulteriormente elaborati e possono essere esportati in due diverse modalità: time-slice in 2D (si vedano ad esempio le figg. 4 e 5 con la visualizzazione nel GIS di time-slice a 1 m di profondità) o *point cloud* in 3D. Nel caso in cui l'esportazione avvenga per time-slice si procede secondo gli standard già citati in precedenza. L'esportazione in 3D prevede un ulteriore passaggio, la trasformazione dei dati tridimensionali in mesh poligonali tramite il software Cloud Compare (fig. 6). Queste ultime sono utilizzate per le successive fasi di interpretazione e visualizzazione (figg. 7-8).

Individuare ed interpretare le anomalie nei dati GPR è un'operazione che viene realizzata in ambiente GIS, utilizzando il software proprietario ArcGIS Pro.

Completata l'interpretazione, le feature 3D vengono importate nel SITAS per la visualizzazione. Il flusso di lavoro del sistema SITAS utilizza tecnologie geospaziali *open-source* come PostgreSQL, Cesium 3D Tiles e OpenLayers per costruire un sistema informativo che integri informazione geografica e archeologica. I dati sono accessibili tramite vari livelli informativi, a seconda delle esigenze dell'utente. I nostri utilizzatori *target* sono per lo più archeologi e funzionari addetti alla tutela, alla gestione e pianificazione del territorio. La piattaforma permette, infatti, di attivare e disattivare la mappa 3D e i suoi *layers*, selezionare una o più caratteristiche dell'oggetto 3D e visualizzare le informazioni ad esso associate. L'archeologo potrà interagire con il file della nuvola di punti ricavata dal rilievo, mentre i funzionari di uffici amministrativi potranno, per esempio, esaminare quali siano i sottoservizi presenti in quella determinata zona.

S.G.

## 4. Conclusioni

Dopo due anni di attività possiamo affermare che una serie di risultati sono stati raggiunti e alcune tendenze emergono in modo piuttosto chiaro. Il progetto SOTTOsiena in questa prima fase ha dimostrato chiaramente il suo potenziale realizzando un sistema informativo innovativo, aperto e condiviso nel quale è stata raccolta tutta la conoscenza sulla città. L'implementazione della scansione GPR del sottosuolo ha richiesto la messa a punto di competenze interdisciplinari, protocolli e rapporti istituzionali complessi, ma i risultati sono stati del tutto positivi dimostrando in modo chiaro la concreta possibilità di sviluppo del progetto e lo straordinario potenziale del metodo di prospezione per la conoscenza e la gestione del sottosuolo della città.

È importante precisare ed essere consapevoli che SOTTOsiena è un'esperienza tutt'altro che conclusa. Il progetto si trova ancora in una fase del tutto preliminare ed estremamente delicata. Per proseguire questa esperienza è indispensabile sollecitare tutte le componenti istituzionali e imprenditoriali del gruppo di lavoro, gli enti territoriali (Provincia e Regione), il Ministero della Cultura, il Ministero dell'Università e della Ricerca e altri attori istituzionali a sostenere il proseguimento di questa esperienza che

<sup>10</sup> La clonazione del SITAR e i rapporti tra la Soprintendenza Speciale Archeologia, Belle Arti e Paesaggio di Roma, la Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Siena, Arezzo e Grosseto e l'Università di Siena sono regolati da uno specifico protocollo di intesa.

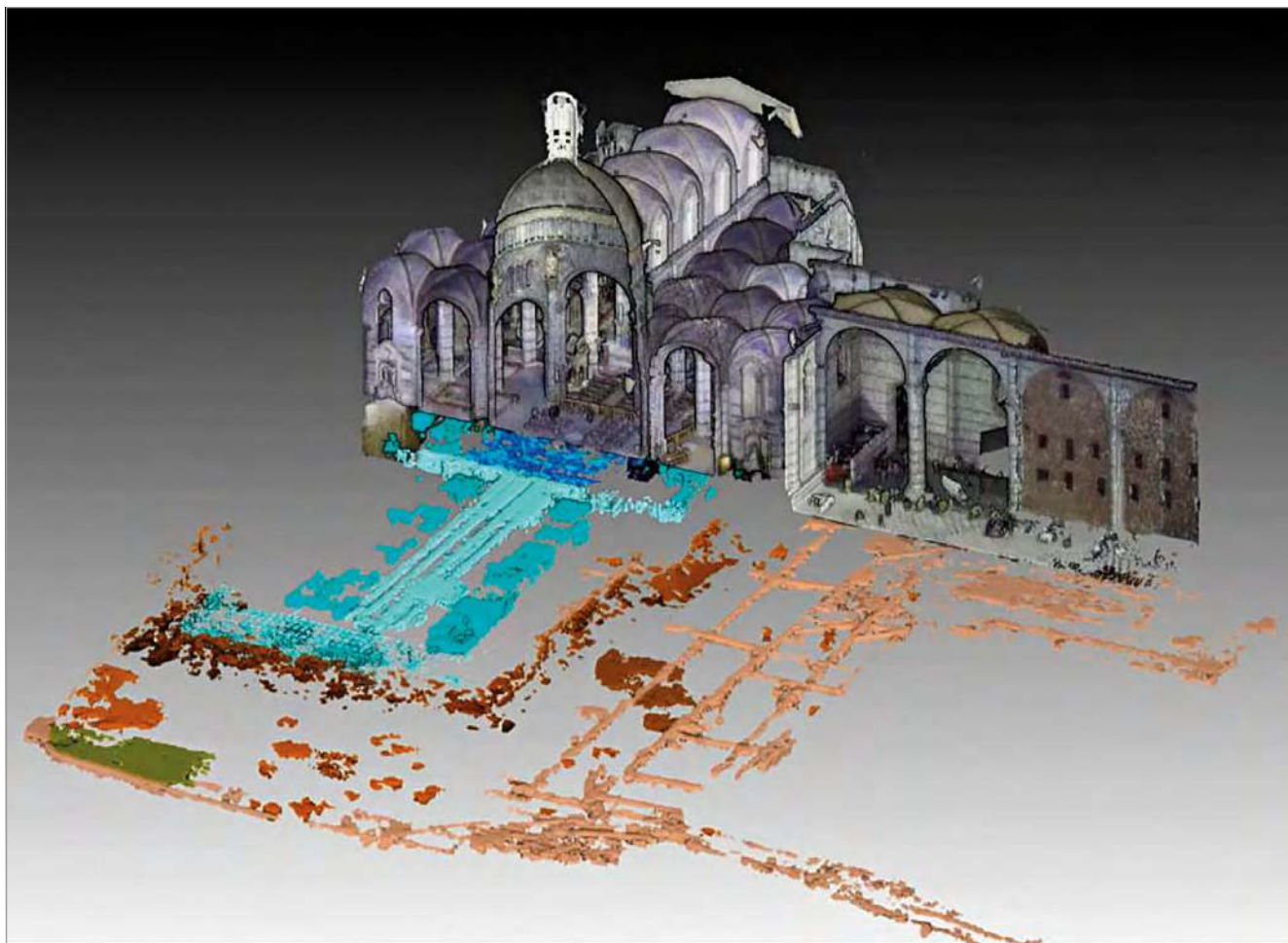


fig. 6 – il risultato del trattamento dei dati provenienti da rilievo architettonico e GPR e della loro strutturazione in Cloud Compare.



fig. 7 – La visualizzazione degli elementi 3D (point clouds e mesh poligonali) nel sistema SITAS.

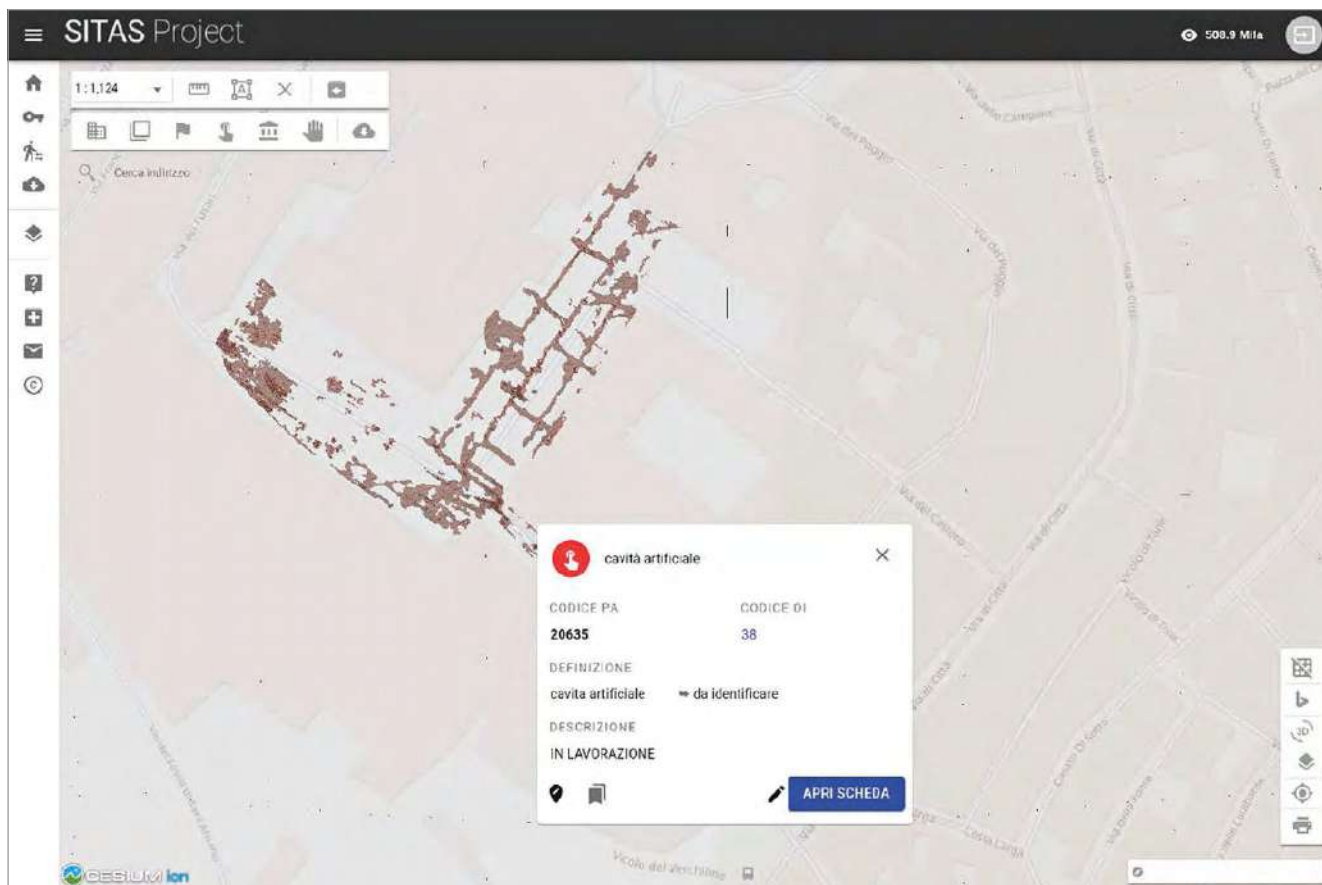


fig. 8 – la visualizzazione delle schede informative degli elementi 3D all'interno del sistema SITAS.

ha tra i suoi obiettivi fondanti la trasferibilità dei risultati a qualunque altro contesto urbano.

La prossima fase del progetto prevede la prosecuzione dei rilevamenti GPR in tutta la città, l'ulteriore sviluppo del SITAS e un forte investimento sull'analisi della conoscenza dello sviluppo storico della città e sulla diffusione dei risultati al pubblico tramite la narrazione di nuovi scenari storici sia con supporti tradizionali sia attraverso tecnologie immersive. Infine, un altro aspetto fondamentale consiste nell'immissione nel SITAS dei dati archeologici dei territori delle province di Siena, Arezzo e Grosseto fornendo alle amministrazioni territoriali competenti, ma anche ai loro cittadini, uno strumento fondamentale per numerose attività quotidiane e per la valorizzazione dei rispettivi territori.

S. C.na, S.C.le, R.P.

### Ringraziamenti

Il progetto SOS non sarebbe stato possibile senza il sostegno finanziario della Regione Toscana e delle società Geostudi Astier (<http://www.geostudias-tier.it>), LDP progetti (<https://www.ldpgis.it>), ATS srl (<https://www.atsenterprise.com>), della Fondazione MPS e dell'Università di Siena.

Il progetto ha un grande debito di riconoscenza con il corpo dei vigili urbani del Comune di Siena che ha collaborato con grande disponibilità a rendere possibili i rilevamenti GPR in una città tanto complessa.

Un ringraziamento particolare va a Mirella Serlorenzi per la disponibilità a condividere il SITAS, a sostenere e promuovere il progetto SOS. Un sentito ringraziamento va all'Ing. Gianluca Catanzariti per il processing dei dati e le lunghe discussioni

sull'interpretazione delle anomalie e dei risultati dei rilievi GPR. Un sincero ringraziamento va alla Soprintendenza Archeologia Belle Arti e Paesaggio per le province di Siena, Grosseto e Arezzo, ed in particolare ai soprintendenti dott. Andrea Pessina, dott. Andrea Muzi, arch. Gabriele Nannetti.

### Bibliografia

- ACCONCIA V., 2012, *Paesaggi etruschi in terra di Siena. L'agro tra Volterra e Chiusi dall'età del Ferro all'età romana*, Oxford.
- BIANCHI BANDINELLI R., 1927, *Siena. Foglio 120. Carta Archeologica d'Italia*, Firenze.
- BINTLIFF J., SNODGRASS A.M., 1988, *Mediterranean survey and the city*, «Antiquity», 62, pp. 57-71.
- BROGINI P., 1992-1993, *Lo sviluppo urbanistico di Siena fino all'età precomunale*, Università degli Studi di Siena, Facoltà di Lettere e Filosofia, Tesi di Laurea, Siena.
- BROGINI P., 2003, *L'individuazione della Siena romana ed altomedievale: alcune considerazioni e nuove ipotesi*, «Accademia dei Rozzi», 10(18), pp. 6-14.
- CAMPANA S., 2018, *Mapping the Archaeological continuum. Filling 'empty' Mediterranean Landscapes*, New York.
- CAMPANA S., 2021, *Archaeology of former and historical urban landscapes in the Mediterranean world: current trends and future perspectives*, in G. BURGERS, L. CICALA, G. ILLIANO, M. QUAGLIUOLO (a cura di), *Archaeology in city*, Proceedings of the International Workshop, Amsterdam 16-17 October 2019, Archeologie. Temi, contesti, materiali 2, Pozzuoli, pp. 31-49.
- CANTINI F., 2007, *Archeologia urbana a Siena: l'area dell'Ospedale di Santa Maria della Scala prima dell'Ospedale. Altomedioevo*, Firenze.
- CANTINI F., 2011, *Prima dell'ospedale: Siena tra tarda antichità e XI secolo. Genesis della città altomedievale a partire dalla definizione della civitas christiana*, in F. GABBRIELLI (a cura di), *Ospedale di Santa*



- Maria della Scala: ricerche storiche, archeologiche e storico-artistiche*, Atti della giornata di studi (Siena 2005), Siena, pp. 31-54.
- CANTINI *et al.* 2011 = CANTINI F., GABBRIELLI F., PALLECCHI S., SAFFIOTTI C., *La storia sotto il vecchio ospedale*, «Archeo», 17, pp. 235-248.
- CAUSARANO *et al.* 2011 = CAUSARANO M.-A., SALVADORI F., SORDINI B., TIXIER B., *Nuova definizione degli spazi abitativi all'interno del Santa Maria della Scala di Siena tra '300 e '400: storia e archeologia*, in F. GABBRIELLI (a cura di), *Ospedale di Santa Maria della Scala: ricerche storiche, archeologiche e storico-artistiche*, Atti della giornata di studi (Siena 2005), Siena, pp. 55-75.
- CIACCI A., 1995, *Le origini tra mito e archeologia*, in R. BARZANTI, G. CATONI, M. DE GREGORIO (a cura di), *Storia di Siena*, vol. 1, Siena, pp. 9-26.
- COCCIA A., TIXIER B. (a cura di), 2010, *Il Fortino delle donne senesi: indagini archeologiche e storiche*, Siena.
- COSCI C., 2000, *Topografia archeologica del territorio di Siena: contributo alla carta archeologica della Provincia di Siena*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Siena: Facoltà di Lettere e Filosofia, Siena.
- CRISTOFANI M. (a cura di), 1979, *Siena: le origini. Testimonianze e miti archeologici*, Firenze.
- DELL'UNTO N., LANDESCI G., 2022, *Archaeological 3D GIS*, London and New York. <https://doi.org/10.4324/9781003034131>
- FALUSCHI G., 1815, *Breve relazione delle cose notabili della città di Siena*, Siena.
- FRANCOVICH R., VALENTI M. (a cura di), 2005, *Archeologia dei paesaggi medievali. Relazione Progetto (2000-2004)*, Firenze.
- JOHNSON P., MILLETT M. (a cura di), 2013, *Archaeological survey and the City*, Oxford.
- KEAY *et al.* 2005 = KEAY S., MILLETT M., PAROLI L., STRUTT K. (a cura di), *Portus. An archaeological survey of the port of imperial Rome*, Archaeological monograph of the British school at Rome 15, Oxford.
- LEONCINI A., 1998, «Siena in fasce»: topografia e immagini della Sena *Vetus*, Monteriggioni.
- MALAVOLTI O., 1599, *Dell'istoria di Siena*, Venezia.
- MAZZESCHI E., 1976, *Cronache d'archeologia senese*, Siena.
- NAGI L.L., 2009, *Siena Etrusco-romana. L'area 56000 del Santa Maria Della Scala. Scavo e reperti*, Tesi di Laurea, Università degli Studi di Siena: Facoltà di Lettere e Filosofia, Siena.
- NISHANBAEV I., 2020, *A web repository for geo-located 3D digital cultural heritage models*, «Digital applications in archaeology and cultural heritage», 16, pp. 1-9.
- PICCOLOMINI P., 1898, *Vestigia romane presso Siena: notizie di escavazioni*, «Miscellanea Storica Senese», 5, pp. 1-2.
- PICCOLOMINI P., 1899, *Terme romane presso Siena: relazione di recenti scavi*, Siena.
- PICCOLOMINI P., 1901, *Notizie di scavi nel territorio senese*, «Bullettino della Società Senese di Storia Patria», 8, pp. 126-140.
- PALLECCHI S., 2007, *Il palinsesto di una città medievale. Metodi e problemi dell'archeologia urbana a Siena*, «Città e Storia», 1, 2 (luglio-dicembre 2006), pp. 583-594.
- PALLECCHI S., 2012, *Dietro la forma della città. Il contributo dell'archeologia urbana all'identificazione degli antichi spazi verdi nell'area di Siena*, in A. CIACCI, M. GIANNACE (a cura di), *Senarum Vineae. Il paesaggio urbano di Siena. Forme di recupero e valorizzazione dei vigneti storici*, Siena, pp. 91-99.
- PANSINI R., 2010-2011, *L'arco romano di San Donato o dei Malavolti a Siena*, Tesi di Laurea triennale, Università degli Studi di Siena: Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali, Siena.
- REMONDINO F., 2011a, *3D recording for cultural heritage*, in D. COWLEY (a cura di), *Remote sensing for archaeological heritage management*, Proceedings of the 11th EAC heritage management symposium (Reykjavík, 25-27 March 2010), Bruxelles, pp. 107-116.
- REMONDINO F., 2011b, *Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning*, «Remote Sensing» 3(6), pp. 1104-1138.
- ROSSI P., 1897, *Le origini di Siena*, Siena.
- SERLORENZI M., 2019, *Il SITAR: verso una forma di tutela condivisa* in G. CALCANI (a cura di), *Forme della tutela*. Atti dell'incontro di studio (Roma, 8-9 Giugno 2018), Quaderni del Master TPC 3, Roma.
- SERLORENZI *et al.* 2012 = SERLORENZI M., LAMONACA F., PICCIOLA S., CORDONE C., *Il SITAR: Sistema Informativo Archeologico di Roma*, «Archeologia e Calcolatori», 23, pp. 31-50.
- SOLARI A., 1920, *Topografia storica dell'Etruria*, Pisa.
- VERDONCK *et al.* 2020 = VERDONCK L., LAUNARO A., VERMEULEN F., MILLETT M., *Ground-penetrating radar survey at Falerii Novi: A new approach to the study of Roman cities*, «Antiquity», 94(375), pp. 705-723. <https://doi.org/10.15184/aqy.2020.82>
- VERMEULEN *et al.* 2012 = VERMEULEN F., BURGERS G.J., KEAY S., CORSI C. (ed.), *Urban landscape survey in Italy and the Mediterranean*, Oxford.
- VOLPI F., 1992, *Foglio 120: Siena*, in M. TORELLI, C. MASSERIA, M. MENICETTI, M. FABBRI (a cura di), *Atlante dei siti archeologici della Toscana*, Firenze, pp. 297-314.
- XUE HAI CHIESA C., 2013, *Siena: geomorfologia, storia e archeologia della città dall'origine alla fine dell'impero romano*. Tesi di Laurea magistrale, Università degli Studi di Siena: Facoltà di Lettere e Filosofia, Siena.





SIENA E I TERREMOTI a cura di A. Arrighetti

# Sienna e i terremoti

Punti di vista multidisciplinari  
per una lettura archeosismologica  
del centro storico



a cura di  
Andrea Arrighetti



Biblioteca di Archeologia dell'Architettura 8

Il volume raccoglie i contributi di un seminario dal titolo “Sienna e i terremoti. Punti di vista multidisciplinari per una lettura archeosismologica del centro storico” tenutosi il 10 giugno 2022 presso il Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali dell’Università degli Studi di Siena. La giornata di studi e questo libro si inseriscono nelle attività di comunicazione e disseminazione del progetto *PROTECT - Knowledge for PReventiOn. TEChnique for repairing seismic damage from medieval period To modern era*, una ricerca biennale finanziata dalla Commissione Europea con una Horizon 2020 – Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship, attualmente in corso di svolgimento presso l’École normale supérieure di Parigi. Il libro si propone di mettere in luce differenti approcci metodologici per lo studio del centro storico senese, nell’ottica di costruire una prima base conoscitiva sulla sismicità che ha interessato la città e sulle caratteristiche storiche, architettoniche, geologiche e territoriali del contesto medesimo. Negli articoli sono stati trattati differenti aspetti e criteri di documentazione e di analisi dei terremoti avvenuti a Siena in un arco cronologico che si snoda dal XIV al XX secolo, proponendo una narrazione interconnessa tra diverse discipline legate da un unico filo conduttore, quello della conoscenza in funzione della prevenzione.

€ 36,00

ISSN 2035-5327

ISBN 978-88-9285-214-3

e-ISBN 978-88-9285-215-0



BAA-8