

## UNA PROPOSTA OPERATIVA PER LA LETTURA ARCHEOSISMOLOGICA SPEDITIVA DEI FRONTI STRADALI DELLA CITTÀ DI SIENA

### 1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, il concetto di archeosismologia ha assunto sempre più rilevanza nel campo archeologico. Questo termine si riferisce alle analisi archeologiche che esaminano gli effetti dei terremoti su antiche strutture in rovina o conservate, interamente o parzialmente. Nonostante la sua importanza nella documentazione, prevenzione e protezione del patrimonio culturale, l'archeosismologia non ha ancora raggiunto un livello di sviluppo metodologico e applicativo paragonabile ad altri approcci storici alla sismologia (GUIDOBONI, EBEL 2009). Analizzando, seppur brevemente, quest'ultimo punto è possibile riscontrare una situazione molto variegata nelle attività sul campo e nelle conseguenti pubblicazioni, sia per quanto riguarda lo sviluppo delle metodologie utilizzate, sia per le loro applicazioni pratiche all'interno dei contesti di indagine. In particolare, esiste una marcata differenza tra le molte iniziative che coinvolgono gli scavi archeologici in Europa ed altrove, dove l'archeosismologia è ormai ampiamente utilizzata, e i lavori di analisi che si concentrano sull'edilizia storica. Nel campo dell'archeologia della costruzione, la letteratura scientifica offre pochi tentativi validi di definire metodologie di analisi specifiche e, in rarissimi casi, tali studi assumono un livello territoriale. Recentemente, a causa di un'attività sismica significativa, c'è stato un rinnovato interesse per l'archeosismologia applicata sia agli scavi che all'edilizia storica. Questo è evidente negli studi condotti in alcune aree della Toscana e nei dibattiti svoltisi in convegni nazionali e internazionali su temi storico-archeologici, come quelli organizzati in seguito ai terremoti del 2009 in Abruzzo, del 2012 nel nord Italia e del 2016 nel centro Italia.

Partendo da queste riflessioni è stato ideato e sviluppato nel biennio 2021-2023 il progetto PROTECT - Knowledge for PREventiOn. Technique for repairing seismic damage from medieval period To modern era. La ricerca è stata finanziata dal programma Horizon 2020 dell'Unione Europea attraverso una Marie Skłodowska-Curie Individual Fellowship presso l'École normale supérieure - Université PSL di Parigi. L'obiettivo del progetto è stato quello di sviluppare un protocollo operativo per i centri storici basato sull'applicazione di analisi a carattere multidisciplinare che offre l'opportunità di documentare a livello archeosismologico edifici, facciate stradali, aggregati e centri urbani secondo criteri metodologici specifici definiti in base agli obiettivi della ricerca.

Nel progetto PROTECT sono state dunque elaborate specifiche linee di analisi mirate sia alla comprensione storica del contesto di studio, ovvero il centro storico di Siena, sia alla sua documentazione per la progettazione e la pianificazione della prevenzione sismica, attraverso una conoscenza progressiva e calibrata della storia costruttiva e sismica delle architetture (ARRIGHETTI 2023). Uno dei risultati ottenuti dalla sperimentazione di questo approccio è stata la proposizione di un'analisi archeosismologica a carattere speditivo. Si tratta di uno studio archeologico che consente una conoscenza generale di elementi molto complessi dal punto di vista stratigrafico, come gli aggregati o i fronti stradali dei vicoli, fornendo al contempo una base dati per formulare ipotesi sul loro stato di conservazione e sulla loro vulnerabilità.

## 2. METODOLOGIA DELLA RICERCA

### 2.1 *Il rilievo e la documentazione dei dissesti strutturali*

Il rilievo ha sempre rappresentato uno strumento di grande importanza per l'archeologia. Le moderne tecnologie permettono di acquisire una vasta gamma di dati, consentendo di lavorare su modelli digitali quasi identici all'oggetto reale. Utilizzare un modello digitale di un manufatto, pur richiedendo il lavoro sul campo da parte degli operatori, permette di documentare e registrare le osservazioni fatte direttamente sull'oggetto in esame e fornisce indicazioni utili per interpretarne l'evoluzione costruttiva. Nel contesto del rischio sismico, il rilievo diventa uno strumento fondamentale sia durante la fase di registrazione sia nell'interpretazione dei dati raccolti sul campo. Un esempio concreto è l'utilizzo degli Elevation Maps (Fig. 1), ovvero rappresentazioni bidimensionali di dati tridimensionali acquisiti da strumenti come la fotogrammetria o il laser scanner. Queste mappe permettono di analizzare le eventuali deformazioni strutturali di edifici causate da terremoti, alluvioni, frane o altre cause naturali o antropiche.

Per creare una mappa di elevazione, vengono utilizzati strumenti di rilevamento come LiDAR, GPS, fotogrammetria o Laser Scanner 3D. Anche se hanno specifiche e precisioni diverse, questi strumenti permettono di rilevare le variazioni di altezza tra i punti delle superfici di un oggetto. La teoria alla base di questa tecnica consiste nell'individuare un piano di riferimento ideale sulla superficie da analizzare. Questo piano ideale, composto dalle sole coordinate X e Z, permette di misurare le variazioni dei punti nella loro componente Y, associando a queste variazioni un colore specifico in una scala cromatica. Le informazioni tridimensionali ottenute consentono di analizzare e individuare le deformazioni sulle superfici. Questo processo non solo permette di valutare le problematiche che interessano un manufatto architettonico al momento del rilievo, ma fornisce anche informazioni sulle dinamiche legate alla storia costruttiva e sismica dell'edificio. In questo contesto, la registrazione accurata



Fig. 1 – Elevation map di una porzione di fronte stradale di via Pendola nel centro storico di Siena. Nell'elaborato vengono evidenziate le deformazioni della struttura mediante una scala cromatica di riferimento (dove il rosso rappresenta le porzioni maggiormente deformate e il verde quelle meno interessate dagli spostamenti).

delle deformazioni e delle fessurazioni è fondamentale per comprendere l'evoluzione del manufatto, le sue trasformazioni e i dissesti, e quindi le dinamiche che influenzano le decisioni di intervento e di trasformazione del complesso architettonico.

Nel progetto PROTECT, è stato sperimentato un approccio diverso rispetto alla classica mappa di elevazione descritta precedentemente, che utilizza gradienti di colori. In questo caso, si è adottato un sistema di rappresentazione simile a quello della topografia terrestre, basato su linee (Fig. 2). Questo tipo di documentazione consente di individuare e schematizzare tutti i punti sulla



Fig. 2 – Elevation map sviluppato all'interno del progetto PROTECT per una porzione di via Pendola nel centro storico di Siena. In questo prodotto è possibile non solo apprezzare le deformazioni della superficie esterna del fronte stradale, ma anche quantificare nel dettaglio gli spostamenti e proporre linee di propagazione che possano descrivere al meglio ogni singola deformazione (le isoipse che rappresentano le deformazioni sono impostate su un Delta di 2 cm).

superficie analizzata, associandoli a un determinato Delta. La principale differenza di questo metodo, applicato agli edifici anziché al terreno, è la scala di rappresentazione: nel caso del terreno, le linee sono impostate con un passo al metro, mentre nel caso degli edifici il passo è al centimetro. Questa modalità, applicata alla scala più dettagliata, permette di definire e delimitare ogni area di un fronte di edificio che presenta lo stesso tipo di spostamento, generando una mappatura quotata a curve di livello che descrive in modo preciso le deformazioni. Il vantaggio di utilizzare questa specifica applicazione degli Elevation Maps consiste nell'individuare con precisione l'estensione di

ogni isostatica, che rappresenta l'entità esatta di ogni singola deformazione superficiale. Ciò consente di documentare l'andamento e la misura di ogni singolo dissesto visibile sulla muratura analizzata.

## *2.2 L'analisi archeosismologica*

L'analisi archeosismologica applicata all'edilizia storica impiega gli strumenti che l'archeologia dell'architettura ha perfezionato nel corso degli ultimi decenni, adattandoli alle necessità di questo campo disciplinare (BROGIOLO, CAGNANA 2012). Le metodologie tradizionali sono state riviste e adattate per determinare la prassi operativa più idonea al contesto e agli obiettivi dell'indagine (ARRIGHETTI 2015). Per quanto riguarda i centri storici, caratterizzati da edifici stratigraficamente molto complessi, per proporre una corretta lettura archeosismologica, a nostro parere risulta essenziale organizzare e semplificare la vasta quantità di dati che caratterizza un complesso architettonico. Pertanto, lo studio deve prevedere una selezione delle unità di riferimento nello studio, proponendo una prima suddivisione in corpi di fabbrica (CF), che dunque ci permetta di esaminare le relazioni tra le diverse strutture e di stabilire una sequenza cronologica. A questo segue un maggiore livello di dettaglio attraverso una lettura stratigrafica basata sulle unità stratigrafiche murarie (USM). In questo modo vengono identificate le diverse azioni costruttive che compongono la stratificazione degli edifici, collegando queste ultime alle modifiche strutturali e ai danni che hanno alterato l'aspetto e la struttura delle fabbriche. Mediante la proposizione di una cronologia relativa dei CF e delle USM, è quindi possibile estrapolare i dati essenziali per proporre una documentazione archeosismologica delle facciate stradali sufficientemente approfondita.

La sperimentazione effettuata su Siena ci ha permesso dunque di elaborare un metodo che prevedesse un utilizzo di strumenti, tecniche e tecnologie adattate alle esigenze dell'indagine. Ad esempio, le evidenze sono state documentate attraverso sistemi di schedatura composti da pochi campi, realizzati ad hoc per questo tipo di analisi. Inoltre, dal punto di vista metodologico, per noi è risultato superfluo compilare le schede delle singole USM o delineare le attività e le fasi costruttive. Questi dettagli, oltre a non fornire informazioni rilevanti per l'indagine archeosismologica, avrebbero rallentato notevolmente i tempi necessari per completare la ricerca. Tra gli approcci analitici più adatti alla sistematizzazione dei dati, è invece risultato fondamentale la caratterizzazione delle tecniche costruttive murarie, sia tradizionali che post-sismiche.

## *2.3 La caratterizzazione delle tecniche costruttive tradizionali e post-sismiche*

La documentazione delle tecniche costruttive consente di registrare specifiche peculiarità di ogni muratura, sia in termini di composizione materiale,

costruttiva e meccanica, sia per quanto riguarda il loro profilo storico-archeologico. Tale analisi favorisce un approccio evolutivo, legato a un'indagine crono-tipologica territoriale. Da un lato, permette di associare particolari sistemi costruttivi a specifici periodi storici, dall'altro offre la possibilità di confrontare tali mutamenti con i contesti sociali, politici ed economici in cui si verificano. Utilizzando questo metodo in aree a rischio sismico, emergono riflessioni significative sull'evoluzione tecnologica in relazione alle abilità tecniche e alle specifiche committenze e maestranze locali. Questo legame tra l'uso di determinati materiali e le scelte tecniche e operative è strettamente connesso alle esigenze dettate dalle dinamiche di emergenza o dalle fasi di ricostruzione (CORREIA *et al.* 2015; ARRIGHETTI 2016; ALBERTI *et al.* 2019). In quest'ultimo scenario, spesso si osserva la volontà di sperimentare nuove soluzioni, che possono essere varianti più o meno complesse delle tecniche tradizionali, di origine autoctona o importata, volte a sviluppare culture costruttive mirate a contrastare o mitigare gli effetti dei nuovi eventi sismici. Tali sistemi costruttivi possono rimanere inalterati in specifiche aree per un breve o lungo periodo, talvolta perdendo la loro funzione originaria (ARRIGHETTI, MINUTOLI 2019).

Dal punto di vista operativo, la documentazione delle tecniche costruttive si svolge in concomitanza con un'analisi archeologica delle murature, a seguito della scomposizione della struttura materiale dell'edificio nelle Unità Stratigrafiche Murarie di riferimento. La documentazione di queste informazioni avviene attraverso una schedatura specifica che ne garantisce una registrazione dettagliata sia in termini quantitativi che qualitativi, integrando questi elementi nel processo di indagine stratigrafica dell'edificio. L'obiettivo principale è quindi collegare tali interventi all'evoluzione storico-costruttiva dell'edificio e interpretarli in relazione a una conoscenza archeosismologica del bene. Le tecniche post-sismiche identificate sono catalogate all'interno di un database digitale chiamato OPUR (Outil Pour Unités de Réparation / Strumento per unità di riparazione), sviluppato all'interno del progetto RECAP (Reconstruire après un tremblement de terre. Expériences antiques et innovations à Pompéi / Ricostruzione dopo un terremoto: antiche esperienze e innovazioni a Pompei) da un gruppo di ricercatori dell'École Normale Supérieure - Université PSL di Parigi. Inizialmente progettato per documentare le tecniche di riparazione post-sismica osservate nel sito archeologico di Pompei (DESSALES, TRICOCHÉ 2018; DESSALES 2022), il database è stato successivamente testato e attualmente è in fase di aggiornamento attraverso il progetto PROTECT (ARRIGHETTI *et al.* 2022).

#### 2.4 *L'integrazione delle analisi: le “mappe del dissesto stratificato”*

Come precedentemente evidenziato, l'uso di tecnologie avanzate per la creazione di nuvole di punti consente una dettagliata registrazione tridimensionale delle strutture, offrendo un'analisi e una documentazione di vari



Fig. 3 – Mappa del dissesto stratificato. Si tratta di un elaborato che utilizza come base la Elevation Map sviluppata nel progetto PROTECT alla quale vengono sovrapposti e relazionati altri tipi di informazioni, quali: la lettura archeologica del fronte stradale realizzata per USM (linee blu), il quadro fessurativo (linee rosse), le tecniche costruttive non tradizionali (linee nere).

fenomeni di degrado e il controllo delle problematiche strutturali che affliggono gli edifici. Integrando tali dati con le numerose informazioni ottenute dalla lettura archeosismologica, si raggiunge una profonda comprensione dell'edificio in questione. Questo conduce alla determinazione della sua evoluzione costruttiva, meccanica e sismica. Ma come sintetizzare queste informazioni in un prodotto bidimensionale? L'obiettivo è non solo di identificare le fasi di costruzione e degrado degli edifici e di condurre un'analisi strutturale dettagliata, ma anche di combinare questi dati per offrire una rappresentazione temporale dei danni occorsi nel corso del tempo e ancora in corso, collegando i risultati alla documentazione storica e sismologica della zona. Attraverso

L'utilizzo dei dati disponibili e la documentazione derivante dalle suddette analisi, è stato dunque sviluppato il concetto di “mappe del degrado stratificato” (Fig. 3). Questi documenti uniscono l'analisi archeologica dell'edificio ai suoi principali danni, evidenziati dai segni di fessurazione e deformazione. In queste rappresentazioni si presta attenzione non solo al “perché”, al “come” e al “dove” il degrado si è manifestato, ma anche al “quando” è avvenuto l'evento o gli eventi e alla loro correlazione con la stratigrafia dell'edificio. Di conseguenza, si ottiene una visione temporale degli elementi che compongono la storia dell'edificio, fornendo informazioni cruciali sia dal punto di vista temporale (quando si è manifestato o modificato un danno), sia interpretativo (quali sono le cause che hanno portato al danno), sia operativo (il danno è ancora in corso o ci sono fattori che ne hanno stabilito un nuovo equilibrio statico). Le “mappe del degrado stratificato” rappresentano quindi un compendio di informazioni di vario tipo (storico-archeologiche, architettoniche, strutturali) strettamente interconnesse, rivelando elementi fondamentali come base di conoscenza per le attività storico-archeologiche e per le decisioni progettuali e tecniche.

### 3. L'APPLICAZIONE SUL CAMPO

#### 3.1 *Il contesto di studio: il centro storico di Siena*

Il centro di Siena è stato selezionato come caso studio per l'implementazione del progetto PROTECT. Questa città, situata nel sud della Toscana, è stata inserita dall'Unesco nella lista dei siti patrimonio dell'umanità nel 1995. Storicamente, sia la città che la regione circostante sono state colpite da numerosi eventi sismici. I dati sismologici elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, con l'ultima edizione nota come Database Macrosismico Italiano – DBMI15 (LOCATI *et al.* 2016), mostrano una storia sismica di Siena con oltre 145 eventi documentati dal 1300 ad oggi (Fig. 4). Di questi, almeno 6 hanno causato danni significativi agli edifici cittadini, classificati come VII grado sulla scala Mercalli-Cancani-Sieberg. Come evidenziato da Castelli (CASTELLI 2009, 2016), nel corso dei secoli, si possono distinguere due tipologie principali di eventi sismici:

1. Sciami sismici: caratterizzati da un susseguirsi prolungato (settimane o mesi) di numerose scosse di bassa o moderata intensità.
2. Episodi sismici isolati: terremoti con una maggiore energia, che si verificano nei giorni immediatamente successivi a scosse di minore intensità.

La maggior parte di questi eventi ha influenzato la struttura fisica degli edifici, sebbene non tutti con caratteristiche evidenti che possono essere identificate e documentate oggi attraverso l'analisi dei palinsesti murari.



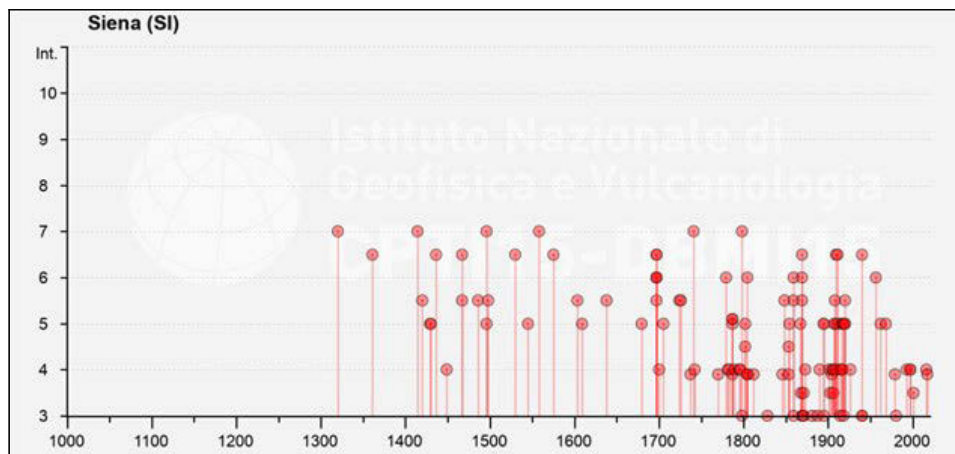


Fig. 4 – Storia sismica di Siena (fonte: sito internet INGV).

### *3.2 L'analisi dei fronti stradali*

A causa del limitato tempo a disposizione, non è stato possibile considerare l'intero centro storico di Siena come caso studio. Il primo stadio della ricerca ha pertanto consistito in una ricognizione delle strade cittadine, mirata a individuare quelle che archeologicamente e sismicamente mostravano caratteristiche in linea con gli obiettivi del progetto. Si è focalizzato l'interesse su aree della città che presentavano edifici con componenti materiali facilmente leggibili dal punto di vista archeologico e che, al contempo, mostravano segni evidenti di dissesti o danni forse dovuti a eventi sismici. Due aree specifiche sono state individuate: via Pendola nel Terzo di Città e via Fontebrande, in particolare il tratto compreso tra via di Città e via Diacceto, nel Terzo di San Martino. Questi segmenti stradali, lunghi circa 100 m, sono stati esplorati utilizzando diverse tecniche di acquisizione dati e interpretazione dei palinsesti. Per la raccolta dati, sono stati utilizzati sia laser scanner terrestri mobili che tradizionali, completati da rilievi fotogrammetrici sia da terra che con l'ausilio di droni.

Dalle prime analisi delle nuvole di punti ottenute dai laser scanner, è emerso che lo strumento mobile di tipo SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), sebbene rapido nella raccolta dati, non forniva una precisione adeguata per un'analisi archeologica dettagliata. Questa limitazione era probabilmente dovuta all'uso di sensori di prossimità meno sofisticati e precisi rispetto ai modelli di scanner terrestri, e al fenomeno noto come "drift", ovvero l'accumulo di errori durante le acquisizioni sul campo. A causa del rumore e dell'omissione di alcune aree, lo SLAM non ha fornito una base di dati

morfo-metrica adeguata alla documentazione archeologica. Di conseguenza, la scelta è ricaduta sull'utilizzo del laser scanner a differenza di fase, noto per la sua precisione con errori di misurazione inferiori a 0,1 mm.

Dal punto di vista operativo, il progetto di rilievo del fronte di via Pendola tramite Laser Scanner 3D è stato concepito per catturare tutti i dati necessari con il minor numero di scansioni possibile (circa 20). Questo metodo di rilievo rapido, già testato in altri contesti urbani sia in Italia che all'estero, ha permesso di ottimizzare sia i tempi di rilievo sul campo che quelli di elaborazione e documentazione dei dati, semplificando l'intero processo di lavoro. Dopo la fase di acquisizione, è stato creato un modello 3D del fronte stradale che ha evidenziato la complessa geometria della zona, sia in termini di elevazione che di dimensioni degli edifici, e la variazione nella conservazione degli edifici stessi. Un esempio tangibile di questo è il marcato deterioramento dei paramenti murari e la disgregazione dei mattoni di cui sono composti. Queste osservazioni, già identificabili attraverso un'analisi sul campo, sono state ulteriormente chiarite dai modelli elaborati. Le mappe di elevazione hanno mostrato distintamente varie deformazioni lungo l'intera estensione del fronte. Sui modelli elaborati sono state sovrapposte le analisi archeologiche delle murature, con un approfondimento basato sull'analisi delle Unità Stratigrafiche Murarie. Considerando, ad esempio, il complesso architettonico di via Pendola, è stata applicata una metodologia precedentemente sperimentata. Questo studio ha inizialmente suddiviso l'organismo architettonico in 7 corpi di fabbrica, di cui uno suddiviso ulteriormente in tre parti. Una parte significativa non è stata inclusa nell'indagine, essendo completamente intonacata e quindi non leggibile dal punto di vista archeologico.

Dopo questa prima semplificazione e la verifica dei rapporti fisici tra i diversi corpi di fabbrica, l'analisi è proseguita con maggiore dettaglio. È stata condotta un'analisi per Unità Stratigrafiche Murarie (USM), identificando 1400 azioni costruttive e distruttive che hanno evidenziato la complessità e la stratificazione delle diverse componenti architettoniche. Il fronte di via Pendola si presenta, infatti, come un complesso architettonico articolato e variegato. Le tracce archeologiche documentate mostrano una storia costruttiva ricca di eventi, sia antropici che naturali, che nel corso dei secoli hanno portato a crolli, ricostruzioni e riadattamenti. Le trasformazioni nel tempo sono evidenziate, ad esempio, dai successivi tamponamenti di finestre e dalla realizzazione di nuove aperture che delineano le varie parti del complesso architettonico. Le azioni costruttive identificate sono state infine collegate ai danni e ai dissesti che hanno interessato gli edifici, rendendo necessari interventi di consolidamento come l'installazione di 38 presidi attualmente visibili. Tra le tecniche post-sismiche documentate troviamo: catene in pietra e ferro, contrafforti, archi di scarico e interventi di tamponamento che hanno comportato la chiusura di aperture lungo l'intero complesso architettonico.

Sulla base dell'analisi stratigrafica effettuata, sono state infine identificate 29 tecniche costruttive murarie tradizionali (TCM). Queste tecniche sono state analizzate attraverso sistemi di schedatura specifici, che hanno permesso di organizzare le molteplici informazioni relative alle tecnologie utilizzate dai lavoratori nel corso dei secoli.

#### 4. CONCLUSIONI

La necessità di intervenire in situazioni di emergenza, ad esempio dopo eventi sismici, oppure in condizioni piuttosto vincolanti dal punto di vista economico o ambientale, spesso richiede di ottenere risultati di qualità in tempi limitati. Una parte essenziale del progetto PROTECT sviluppato su via Pendola e via Fontebranda è stata progettata con questo obiettivo, documentando fronti stradali di 100 m con una complessa stratificazione, calcolando accuratamente il tempo e le risorse necessarie per il completamento del lavoro e il tipo di dati ottenuti. In questi contesti, in circa 20 giorni di lavoro, un team di tre persone, composto da due archeologi e un rilevatore, ha completato una mappatura dettagliata della geometria del fronte stradale e ha condotto un'analisi archeologica, materica e costruttiva. Sono stati registrati i quadri fessurativi e deformativi, la stratigrafia e le tecniche costruttive tradizionali e post-sismiche utilizzando strumenti digitali e documentazione cartacea. È stata inoltre valutata la qualità dei dati raccolti confrontando diverse metodologie di acquisizione.

La fase di sperimentazione del protocollo proposto dal progetto PROTECT ha portato a diverse riflessioni per identificare gli strumenti più adatti agli obiettivi della ricerca, evitando quelli che avrebbero prolungato eccessivamente il processo di lavoro senza migliorare la qualità dei risultati. Ad esempio, è stata abbandonata l'idea di determinare le attività e le fasi costruttive, dettagli che si sono rivelati non essenziali per l'analisi archeosismologica in un contesto come quello studiato ma invece inseriti in analisi di dettaglio come quella svolta sulla chiesa di Sant'Agostino. Si tratta quindi di un primo tentativo di applicare un approccio operativo archeosismologico efficiente, nato dalla combinazione di discipline umanistiche e scientifiche. Questo metodo, ricco di dati sia qualitativi che quantitativi, è fondamentale per la complessa operazione di ricostruzione della storia costruttiva e meccanica degli edifici storici e per la valutazione dello stato di conservazione delle strutture presenti nei centri storici.

La registrazione dei dissesti degli edifici mediante queste tecniche è fondamentale per qualsiasi analisi strutturale, soprattutto in ambito archeologico, dove l'uso di strumenti diagnostici invasivi può essere impraticabile. Questo approccio permette di identificare con precisione e rapidità eventuali problemi strutturali dell'edificio, consentendo interventi tempestivi per garantire la sua

sicurezza. Inoltre, questa metodologia può essere adottata per monitorare nel tempo l'evoluzione dei dissesti, valutando l'efficacia delle misure di riparazione e prevenzione. Questa informazione offre un duplice vantaggio: da un punto di vista conoscitivo, consente di correlare la stratigrafia a specifici danni e dissesti, fornendo una prima interpretazione degli effetti dei terremoti sugli edifici e fornendo dati preliminari per ulteriori approfondimenti in relazione alle fonti scritte. Dall'altro lato, facilita la comprensione dello stato di conservazione delle architetture analizzate, utilizzabile per la pianificazione di interventi adeguati, con una scala di priorità differenziata per ogni singola parte dell'edificio.

ANDREA ARRIGHETTI

AOROC - Archéologie et Philologie d'Orient et d'Occident  
École normale supérieure - Université PSL  
andrea.arrighetti@ens.psl.eu

Dipartimento di Scienze Storiche e dei Beni Culturali  
Università degli Studi di Siena  
andrea.arrighetti@unisi.it

MARCO REPOLE

ERFS - Epigraphy and Research Field School  
marco.repole@gmail.com

### *Ringraziamenti*

Il progetto "PROTECT - Knowledge for PReventiOn. Technique for repairing seismic damage from medieval period To modern era", il cui responsabile scientifico è il dott. Andrea Arrighetti, è stato finanziato attraverso il programma Horizon 2020 – Ricerca e Innovazione dell'Unione Europea con una Marie Skłodowska-Curie (grant agreement No. 101018762). Sito web del progetto: [www.protect.altervista.org/](http://www.protect.altervista.org/).

Ringraziamo il Prof. Giovanni Pancani e il Prof. Giovanni Minutoli del Dipartimento di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze e l'Arch. Gianluca Fenili per il supporto nelle fasi di rilievo e restituzione dei dati da laser scanner e fotogrammetrici. Ringraziamo inoltre la Prof.ssa Giovanna Bianchi dell'Università degli Studi di Siena e gli studenti del corso di Archeologia dell'Architettura per aver contribuito operativamente alle analisi archeologiche effettuate sul campo.

### BIBLIOGRAFIA

- ALBERTI L., AZZARA R.M., CLEMENTE P. (eds.) 2019, *Lessons from the past: The evolution of seismic protection techniques in the history of building*, «Annals of Geophysics», 62, 3.
- ARRIGHETTI A. 2015, *L'archeosismologia in architettura. Per un manuale*, Firenze, Firenze University Press (<http://dx.doi.org/10.36253/978-88-6655-814-9>).
- ARRIGHETTI A. 2016, *Materiali e tecniche costruttive del Mugello tra basso Medioevo e prima età moderna*, «Arqueologia de la Arquitectura», 13 (<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2016.001>).
- ARRIGHETTI A. 2023, *PROTECT. Un progetto di archeosismologia per la città di Siena*, in

- A. ARRIGHETTI (ed.), *Siena e i terremoti. Punti di vista multidisciplinari per una lettura archeosismologica del centro storico*, Biblioteca di Archeologia dell'Architettura, vol. 8, Sesto Fiorentino (FI), All'Insegna del Giglio, 15-26 (<https://doi.org/10.36153/baa8>).
- ARRIGHETTI A., MINUTOLI G. 2019, *A multidisciplinary approach to document and analyze seismic protection techniques in Mugello from the Middle Ages to Early Modern Time*, «Annals of Geophysics», 62, 3 (<https://doi.org/10.4401/ag-7991>).
- ARRIGHETTI A., RAZZANTE V., DESSALES H. 2022, *Archaeology and earthquakes in Siena (Italy). Preliminary data from the survey of the historical buildings of the Terzo di Città*, «Restauro Archeologico», 1, 14-31 (<https://doi.org/10.36253/rar-13099>).
- BROGIOLO G.P., CAGNANA A. 2012, *Archeologia dell'architettura. Metodi e interpretazioni*, Sesto Fiorentino (FI), All'Insegna del Giglio.
- CASTELLI V. 2009, *Ricordarsi del terremoto. Tracce senesi di una "memoria sismica collettiva"*, «Bullettino Senese di Storia Patria», 116, 316-346.
- CASTELLI V. 2016, *I terremoti nella storia: 26 maggio 1798, un terremoto di fine secolo XVIII a Siena*, INGV (<https://ingvterremoti.com/2016/05/26/i-terremoti-nella-storia-26-maggio-1798-un-terremoto-di-fine-secolo-xviii-a-siena>).
- CORREIA M., LOURENCO P.B., VARUM H. (eds.) 2015, *Seismic Retrofitting. Learning from Vernacular Architecture*, London, Taylor and Francis Group.
- DESSALES H. 2022, *Ricostruire dopo un terremoto. Riparazioni antiche a Pompei*, Napoli, Centre Jean Bérard.
- DESSALES H., TRICOCHE A. 2018, *Un database per studiare le riparazioni post-sismiche*, «Archeologia dell'Architettura», 23, 19-24.
- GUIDOBONI E., EBEL J.E. 2009, *Earthquakes and Tsunamis in the Past: A Guide to Techniques in Historical Seismology*, Cambridge, Cambridge University Press.
- LOCATI M., CAMASSI R., ROVIDA A., ERCOLANI E., BERNARDINI F., CASTELLI V., CARACCIOLLO C.H., TERTULLIANI A., ROSSI A., AZZARO R., D'AMICO S., CONTE S., ROCCHETTI E. 2016, *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macro seismic Database*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>).

## ABSTRACT

The project PROTECT - Knowledge for PREventiOn. Technique for repairing seismic damage from medieval period To modern era is a research funded by the European Union's Horizon 2020 programme. The aim of the project was to develop an operational protocol for historic centres based on the application of multidisciplinary analyses that offer the opportunity to document buildings, street facades, aggregates and urban centres at an archaeoseismological level according to methodological criteria defined by the project's research objectives. One of the results obtained from the experimentation of this approach has been the proposal of an archaeoseismological analysis with an expeditious character. This is an archaeological study that allows a general knowledge of very complex elements from a stratigraphic point of view, such as aggregates or street fronts of alleys, while providing a database to formulate hypotheses on their state of preservation and vulnerability.

