

ARCHEOLOGIA PUBBLICA

# L'archeosismologia in architettura

Per un manuale

ANDREA ARRIGHETTI



STRUMENTI  
PER LA DIDATTICA E LA RICERCA

– 168 –

## ARCHEOLOGIA PUBBLICA

### *Comitato di redazione*

Guido Vannini (direzione), Chiara Bonacchi, Angela Corolla, Marianna De Falco, Ismail Garcia, Caterina Giostra, Paolo Giulierini, Chiara Molducci, Michele Nucciotti

### *Comitato Scientifico*

Ignacio Arce, Agustin Azkarate, Marco Bellandi, Giovanna Bianchi, Chiara Bonacchi, Andrzej Buko, Aurora Cagnana, Franco Cardini, Armando De Guio, Alberto Del Bimbo, Dario Di Blasi, Paolo Liverani, Stefania Mazzoni, Serge Noiret, Michele Nucciotti, Marinella Pasquinucci, Paolo Peduto, Piero Pruneti, Andreina Ricci, Francesco Salvestrini, Tim Shadla-Hall, Guido Vannini, Giuliano Volpe

### *Volumi pubblicati*

1. *Archeologia Pubblica in Toscana. Un progetto e una proposta*, a cura di G. Vannini, 2011.
2. *L'archeosismologia in architettura. Per un manuale*, Andrea Arrighetti, 2015

*Archeologia Pubblica come attualizzazione della vocazione d'origine della Disciplina a spendersi nella propria contemporaneità e come declinazione nazionale di recenti esperienze anglosassoni fra economia, governance, comunicazione, identità dei BBCC archeologici e delle comunità sociali di riferimento. Applicazioni della ricerca archeologica come condivisione di progetti 'sostenibili' con diversi soggetti, pubblici e privati, della società civile e come sostegno alla ricerca pura. Archeologia Pubblica come contributo ad un riposizionamento della ricerca accademica di settore nell'attuale società in crisi e, propositivamente, al suo superamento in un'ottica di ricomposizione dei saperi scientifici tutti.*

*La serie che qui si apre, in una sede editoriale non a caso universitaria, vuole mettere a disposizione uno spazio sia di riflessione che di diffusione di iniziative che abbiano questi caratteri e si pongano questi obiettivi ed è aperta ai contributi di quanti – non solo archeologi ma a chi, a vario titolo, si occupa di BBCC archeologici (architetti, urbanisti, storici, ma anche amministratori, funzionari, imprenditori) – hanno modo o intenzione di impostare la loro attività coniugando programmi di ricerca scientifica con una progettualità che ne metta a disposizione risultati e strumenti per la comunità.*

Andrea Arrighetti

**L'archeosismologia  
in architettura**

Per un manuale

Firenze University Press  
2015

L'archeosismologia in architettura : per un manuale / Andrea Arrighetti. – Firenze : Firenze University Press, 2015.  
(Strumenti per la didattica e la ricerca ; 168)

<http://digital.casalini.it/9788866558149>

ISBN 978-88-6655-813-2 (print)

ISBN 978-88-6655-814-9 (online PDF)

ISBN 978-88-6655-815-6 (online EPUB)

Progetto grafico di Alberto Pizarro Fernández, Pagina Maestra snc  
In copertina: Borgo San Lorenzo, una via del centro alcuni giorni  
dopo il sisma del 1919 (Fonte: Castenetto, Sebastiano 2004).

*Certificazione scientifica delle Opere*

Tutti i volumi pubblicati sono soggetti ad un processo di referaggio esterno di cui sono responsabili il Consiglio editoriale della FUP e i Consigli scientifici delle singole collane. Le opere pubblicate nel catalogo della FUP sono valutate e approvate dal Consiglio editoriale della casa editrice. Per una descrizione più analitica del processo di referaggio si rimanda ai documenti ufficiali pubblicati sul catalogo on-line della casa editrice ([www.fupress.com](http://www.fupress.com)).

*Consiglio editoriale Firenze University Press*

G. Nigro (Coordinatore), M.T. Bartoli, M. Boddi, R. Casalbuoni, C. Ciappei, R. Del Punta, A. Dolfi, V. Fargion, S. Ferrone, M. Garzaniti, P. Guarnieri, A. Mariani, M. Marini, A. Novelli, M. Verga, A. Zorzi.

© 2015 Firenze University Press  
Università degli Studi di Firenze  
Firenze University Press  
Borgo Albizi, 28, 50122 Firenze, Italy  
[www.fupress.com](http://www.fupress.com)  
Printed in Italy

*A Letizia e al piccolo Leonardo*



# Indice

RINGRAZIAMENTI	9
PRESENTAZIONE <i>Guido Vannini, Roberto Parenti, Francesco Doglioni</i>	11
INTRODUZIONE	33
PARTE PRIMA Metodologia della ricerca archeosismologica	
CAPITOLO 1 Mappe, basi di dati, abachi, atlanti: introduzione all'uso degli strumenti indiretti	41
CAPITOLO 2 Archeosismologia	83
PARTE SECONDA Applicazione sul campo	
CAPITOLO 3 Il progetto <i>Archeologia dell'architettura e rischio sismico in Mugello</i>	121
CONCLUSIONI	187
FONTI E BIBLIOGRAFIA	191
TAVOLE A COLORI	207



## Ringraziamenti

La realizzazione di questo lavoro ha previsto il confronto con numerosi professionisti, docenti e ricercatori italiani ed internazionali che hanno contribuito, in relazione al proprio settore di appartenenza, a migliorare ed innovare costantemente il progetto, ampliandone gli orizzonti e le potenzialità.

Per la parte archeologica, ed in particolare per i suggerimenti in merito all'approccio allo studio e le puntuali osservazioni critiche di ogni passo della ricerca: il Prof. Guido Vannini dell'Università degli Studi di Firenze, supervisore del progetto di dottorato; il Prof. Roberto Parenti dell'Università degli Studi di Siena; il prof. Fabio Redi dell'Università degli Studi dell'Aquila; il prof. Paolo Peduto dell'Università degli Studi di Salerno.

Per la parte sul rilievo e sulle potenzialità delle nuove tecnologie per l'archeosismologia: il Prof. Stefano Bertocci dell'Università degli Studi di Firenze; l'Arch. Rachele Manganelli del Fa dell'ICVBC del CNR di Firenze.

Per gli aspetti legati alla geologia, geomorfologia e sismotettonica del territorio in relazione alle attività sismiche e all'utilizzo dei materiali da costruzione: il Prof. Fabio Fratini dell'ICVBC del CNR di Firenze; il Dott. Riccardo Maria Azzara dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Per gli aspetti legati alla ricerca storica, sia sismologica che archivistica e bibliografica: il Prof. Francesco Salvestrini dell'Università degli Studi di Firenze; il Prof. Gerrit Jasper Schenk dell'Università di Darmstadt; il Dott. Fabrizio Galadini e la Dott.ssa Viviana Castelli dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Per le relazioni fra le dinamiche di dissesto degli edifici e i caratteri della sismicità del territorio: il Prof. Francesco Doglioni dell'IUAV di Venezia; l'Arch. Giovanni Minutoli dell'Università degli Studi di Firenze; il Prof. Mauro Sassu dell'Università degli Studi di Pisa.



**Guido Vannini**  
**(Università degli Studi di Firenze)**

Mi trovo nella difficile situazione di giustificare la presenza di un testo a carattere manualistico, sia pure (almeno...) archeologico, in una collana dedicata all'archeologia pubblica; qualche ragione c'è, ma vorrei arrivarci fra un paio di pagine.

Non prima di avere detto che si tratta di un'opera matura e meditata, frutto di un lungo percorso che, con coerenza e 'mettendo insieme i pezzi', l'autore ha effettuato formando nel contempo le basi della sua stessa competenza e giungendo ad acquisire una specializzazione avanzata in un settore che – se certo ha radici scientifiche, comunque recenti – può ora presentarsi con i crismi di una sostanziale novità disciplinare. Un approccio che, se lo si immagina come un edificio (prima di un sisma...), appare costruito magari con mattoni vecchi – con una serie di settori disciplinari, recenti e no, già tutti collaudati: sismologia, geologia, archeologia, architettura, ingegneria, storia, antropologia; e archeologia dell'architettura, territoriale, 'leggera'... – ma in cui l'elemento nuovo consiste nel progetto come tale. Non poco, mi pare.

Diceva Andrea, alla fine della sua fatica (e non si tratta di una metafora: la prima parte del volume ha comportato migliaia di chilometri in auto o ferrovia – specialisti diversi incontrati a Firenze, Siena, L'Aquila, Pisa, Venezia, Roma, Salerno...; la seconda, peggio, un centinaio? due? di chilometri a piedi percorrendo il Mugello in lungo ed in largo, sempre con appresso un difficile bagaglio di strumentazioni): «ma non sarà azzardato chiamarlo "manuale"?». Bene, credo che per considerarlo tale occorra 'solo' che quanto qui – con sistematicità appunto manualistica – è discusso, ordinato, costruito e, infine, sperimentato in un laboratorio grande quanto

il Mugello, debba essere semplicemente applicato, attraverso quell'ampia casistica necessaria per consolidare prassi, tecniche, soluzioni, da cui poi trarre, appunto, un 'manuale per l'uso'. Allora è un trattato (perché questo è il termine) utile, appunto 'per' un futuro manuale che, senza di esso, non potrebbe essere scritto. Almeno con gli obbiettivi, ambiziosi ma ora realistici, che l'autore ci indicherà nelle pagine che seguono.

Cosa trattano queste pagine? In fondo, la definizione di un nuovo settore disciplinare (attenzione non una tecnica), l'archeosismica. Per un verso una disciplina ad alta intensità tecnica; in realtà, nei suoi effetti, anche una possibile 'scienza sociale' (quindi con una incidenza non solo territoriale ma appunto sociale, fin qui insospettata, almeno nella portata che da questo scritto, in modo convincente, emerge). Certo appartenenza 'genetica' e origine appartengono senza alcun dubbio all'archeologia dell'architettura'. Qui colgo ancora occasione per confermare che la definizione che Giampietro Brogiolo coniò tre decenni fa ('archeologia dell'edilizia storica') mi convince di più, come anche la più sbrigativa 'archeologia degli elevati', che intende affiancare alla dimensione orizzontale (archeologia dei paesaggi) ed in profondità (lo scavo classico) appunto la dimensione verticale, ricomponendo così l'ambiente come scenario unitario per la lettura, comunque 'stratigrafica', peculiare di ogni prassi archeologica, seppure declinata diversamente (e con propri strumenti di registrazione, ma tutti iscritti a sistema). Coerentemente peraltro alla prima intuizione di Tiziano Mannoni (sempre lui!), infatti, si tratta di una metodologia archeologica (prima di ogni altra cosa) che si proponeva prioritariamente di conferire identità, leggibilità e storia proprio all'edilizia 'senza tempo', non connotata stilisticamente o in altro modo; ma mi arrendo all'impatto oramai definitivo della denominazione della Rivista di riferimento, appunto «Archeologia dell'Architettura». Ma se questa 'archeosismologia' di qui parte – così come dalle esperienze che, fino dai primi lustri (se non anni: la definizione del tema di Mannoni risale a prima del 1975), dai tardi anni Ottanta, furono riferite a censimenti ed apporti proprio centrati sul problema di impatto e 'segnì' su edifici storici prodotti da eventi sismici – in realtà esplica le sue migliori potenzialità proprio 'uscendo', alla fine, dai muri per 'avventurarsi' nel territorio, dove 'incontra' il resto degli strumenti per la produzione di una storia archeologica non solo di ambienti e paesaggi, ma di epoche: archeologia come lettura spazio-temporale, classicamente ed in un'autentica dimensione storica.

L'archeologia dell'architettura', dunque, come settore strategico 'di partenza'; certo nella specifico (le strutture edili), ma l'apporto, secondo le declinazioni attuali più attente alla dimensione storica (quindi più interessate all'interpretazione dei 'fenomeni', tentando di andare oltre l'analisi, pure fondamentale, di specifici 'episodi'), riguarda non solo le 'emergenze' medievali (e sulle implicazioni del doppio valore semantico del termine – spazio e tempo, ancora, ma direi questa volta sul ruolo civile e pubblico

dell'archeologia – potremmo soffermarci): il Medioevo, allora, come cifra identitaria dei nostri paesaggi e come matrice per una ricostruzione dell'identità anche diacronica delle comunità di riferimento: una traccia per raggiungere e comprendere gli assetti precedenti e come trama per le logiche d'inserimento da parte di chi, su quel certo territorio, il Medioevo ha cronologicamente seguito. L'archeosismica, dunque, nasce certo 'verticale' e non potrebbe essere che così. Questo lavoro (frutto delle elaborazioni in specie condotte in sede di dottorato) ne propone – e le modalità in cui l'autore lo fa costituiscono, mi pare, il reale valore culturale del suo studio – un'estensione sistemica 'orizzontale' al territorio e quindi va ad incrociare specifiche tematiche non solo archeologiche in senso stretto ma, da questo punto di vista, anche squisitamente storiografiche, come il test mugellano credo mostri con chiarezza nella seconda parte. Sotto questo profilo, sul piano del puro approccio di metodo, così come disegnata da Andrea Arrighetti, la sua 'archeosismologia' rientra a pieno titolo (nell'ultima pagina se ne accorge lui stesso...) nelle cosiddette 'archeologie leggere' (che la nostra Scuola fiorentina declina al singolare, puntando alla loro integrazione a sistema, su base archeomatica): paesaggio, ambiente, territorio e, appunto, elevati (con un ruolo specifico dello scavo); un'archeologia per la storia si può sintetizzare, con un percorso che, proprio attraverso questo 'allargamento ambientale' affidato a tale serie di nuovi approcci di metodo, ha consentito (dopo oltre quattro decenni: appunto quelli della rivista del settore, AM) all'archeologia storica, in qualche modo di 'affrancarsi' dall'episodio' (lo scavo, da solo) per mettere direttamente al centro lo studio del 'fenomeno', appunto la dimensione della storia.

La produttività di tale approccio metodologico, dimostrata dal volume, non deriva quindi solo (sulla scorta delle esperienze, pure fondanti, degli anni Ottanta) da una variante dell'archeologia degli elevati ma appare dotata di una specifica autonomia scientifica, con proprie procedure in ordine ad obiettivi ben precisi, qui ridefiniti organicamente a sistema e che investono anche originali procedure metodologiche, certo riprendendo esperienze pregresse, come consueto in questi casi. Obiettivi in grado di contribuire all'interpretazione di accadimenti ed anche di fenomeni storici, ciò che è in parte dimostrato dall'esperienza applicata nella seconda parte e, forse ancora più, si può intuire nelle stesse prospettive che tale proposta apre, dimostrando una straordinaria capacità di produrre una nuova fonte spendibile sul piano della ricerca territoriale; dove, in modo 'naturale', si trova nelle migliori condizioni per incrociare le altre discipline che operano nell'ambiente, nell'ottica della mannoniana 'archeologia globale'. Infatti, la specifica collocazione interdisciplinare – di una interdisciplinarietà non formale o di maniera (come spesso, proprio in archeologia, sappiamo accadere) – 'disegnata' dall'autore attorno alla stessa impostazione dell'archeosismica così intesa, costituisce nel contempo forse uno degli apporti più originali di questo testo e la dimostrazione di una propria centralità di

tale opzione metodologica. Tuttaltro dunque, dicevamo, che una semplice articolazione tecnica all'interno della (oramai) tradizionale 'archeologia dell'architettura', come forse comprensibilmente fin qui considerata. Una collocazione che qualcuno potrebbe considerare velleitaria o almeno solo teorica; ebbene, la seconda parte del volume – quello che, fin qui, potrebbe considerarsi un manuale o, almeno, un concreto tracciato per costruire un manuale di archeosismologia – ne costituisce, sotto questo profilo, la controprova.

L'analisi del caso mugellano, certo non casuale – per essere un incrocio di fenomeni storici di lungo periodo con addensamenti tematici di grande rilievo (Ubalдини); e per costituire da anni oggetto di un progetto strategico d'Ateneo di Firenze per l'archeologia medievale dedicato allo studio delle strutture materiali delle Signorie feudali alle origini della Stato territoriale fiorentino, con cui l'autore ha a lungo interagito (Scarperia, Montaccianico e non solo), proprio con lo scopo di indirizzare le procedure tecniche del 'sistema' che stava elaborando per la costituzione di un'autentica proposta metodologica 'naturalmente' orientata a perseguire anche finalità propriamente storiche – ha consentito di dimostrare in primo luogo la capacità di produrre una nuova fonte storico-archeologica: e in questo senso, una sorprendente e straordinaria controprova è rappresentata dal riconoscimento del terremoto della metà del Duecento. Non solo un risultato della ricerca (come presentato nell'ultimo paragrafo del volume), dunque, ma anche una sorta di prova sperimentale 'di laboratorio' della produttività dell'opzione metodologica proposta; un'opzione che va ben oltre la semplice contestualizzazione di una traccia sismica in un territorio, che ovviamente ha un suo sviluppo (epicentro, onde ondulatorie o sussultorie), ma affronta in termini comparativi le risultanze della propria indagine con i prodotti di altre letture, archeologiche e non, mettendo così in evidenza connotati più ampi e precisi riguardo la stessa struttura ed evoluzione del popolamento, il grado di attrezzatura della società interessata, come anche di contribuire anche per questa via a 'misurare' il suo grado di isolamento o, al contrario, di inserimento in circuiti culturali o di conoscenza, magari variati nel lungo periodo. Esempio di come un approccio archeologico possa integrare la storia sismica nella narrazione di un territorio e della sua comunità.

A proposito della sua destinazione d'uso, se così ci si può esprimere, anche la seconda parte del volume, quindi, pur costituendo il test sperimentale del sistema di registrazione ed elaborazione dei dati prodotto nella prima, è stata redatta con un'esposizione in dettaglio delle procedure anche tecniche adottate all'interno di una comune architettura sistematica, venendo così a costituire una parte utilizzabile manualisticamente anch'essa; e questo, dal campo al laboratorio.

Un'impostazione che si propone dunque una diffusione non solo scientifica (che resta la cifra di fondo, tuttavia), ma anche tecnica (la prima parte ne ha tutta la schematicità che la rende, appunto come un manuale, non

solo leggibile ma consultabile); infine non solo specialistico ma anche predisposto per un uso 'civile' (rivolto alle comunità, ad esempio, per la loro storia ma prima per la loro sicurezza...). Un contributo, questo, che dimostra una non scontata, a priori, capacità di produrre nuovi apporti scientifici, anche qualitativi (ad esempio alla cronologia assoluta per la storia, non solo sismica, del territorio, non solo di fasi edilizie), a quel grande archivio documentario che l'archeologia leggera può produrre (posso testimoniare la meraviglia, qualche lustro fa, di colleghi transalpini che ci avevano invitato a partecipare ad un progetto centrato sullo scavo di una città fra l'età romana ed il primo Medioevo, affidandoci il territorio medievale da indagare appunto con un programma di archeologia leggera, di fronte alla produttività, anche solo di USM, di un'équipe di cinque componenti per dieci giorni a fronte di un complesso di molte decine per una campagna di scavi di tre mesi...). Un percorso che, integrandosi appunto con le altre letture 'leggere', pone solide basi per la costruzione di modelli di interpretazione storica su di una serie di tematismi che, fornendo quadri crono-tipologici, nel momento in cui incrocia altri documenti, altre fonti ed altre competenze, può contribuire in modo peculiare alla comprensione di fenomeni storici anche complessi. In questo contributo, insomma, ci sono premesse e 'sperimentazione': basi per uno sviluppo futuro, ora possibile, in direzione di una 'storia-archeologica territoriale' in senso più scientifico (e non solo 'tecnico', come qui già predisposto). Ben più che 'storia sismica del contesto di studio'! Ma – proprio attraverso la complementarietà tra ricerca stratigrafica nel senso più ampio del termine e ricerca del comportamento strutturale degli edifici, incluso quello sismico, registrato diacronicamente proprio per il contesto territoriale scelto come discriminante metodologica (spazio/tempo, siamo sempre entro le coordinate archeologiche, che poi sono anche quelle storiche...) – si produce una sorta di nuovo 'osservatorio stratigrafico' su eventi, ragioni e interpretazioni attinenti alla storia dell'ambiente (dalle pietre agli uomini, attraverso il territorio) inteso come contesto storico. E, vale appena ricordarlo, gli scenari di applicazione sono i più estesi e vari: certo l'Italia (da un PhD all'Aquila, un segno del destino...) ma, solo per esemplificare, anche il Vicino Oriente; si va dal caso abruzzese di Ocre, un'intera città medievale le cui rovine hanno 'esposto' tutta una cultura antisismica stratificata nel tempo (ad esempio con l'inclusione di travature orizzontali nei setti murari), al prezioso indicatore cronologico assoluto conservato nelle stratificazioni murarie della città di Shawbak fondata da Saladino (l'attribuzione precisa è appunto archeosismica) sul riconquistato sito incastellato del Crac de Montréal, fondato da Baldovino I re di Gerusalemme.

Ma, dicevamo all'inizio, perché un tema come questo in una collana dedicata all'archeologia pubblica? Certo che già fin qui ci siamo imbattuti in una serie di aspetti e temi (strutture di comunicazione, rapporti con la società civile, contributi al riconoscimento identitario di comunità resi-

denti) che sono riconosciuti centrali del settore; e questo soprattutto, ciò che è decisivo, muovendo dall'impostazione stessa della ricerca e, quindi, dai 'prodotti' scientifici stessi che tali indagini ottengono. Tuttavia qualche osservazione può essere aggiunta, cercando proprio fra le pagine, fra le principali vorrei dire, di questo trattato. Basterà constatare la dimensione pubblica presupposta da questo approccio 'leggero' della metodologia stratigrafica: la parte del volume dedicata alla diffusione di informazioni, ad esempio, conferisce a questo recente capitolo dell'archeologia, per molti aspetti ancora da scrivere, alcune pagine davvero nuove e tutte da sviluppare. La stessa 'produzione' di nuove fonti, come quelle orali sui 'presidi' antisismici tradizionali o la scelta di lasciare visibili e decifrabili segni in murature di edifici riportano alla necessità di assunzione (e conferimento) di un'autentica responsabilità civile da condividere con le comunità residenti: per la conoscenza del proprio passato certo ma, inscindibilmente, anche per utilizzarlo per scelte, di sicurezza in primo luogo, per il proprio presente-futuro. Opportunità, queste, di assoluta evidenza, come metafora del ruolo sociale poliedrico che, per l'identità concreta di una comunità territoriale, i BBCC e l'approccio archeologico possono costituire: conservazione dei 'segni' in forma leggibile, interiorizzazione delle 'esperienze vissute' nel proprio passato di comunità, integrazione nella storia (e nell'arte, quando il caso...) del proprio ambiente; la 'stratigrafia' dei paesaggi, come traccia per una loro lettura e come possibilità di produrne nuove interpretazioni, in accordo, consapevole e certo selettivo, con la 'sua' memoria: pietre e uomini, un passato per il futuro: così, è retorica? Archeologia e storia pubblica, e della più autentica che, nel linguaggio operativo di Arrighetti, suona:

Nell'ambito dell'Archeologia Pubblica importanti ricadute risiedono nel rapporto fra comunità e amministrazioni cittadine. L'analisi degli edifici in funzione della ricostruzione della storia sismica di un contesto di studio può essere infatti trasformata in uno strumento per sensibilizzare e rendere consapevole la popolazione che vive in un'area a rischio sismico della reale possibilità di fenomeni sismici futuri e dei possibili effetti che questi potrebbero avere sul patrimonio edificato. In accordo con le istituzioni, perciò potrebbero essere proposte visite guidate che integrino la storia costruttiva degli edifici con quella sismica, mostrando materialmente, sotto forma di racconto guidato, gli effetti dei terremoti storici sul contesto nei diversi periodi. Il processo appena descritto permette quindi di evitare il 'rischio dell'eccesso', ovvero da un lato sottovalutare il problema e dall'altro creare allarmismo.

Allora, certo, 'storia sismica', ma questa è a sua volta un mezzo per contribuire ad innervare una storia delle strutture materiali edili di una comunità diffusa su di un ampio territorio e quindi della sua stessa storia; ma anche mezzo per sostanziare quella che anche Andrea definisce «cultura

sismica locale»: un valore da coltivare, così che, ad esempio, le «tracce dei sismi del passato presenti in una costruzione debbano essere trattate alla stregua di preziosi documenti; come tali devono essere conservati con cura, e non semplicemente obliterati», pure dopo averli accuratamente registrati e rilevati, perché possano costituire un legato da fare entrare in un sapere che consenta, insieme alle memorie esperienziali tramandate, di nutrire una cultura diffusa ed organicamente parte di un rapporto con l'ambiente ad un più elevato tasso di razionalità di consapevolezza, procedure e comportamenti. E un'archeologia che incorpori una prassi sismologica potrà mettere in valore una documentazione che – ciò che non sorprenderà in aree ad alta sismicità – è diffusamente attestata in contesti anche molto diversi: basterà, fra l'ampia casistica ricordata dall'autore, pensare ad una delle tecniche antisismiche più ricorrenti in età preindustriale (solo esemplificando all'interno della mia esperienza diretta): gli elementi lignei inclusi all'interno delle strutture murarie per conferire loro un certo grado di flessibilità, attestati in strutture di città bassomedievali (come le trabeazioni interne ai pilastri del Palazzo dei vescovi di Pistoia fra XIII e XIV secolo, all'architrave di una torre mamelucca di fine Duecento a Shawbak o i tronchi di palma inseriti nelle murature del forte ottomano di Aqaba, sempre in Giordania o nel centro rurale di Ocre, che abbiamo già ricordato, ove emerge una sistematicità di impiego di tale tecnica in un lungo periodo medievale che presuppone una tradizione di cantiere ed una consuetudine con il problema ben sedimentate).

In effetti si può osservare, infine, che impostazione dell'opera e taglio manualistico si vengono a collocare, senza alcuna giustapposizione, fra l'indicazione di normative per individuare, valutare, registrare e correlare le tracce archeosismiche di un determinato territorio, con una prassi che coniuga, ad esempio, la raccolta di informazioni in forma di fonte orale raccolta sul posto con – in una sorta di scambio virtuoso – la produzione e messa a disposizione della popolazione locale (oltre che dei 'tecnici' variamente interessati: archeologi, storici, geologi, restauratori, amministratori ecc.) di informazioni ottenute dalla ricerca sul posto come dalla stessa competenza di settore acquisita, ma utili per impostare provvedimenti ben calibrati, in vista di prevenzione antisismica per edifici ma anche di comportamenti razionali a fronte delle emergenze, in modo, dice l'autore, da non sopravvalutare ma neppure ignorare i concreti termini del fenomeno.

Studio per un futuro manuale, dunque, quando le procedure qui indicate ed orientate saranno testate con una casistica congrua e rappresentativa; ma gli elementi ci sono già tutti, per dispiegare la metodologia qui presentata (dopo che nella prima parte si è proceduto ad un'analisi critica di tutti gli strumenti esistenti utili per 'attrezzare' il settore disciplinare di cui si propone la costituzione): dall'inserimento sistematico nelle normative che regolano prevenzione e gestione, sotto diversi profili, del fenomeno, alle procedure sul campo, alla disponibilità di un completo sistema di re-

gistrazione dei dati – con una scelta intelligente in quanto inclusiva sia per le esperienze precedenti che per l'integrazione in repertori di altri settori archeologici già diffusi – che si propone (ad esempio le RDS) come integrazione delle schede esistenti. Gli archivi che ne conseguono non saranno costituiti da 'pacchi' di schede neopositivistiche (e, come l'esperienza ha dimostrato, sostanzialmente inutilizzabili) caratteristica dell'epoca dei retorici e strumentali BBCC archeologici come 'giacimenti' da 'sfruttare'; ma da serie documentarie materiali – integrate da selezioni mirate di altre fonti (qui, per trattare il caso esemplificativo mugellano, ad esempio, spoglio ed utilizzo anche di fonti scritte inedite è considerevole anche in termini assoluti) – calibrate per chiare e specifiche finalità archeologiche, scientifiche e 'pubbliche'. Così solo per esemplificare percorso e prodotti, gli edifici considerati come veri sismometri e archivi dei sismi territoriali del passato (analisi) o *l'Atlante cronotopologico dei presidi antisismici* (sintesi, per l'interpretazione storica).

In chiave di 'archeologia pubblica' vorrei infine osservare che questo contributo, certamente di settore, in tale ottica, contribuisce ad 'invertire' virtuosamente il rapporto, che rischia di consolidarsi quasi istituzionalmente, fra un nuovo settore disciplinare con propri fini ed impostazioni ('creare' progettualità condivise con la società civile per comunicazione, governo e identità dell'Heritage) ed appunto la prassi archeologica; ebbene, creativamente («non fantasia, ma immaginazione», esortava il 'mio' non dimenticato professore, Elio Conti, medievista), dal modo dell'archeologia militante, scientifica e tecnica, possono venire indicazioni per nuove forme di iniziativa per un'archeologia che si proponga di essere 'pubblica'. Per rispondere quindi alle preoccupazione di un direttore di collana e di un giovane archeologo direi sì, un lavoro come questo può a buon diritto essere ospitato in una collana di 'archeologia pubblica'; sì, magari con un 'per', questa opera può considerarsi 'un manuale'.

Su di un altro piano e per concludere, anche così, per via metodologica potremmo dire, si può contribuire ad una sempre più necessaria esigenza di 'ricomposizione dei saperi' nell'affrontare le sfide attuali, ma con radici nel passato, la cui conoscenza conserva probabilmente alcune risorse per poterne uscire per un futuro più disponibile.

**Roberto Parenti**  
*(Università degli Studi di Siena)*

Da un punto di vista essenzialmente storico mi piacerebbe spendere queste poche righe narrando quelle vicende che, a partire dall'ultimo quarto del secolo scorso e comunque essenzialmente tra il 1974 e il 1990, considero gli atti di nascita degli avvenimenti che hanno interessato e messo a contatto discipline diverse e reso possibile la redazione di questo volume. In quel lasso di tempo si sono avvicendate delle innovazioni nel panorama scientifico italiano che, da un punto di vista molto soggettivo e con l'esperienza di una lunga 'militanza', si possono riconoscere e verificare dalle ricadute che hanno avuto in molti campi disciplinari.

Nel settore dell'archeologia universitaria vengono attivati gli insegnamenti di Archeologia Medievale, aprendo alla disciplina archi cronologici investigati poco (e solo marginalmente) prima di allora. Tiziano Mannoni propone di analizzare e registrare le tecniche costruttive più comuni, anch'esse di origine medievale e dei secoli successivi (e quindi estremamente diffuse anche al di fuori dei cantieri archeologici), inoltre vengono sperimentate ed applicate tecniche di scavo con importanti ricadute sulla 'oggettività' nella registrazione delle caratteristiche della fonte materiale.

Sul versante architettonico, si comincia a porre l'attenzione, con il cosiddetto 'rilievo critico', ad un fatto solo apparentemente ovvio e che cioè l'edificato storico non è mai il risultato di un unico cantiere costruttivo: ampliamenti, ricostruzioni, differenti modi distributivi delle funzioni interne, un nuovo modo di abitare, portano a modifiche, ad aggiunte, a tagli del tessuto costruito che rendono poco omogeneo l'intero edificio.

Sul versante edilizio più strutturale, i terremoti che colpirono il Friuli nel 1976, oltre alla tragedia delle vittime e all'immensità dei danni, furono l'occasione per registrare in modo estensivo le tipologie dei danni e, per certi versi, il loro cinematismo. E dopo il crollo della torre civica di Pavia, anche le stesse murature storiche cominciarono ad essere osservate con un occhio più attento al tentativo di definire il sapere costruttivo di un tempo, ormai irrimediabilmente perduto, e non considerate come un insieme omogeneo da far rientrare nei casi previsti dalle formule già enunciate e forse più adatte ai materiali contemporanei.

Non è questa l'occasione per verificare se questi avvenimenti sono il frutto di un cambiamento che aveva cominciato a maturare già in precedenza o se, invece, abbiano accelerato tale processo: da quegli anni c'è stata indubbiamente una maggiore attenzione alla struttura e alla cultura materiale, una verifica assai attenta delle anomalie e delle discontinuità anche formali e non la ricerca di una corrispondenza a modelli ideali, mediata da saperi precostituiti e molto spesso scarsamente aderenti alla diacronicità dell'edificato.

È indubbio che da questa linea si sia sviluppata una grande capacità di osservazione e una trasversalità disciplinare che ha permesso la spe-

rimentazione di strumenti magari già conosciuti, all'analisi di un nuovo campo di osservazione, con risultati assai affidabili e quasi sempre inediti. Insomma la possibilità di utilizzare un nuovo/vecchio immenso archivio, il patrimonio edificato, finora letto in maniera parziale (se non cancellato o distrutto ancora prima di essere letto) per cercare di farlo 'parlare' in modo più intellegibile e renderlo comprensibile ad una platea assai più ampia di quella settoriale dei soliti specialisti, allo stesso tempo feconda di informazioni sul lato storico e su quello tecnico architettonico e strutturale. È il riconoscimento dell'autonomo valore documentale dell'edilizia, così com'è giunta fino a noi, senza valori gerarchici legati al tipo di committenza o alla presenza di elementi decorativi, e valida senza preclusioni per tutte le aree geografiche e culturali dove si sono costruite case, palazzi, edifici religiosi e fortificazioni.

Un altro aspetto, più propriamente archeologico, è maturato nei medesimi anni e poiché per una piccola parte è stato vissuto in prima persona, perdonatemi i ricordi personali. Nell'area mediterranea erano già state individuate, in alcuni cantieri di scavo, evidenze di crolli che avevano interessato attività ancora in corso, persone ed animali rimaste sepolte nel collasso degli ambienti, oppure erano state individuate lesioni, rotazioni di rocchi di colonne, dislocazioni di mosaici pavimentali, piccole faglie verticali che in qualche caso erano state interpretate come tracce di terremoti. Gli archeologi avevano incontrato, in modo passivo, gli effetti che può produrre un antico terremoto sull'ambiente costruito. Nel 1989 una impresa italiana vinse la gara internazionale per la verifica delle condizioni di sicurezza di una centrale atomica in costruzione in Crimea. Tra gli altri tipi di analisi, fu chiesto ad un piccolo gruppo di archeologi, geoarcheologi e geologi (greci, italiani, russi, statunitensi) di verificare se la flebile traccia di due documenti scritti in ambito greco del V e III secolo a.C. poteva essere collegata a due terremoti che avrebbero interessato l'area di costruzione della nuova centrale atomica.

In altre parole, era stato chiesto se due eventuali antichi terremoti potessero aver lasciato delle evidenze in siti archeologici contemporanei alle vicende riportate nella documentazione scritta: la struttura materiale doveva verificare se i due documenti si riferivano veramente a dei terremoti, se questi avessero veramente colpito l'area e quale tipo di danno avessero provocato per valutarne l'intensità. L'analisi archeologica non aveva più un ruolo passivo, ma diventava invece attiva, di ricerca di specifici indicatori. Per rispondere a queste domanda fu applicata un prassi operativa di tipo estensivo, su un'area relativamente ampia lungo la costa meridionale del mare d'Azov, con l'analisi dei pochi resti degli edifici sincronici ai fatti narrati dalla documentazione scritta. Per maggior sicurezza (bisognava verificare se ci fossero stati comunque dei terremoti) le analisi furono allargate anche ad un maggior numero di costruzioni, rappresentative di altri periodi, per individuare lesioni, dislocazioni, rotazioni che potessero esse-

re collegate comunque agli effetti di terremoti e non ad altre cause. Per eliminare le possibili altre cause fu deciso di approfondire l'analisi sui tipi di muratura e dei sistemi costruttivi (fondazioni), con particolare attenzione alla sezione del muro e al legante impiegato. Una prassi operativa che coniugava l'analisi estensiva per raccogliere informazioni sull'areale di distribuzione dei danni (maggiore è l'area, più forte è l'intensità), con un'analisi di tipo intensivo per valutare la qualità delle murature (nella sismografia prestrumentale l'intensità del sisma è correlata ai danni riscontrabili sugli edifici: migliore è il sistema costruttivo, minori saranno i danni osservati). A prescindere dai risultati della campagna (comunque non furono trovate tracce evidenti di sismi pregressi), la prassi operativa sperimentata fu applicata poi al progetto italiano di *Atlante delle tecniche costruttive* a cui si accenna in questo volume e che prendeva le mosse proprio negli stessi mesi.

Se questi avvenimenti si possono considerare, a mio parere, il passato cioè le radici da cui ha attinto la metodologia utilizzata per redigere *L'archeosismologia in architettura*, cresciuta e formatasi anche con l'apporto di nuovi e più recenti contributi, il volume costituisce mirabilmente la punta avanzata dell'odierno panorama cioè il presente, ciò che si può ottenere in qualità e approfondimento della conoscenza con una prassi operativa tutto sommato anche economica rispetto ai costi del settore.

Ma oggi questo protocollo operativo costituisce forse la pratica corrente? Mi chiedo retoricamente, pensando ad un futuro molto prossimo, se quanto è già stato recepito anche dalla normativa nazionale corrisponde poi ad una effettiva ricaduta nella pratica quotidiana. A ben vedere l'attuale prassi comune non sempre corrisponde agli avanzamenti della ricerca (e può essere naturale prevedere un certo scarto nei tempi di applicazione), ma occorre valutare da cosa può dipendere tale viscosità. È nel prossimo futuro che la partita verrà giocata e occorre fare tutto il possibile affinché siano resi disponibili agli operatori gli strumenti più aggiornati.

**Francesco Doglioni**  
(IUAV – Università degli Studi di Venezia)

I risultati della ricerca che Andrea Arrighetti espone in questo testo rappresentano un significativo punto di arrivo e una tappa di un percorso più lungo.

L'archeosismologia, il nome con cui è definito l'ambito della ricerca, è proposta come luogo di incontro disciplinare, se non ancora come disciplina tout-court, per lo studio dei fenomeni sismici del passato con gli strumenti dell'archeologia, e specularmente all'interpretazione dei contesti archeologici con l'ausilio della sismologia. Posto così, appare come un normale scambio paritario tra discipline diverse su un terreno di comune interesse, in cui ciascuna applica i propri metodi collegandoli a quelli dell'altra, giungendo a formare un metodo composito, in grado di portare a risultati che nessuna delle due discipline sarebbe in grado di raggiungere con i propri mezzi.

In realtà, le due discipline non si presentano monolitiche a questo incontro, e ciascuna invia propri nuclei, dotati di relativa autonomia e con l'ambizione di proporsi essi stessi come disciplina. È il caso, per l'archeologia che si vuol applicare a costruzioni ancora in elevato, dell'archeologia dell'architettura, e per la sismologia, della storia sismica o storia documentale dei terremoti. Applicate soprattutto – ma non solo – ai manufatti e agli eventi dell'ultimo millennio, sono accomunate dal fatto di costruire conoscenza storica, e di ricercare, leggere e interpretare a tal fine fonti, sia pure di diversa natura, come le costruzioni e i testi scritti. Hanno dunque una struttura epistemica almeno in parte affine, la conoscenza *di per sé*; ma entrambe producono conoscenze che si prestano ad essere *finalizzate*.

Alla storia sismica si richiede concretamente di fungere da *anamnesi dei trascorsi*, di documentare dove, quando, con che intervalli e con quali capacità distruttive si sono verificati eventi sismici in una data area. Le si chiede quindi di formare la base per una elaborazione previsionale se non predittiva, capace di avvertire, se opportunamente interpretata, circa i pericoli sismici di un territorio nel presente e in un futuro che può essere cadenzato da eventi in continuità con il passato, quasi specularmente – il *periodo di ritorno* – e di fungere da fondamento per corrispondenti e commisurate azioni di prevenzione. Naturalmente, i risultati di questa fondamentale ricerca si devono collegare a quelli della ricerca geo-morfologica e sismo-tettonica.

All'archeologia dell'architettura si chiede di riconoscere prima e poi dipanare l'insieme di storie tra loro correlate che ruotano attorno e dentro un singolo edificio, facendo assurgere la sua materia al ruolo di documento costruito e trasformato nel tempo da azioni umane (*storia costruttiva*) e/o naturali (*storia del comportamento nel tempo*) come il dissesto strutturale, il degrado o, appunto, il danneggiamento prodotto da uno o più terremoti.

Non è qui il caso di ribadire quanto questa *anamnesi individuale* sia importante per l'opera conservativa e di restauro di ciascun edificio: è essen-

ziale per comprendere, in funzione preventiva e dunque di miglioramento sismico, quali forme di vulnerabilità i sismi del passato abbiano già reso manifeste, e quali meccanismi di danno abbiano già attivato, segnalando da un lato l'inevitabile aggravamento recidivante in caso di futuro terremoto e la corrispondente necessità di un contrasto mirato ed efficace.

Nello studio di Andrea Arrighetti possiamo ben capire come i risultati conoscitivi raggiunti sì in singoli edifici, ma in numero tale da costituire un campione significativo, si ripercuotano su un territorio più ampio; si forma così una rete di riscontri a quella storia sismica che, a sua volta, diventa riferimento più concreto per l'area interessata proprio a partire da quegli edifici antichi, il cui restauro non potrà prescindere né dalle conoscenze che l'edificio stesso ha offerto né dalla storia sismica territoriale.

Dunque entrambi i nuclei conoscitivi – archeologia dell'architettura e storia sismica – 'servono', sono utili e questo, da un lato, può non far piacere ai sostenitori della conoscenza fine a se stessa perché, in qualche misura, la compromette, la spinge a risposte forse più nette e decise di quanto a volte non possa dare; ma c'è di più, la carica di responsabilità. Potremmo dire, letteralmente, che la carica di una responsabilità civile, in quanto tutto l'impianto normativo attuale in tema di prevenzione sismica ha come perno la scuotibilità del sito, ossia la pericolosità sismica. Se questa, in primo luogo, discende dalla tettonica dell'area e dunque è riferita alla scienza-madre, la sismologia, tuttavia le indicazioni relative al modo in cui si manifesta, all'energia che potrà essere liberata e, soprattutto, all'intervallo ipotizzabile tra sismi distruttivi sono affidati in buona misura alla storia sismica.

La presenza in un'area di accorgimenti costruttivi in grado di svolgere, nelle nuove costruzioni, ricostruzioni o ampliamenti, una azione anti-sismica, oltre che di presidi di riparazione di danni in edifici esistenti, può costituire un importante segnale indiretto che la comunità ha subito in tempi ravvicinati l'esperienza di un sisma rovinoso. Il maturare di una *cultura sismica locale*, come la denomina Andrea Arrighetti, suggerisce un parallelo con dati anticorpi rilevati nel sangue di un individuo, la cui presenza consente di diagnosticare l'avvenuto contatto con una patologia e l'insorgere di difese naturali.

Tali presidi permettono di comprendere quale cognizione del comportamento sismico degli edifici abbiano acquisito gli individui della comunità e la comunità del suo insieme, alla luce di un'esperienza vissuta e analizzata nelle sue conseguenze, con una reazione empirica ed adattiva. Il formarsi di una mentalità antisismica si concretizza perciò nella elaborazione delle soluzioni di contrasto, negli antidoti ad una patologia conosciuta. Ma non possiamo aspettarci né che ciò avvenga sempre e sistematicamente, né che mentalità e soluzioni tecniche siano durature nel tempo; in questo, conditvo almeno in parte lo scetticismo di Emanuela Guidoboni, la cui posizione è richiamata nello studio.

Tuttavia Andrea Arrighetti tratta questo aspetto conoscitivo in modo sistematico e a scala territoriale, fornendo quadri crono-tipologici di presidi e accorgimenti costruttivi, significativi e a volte originali per concezione.

Anche questa conoscenza, oltre ad essere interessante di per sé, 'serve', riveste possibili utilità. Ad esempio, nel caso del Mugello, i presidi e gli interventi di riparazione/rafforzamento realizzati a seguito del terremoto del 1542 sono stati almeno in parte messi alla prova dal terremoto del 1919: qual è stata la loro efficienza? Hanno contrastato l'ulteriore danno, e in che misura? Sarebbe un modo sperimentale, scientificamente fondato, per valutare l'efficacia e l'utilità in questo campo dei 'presidi tradizionali', spogliandoli di quella vena passatista con cui vengono spesso proposti come gli unici rimedi legittimi e sicuramente efficaci o, al contrario, semplicemente ignorati in nome della esclusiva adesione alle tecniche e ai materiali della modernità. Servirebbe, insomma, ad allontanare da questo campo ogni inutile pregiudiziale ideologica.

Un altro aspetto è rappresentato dalla valutazione dell'efficienza attuale dei presidi osservati, e segnatamente di quelli inseriti in fase di costruzione all'interno delle murature, e perciò verificabili con maggiore difficoltà. Mi riferisco in particolare agli elementi lignei con capochiave metallico inclusi all'interno delle strutture murarie con funzione di cordolo-tirante. Denominati 'radiciamenti' in area centro-italiana, sono presenti in più zone, anche se manca ad oggi una attendibile mappa della loro diffusione e frequenza, delle strutture in cui sono presenti con maggiore frequenza, come ad esempio le torri o i campanili, delle epoche di diffusione ecc.

Per loro natura, in quanto inseriti a mezzo muro in fase costruttiva, fanno con evidenza parte del 'progetto' iniziale, ossia costituiscono la precisa risposta ad una concezione strutturale che ha ispirato l'opera e ne ha in certa misura previsto il comportamento futuro, includendovi – ma non è sempre certo – la risposta alle sollecitazioni sismiche. Ma proprio per il materiale costruttivo, il legno chiuso all'interno della massa muraria, questi presidi subiscono con facilità attacchi biologici che ne causano la perdita di efficienza o, spesso, la totale scomparsa (figure 1 e 2), salvo spesso il permanere ingannevole delle chiavi metalliche esterne, apparentemente intatte ma ormai prive di ancoraggio interno. Ecco allora che viene meno una difesa strategica iniziale; individuare l'eventuale perdita di efficienza e risarcire il presidio perduto diviene quindi azione del tutto prioritaria. Ma come? Non si può più inserire a mezzo muro una trave lignea, come si poteva fare solo al momento della costruzione, inglobando la trave nella muratura. Si devono dunque elaborare modalità omologhe, di analoga concezione, di efficienza almeno pari e di maggiore durabilità.

Non è qui in caso di entrare delle possibili soluzioni, ma dobbiamo prendere atto che la ricerca sulle strutture edilizie in zone soggette a sisma deve includere la localizzazione e descrizione dei presidi presenti, in primo

luogo per poterne valutare l'efficienza attuale e gli eventuali interventi in grado di svolgere la stessa funzione.

Fig. 1 – Cavit  interne alle strutture murarie formate dal totale degrado di elementi lignei inseriti in fase costruttiva con funzione di cordolo-tirante. A) Port'Oria a Feltre (BL), sec. XIV. B) Il campanile della chiesa di S. Pietro a Lamon (BL), fine sec. XV.



In una ricerca di impianto epidemiologico, come   molto opportunamente e – a quanto mi risulta – in modo originale quella proposta da Andrea Arrighetti, devono essere presi in esame tutti gli edifici presenti nell'area alla data del sisma, e non solo quelli che manifestano danni. Infatti anche l'osservazione di *danni mancati*, ossia di edifici indenni o poco danneggiati pur avendo certamente subito il terremoto, a volte perch  rafforzati da presidi o per diversit  geomorfologiche tali da influenzare positivamente la risposta sismica, pu  fornire indicazioni di carattere generale. In particolare, contribuiscono a formare una mappatura pi  completa del comportamento degli edifici, da porre a confronto con la microzonazione sismica da un lato, e dall'altro con le diverse caratteristiche resistenti.

Sotto il profilo della ricerca stratigrafica, gli effetti indotti sulla costruzione dai dissesti statici e sismici rientrano nella sfera delle modificazioni che possono essere definite come 'post-deposizionali', ossia avvenute in tempi successivi alla deposizione/costruzione dello strato stesso (Leonardi 1992). La loro inclusione nell'impianto stratigrafico   in parte possibile, ma risulta quanto meno difficoltosa e sicuramente incompleta.

Sulla lettura/traduzione stratigrafica di alcune modificazioni strutturali non vi sono dubbi: il profilo di crollo di una muratura costituisce un'interfaccia negativa. Ma una lesione, o un quadro fessurativo, come pu  essere qualificato sotto il profilo stratigrafico?

In passato ho io stesso proposto che ciascuna lesione fosse considerata come una coppia correlata di interfacce negative, ma anche di falsi bordi complementari, in cui ciascun ciglio reca l'impronta dell'altro quanto meno per ci  che attiene le malte di allettamento tra i conci (Doglioni 1997: 221-234). E lo spazio vuoto formato dalla distanza tra i due cigli? Ci accorgiamo che questa entit , importantissima per la qualificazione/quantificazione

dell'evento rappresentato dal dissesto, non è efficacemente traducibile all'interno dell'impianto stratigrafico basato su strati e interfacce. Certo, è una particolare forma di unità stratigrafica negativa, che rompe uno strato esistente, o si insinua nella discontinuità al margine tra due unità, ed è rotta o coperta da un intervento di riparazione successiva. E questo è vero per le lesioni sismiche dovute a un evento di brevissima durata come un terremoto, ma è più difficilmente applicabile alle lesioni statiche a lenta progressione, in cui lo stesso ramo di lesione può ampliarsi linearmente nel tempo, e solo le stratificazioni sovrapposte possono dar conto della sua evoluzione e del suo assetto alle diverse fasi.

Ma se la componente *fessurativa* del dissesto (lesioni, rotture, fratture) può essere inclusa e in certa misura descritta all'interno dell'impianto stratigrafico, ancora più complesso, e forse impossibile, si presenta l'inclusione dell'altra componente del dissesto, quella *deformativa*. Gli strati già esistenti modificano la propria forma o assetto, deformandosi appunto o perdendo verticalità, senza dar luogo a nuovi strati o a formazione di interfacce; si genera semplicemente un differenziale geometrico tra il momento precedente e quello successivo all'evento sismico. Di questa modificazione, inoltre, possiamo avere cognizione quando si accompagna a lesioni al bordo della parte discretizzata e allontanata rispetto al corpo della costruzione che immaginiamo rimanga stabile, e ad una lesione di data ampiezza deve corrispondere una deformazione almeno di pari entità, dando luogo ad una congruenza verificabile tra effetti fessurativi e effetti deformativi; ma molto spesso entrambe le parti si allontanano tra loro, in misura non facilmente determinabile.

Non parliamo poi delle deformazioni elasto-plastiche che non danno luogo a lesioni, perché la materia si deforma senza giungere a rottura, come è usuale nella flessione di una trave in legno ma come, ed è meno intuitivo, avviene anche nella muratura; che non si comporta quasi mai come un blocco rigido in pietra, ma presenta caratteristiche di deformabilità elasto-plastica variabili in rapporto a alla tipologia muraria, alla natura della malta e dei supporti...

Possono dunque verificarsi deformazioni murarie anche importanti senza che si manifestino lesioni, privandoci dell'appiglio di quella che appare come la logica e verificabile congruenza tra fessurazioni e deformazioni; e questo ci dice come lo studio della meccanica delle diverse tipologie murarie, numerosissime e variabili da luogo a luogo, debba compiere ancora molta strada. Ma già individuare le tipologie murarie di un'area rappresenta un primo, importante passo.

Sempre in tema di deformazioni, quando riscontriamo l'esistenza di fuori o entro-piombo in una parete, possiamo presumere che la deviazione dalla verticale, come ha proposto Paolo Torsello (Torsello 1988), rappresenti una *geometria accidentale* la quale, posta a confronto con la *geometria regolare* che presumiamo preesistesse, permette di misurare il differen-

ziale deformativo. Presumiamo, appunto. Ma quando, come di recente a Venezia, ci rendiamo conto con un certo stupore che la costruzione è stata realizzata con geometrie non regolari –in quel caso ad entro-piombo – ma dimostratamente *intenzionali* (Doglioni *et al.* 2011), dobbiamo ammettere che il solo presumere costituisce una base labile, da verificare e porre in dubbio ogni volta.

Ancora in merito al rapporto con la stratigrafia, osserviamo che l'insieme di modificazioni, fessurative e deformative, che una fabbrica subisce a seguito di un sisma, ben si presterebbe ad essere considerato alla stregua di una fase di trasformazione, come anche Andrea Arrighetti di fatto propone, in quanto temporalmente definita e assimilabile a quell'insieme di azioni che corrispondono a una attività; certo, si tratta di una particolare fase che va più propriamente espressa con il linguaggio della lettura strutturale, eterogeneo perciò rispetto alla usuale suddivisione in fasi di costruzione e trasformazione e ai modelli edilizi che le rappresentano, ma inserito tra di esse in un preciso momento.

Allo stesso tempo, constatiamo come un quadro fessurativo a lento sviluppo, alimentato da un dissesto statico, non si presta allo stesso modo a costituire una fase perché non è riferibile ad una unità di tempo, e costituisce una interfaccia di periodo ad assetto mutevole, di cui semmai, proprio con l'analisi stratigrafica, si possono isolare stadi di avanzamento, operando una sorta di prezioso monitoraggio in continuo per tutta la durata in vita della costruzione.

Ritornando al piano del riconoscimento della natura dei dissesti, ne potremmo desumere che i quadri di dissesto che si prestano ad essere definiti come 'fase' tra 'fasi' hanno maggiori probabilità di essere di natura sismica, quelle che non danno luogo a una fase riconoscibile sono più probabilmente di natura statica, a lento sviluppo.

Ma se consideriamo che una stessa lesione, e accade spesso, può essere stata innescata da un fenomeno statico, ampliata e in parte modificata da un fenomeno sismico, e che questo ri-scrivere il dissesto sulle stesse lesioni può avere avuto più evoluzioni statiche e più apporti sismici nel tempo, allora la riconduzione agli schemi stratigrafici, incluso il diagramma di Harris, diviene davvero ardua se non impossibile.

Ritengo sia meglio mirare ad una descrizione in parallelo del comportamento nel tempo della costruzione, separata dalla sequenza di fasi lette stratigraficamente: ma proprio qui ci rendiamo conto che non è possibile una lettura strutturale disgiunta da una complessiva lettura stratigrafico-costruttiva, in grado di restituirci una adeguata cognizione dell'assetto che la fabbrica ha avuto nel tempo in cui ha subito i dissesti.

Ecco dunque che, a fronte della difficoltà di includere nello strumento stratigrafico la lettura dei dissesti, possiamo disegnare un ambito di reciproca e necessaria complementarietà tra ricerca stratigrafica e ricerca del comportamento strutturale, incluso quello sismico, nel tempo: due percor-

si paralleli e separati, ma in stretta relazione e, ove possibile, tra loro sovrapponibili. Più storie separate/intrecciate, non una sola storia.

Nel suo studio, Andrea Arrighetti pone una notevole attenzione al tema del rilevamento e della misura della costruzione e segnatamente dei fenomeni di dissesto, fornendo concreti apporti di ordine metodologico e strumentale ad un tempo. Il modo con cui si sono allontanati due cigli di lesione, oltre all'entità esatta dello spostamento, contiene una grande quantità di informazioni sul reale cinematismo che ha prodotto quella lesione, informazioni che di rado sappiamo documentare con efficacia ed elaborare.

Questo studio, in particolare nel primo capitolo, fa comprendere anche come le tracce dei sismi del passato presenti in una costruzione debbano essere trattate alla stregua di preziosi documenti; come tali devono essere conservati con cura, e non semplicemente obliterati, come pur potrebbe apparire lecito in una visione che privilegi su ogni altro aspetto la restituzione dell'efficienza strutturale dell'edificio che tali segnali presenta.

Sarà necessario poterli studiare in modo più approfondito, con strumenti che ad oggi non sono ancora disponibili ma che certamente lo saranno in un futuro prossimo, dato l'interesse strategico delle informazioni che ne potremo ricavare. Questo pone precisi obblighi all'opera di restauro e solleva un delicato conflitto di finalità: conservare nella piena leggibilità la traccia e al tempo stesso neutralizzarne gli effetti di indebolimento sulla costruzione. Inevitabilmente questo ci porta a valutare con attenzione i *presidi indiretti*, esterni, puntuali e non diffusamente distruttivi; e ad abbandonare decisamente alcune modalità 'tradizionali', come il sistematico 'cuci e scuci' operato a cavallo della lesione, vuoi perché l'esperienza ne ha dimostrato la modesta efficacia, vuoi per il suo impatto distruttivo su quella lesione che per noi è ora diventata una testimonianza preziosa. Le immagini delle potenti catene lapidee ritrovate nel campanile della Pieve di S. Lorenzo a Borgo S. Lorenzo ci fanno ben comprendere come si possa efficacemente ricostituire l'ingranamento perduto tra due tratti murari separati dalla lesione agendo puntualmente e dunque conservando una adeguata leggibilità del tracciato di lesione: si riconoscono i lembi con i loro vettori di spostamento, l'entità complessiva degli spostamenti nel piano e fuori dal piano, l'assetto complessivo del ramo di lesione... Insomma tutti i 'tratti pertinenti' che ci consentono di ricondurre la lesione a un dato fenomeno statico o sismico, di interpretarla, insieme ad altre lesioni e deformazioni, come effetto di un dato meccanismo di danno, ossia di un comportamento complessivo della costruzione o di una sua parte, un 'macroelemento'.

Certo, tutto questo ha implicazioni sul modo di conservare/restaurare gli edifici antichi, e porta a dare minor peso agli aspetti – con termine volutamente generico – 'estetici', ossia legati alla sfera della restituzione del decoro visivo che si accompagna alle opere di restauro, e a privilegiare la sostanza documentale, il mantenimento della leggibilità diretta della materia costruita e segnata dal dissesto. Non vi è dubbio che que-

ste considerazioni ci spingono anch'esse ad operare nella stessa direzione già messa a fuoco per la conservazione delle tracce stratificate, e dunque a favore del mantenimento, a restauro, avvenuto, di una efficace leggibilità stratigrafico-strutturale.

Ma, al di là di questo, l'attribuzione di senso che questo processo di studio consente alle tracce di antichi dissesti, ne fa, oltre che un *dato*, un *contenuto*, un carattere aggiuntivo dell'opera che li ha subiti e li porta ancora oggi. Divengono *segni* – ossia elementi significativi – a tutti gli effetti, di grande forza evocativa, così come lo sono le opere di riparazione soprattutto quando non obliterano del tutto la traccia dell'evento. Dobbiamo imparare a trattarli come un capitello o un tratto di affresco, ossia alla stregua degli elementi attraverso cui meglio e con maggior forza si esprime la storia della costruzione.

Mi permetto infine qualche riflessione di ordine metodologico.

A mio avviso, la ricerca di effetti sulle costruzioni dovrebbe avvenire del tutto 'al buio', in assenza di riferimenti preliminari in ordine alla tettonica dell'area e alla sua storia sismica. Certo, mi rendo conto che questo è impossibile: chiunque si affacci a una ricerca di questa natura non può non aver consultato il fondamentale catalogo dei terremoti storici<sup>1</sup> o gli studi tettonici sull'area. Il problema da tener ben presente, e lo segnalo perché lo conosco, è che vi è il rischio di 'voler vedere' gli effetti di un dato evento, che è cosa almeno in parte diversa dal ricercare effetti di dissesto senza un preciso riferimento, valutarne gli elementi a sostegno di una possibile origine sismica, ma anche quelli non probanti o contrari, fino, in caso positivo, a validarli come 'effetto di antico terremoto'; a inserirli nel tracciato costruttivo-trasformativo dell'edificio esaminato come un particolare tipo di azioni stratigraficamente rilevanti; e, solo allora, operare il confronto con la sequenza dei sismi storicamente documentati.

Continuano ad essermi di riferimento, anche in questo, gli studi che Enrica Boldrini e Roberto Parenti hanno compiuto su Santa Maria della Scala a Siena (Boldrini, Parenti 1991), in cui la ricerca storico-archivistica, e le stesse, preziose iconografie storiche, seguono percorsi autonomi, e si confrontano solo ad un dato punto, come scoprendo le carte, con le letture stratigrafiche degli elevati e i risultati degli scavi. Questo permette di verificare poi i dati e le interpretazioni che ciascuno dei diversi percorsi è in grado di portare, e di operare le possibili integrazioni interpretative formando un unico testo fondato sui più distinti apporti.

Il processo deve essere chiaro e ricostruibile in ciascun passaggio: c'è una lesione non perché sappiamo che c'è stato un terremoto, ma perché in quella lesione, collocata stratigraficamente in un dato momento della sequenza, riconosciamo i tratti caratteristici di una lesione sismica.

<sup>1</sup> Vedi, nelle diverse edizioni, i cataloghi dei terremoti elaborati principalmente da Emanuela Guidoboni, e citati nel testo di Andrea Arrighetti.

In questo vi è una simmetria con quanto si auspica nell'esercizio della lettura stratigrafica, che non deve essere precocemente contaminata da letture e dati 'storici': è opportuno, quanto meno nella prima fase di raccolta dei dati e di prima lettura, che i percorsi di ricerca sul manufatto – leggi, sulle sue evidenze fisiche – siano paralleli e non comunicanti rispetto allo studio delle fonti che lo riguardano o a considerazioni di ordine non-stratigrafico, come quelle stilistiche o tipologiche. Dopo, vi sarà modo e tempo per un confronto efficace e chiaro, anche con la storia sismica, in pieno accordo con quanto proposto da Daniele Manacorda<sup>2</sup>.

Un'impostazione di questo genere rende più affidabile il confronto e l'integrazione con la storia sismica desunta dalle fonti scritte; vuoi per valutare i reali effetti di un sisma storicamente noto su date costruzioni, vuoi per segnalare l'esistenza di possibili eventi sismici mancanti nelle fonti scritte.

Ne è prova concreta il terremoto che Andrea Arrighetti ritiene, in base a tracce riscontrate in più edifici, possa essere avvenuto nel XIII secolo nell'area del Mugello, e non segnalato da fonti scritte. È appena il caso di ricordare che, compiuti ulteriori accertamenti mirati, il riconoscimento di un terremoto distruttivo in quella data fornirebbe un terzo elemento nella sequenza storico-sismica dei forti terremoti dell'area (1542 e 1919), a sostegno di un periodo di ritorno di tre-quattrocento anni.

Se questo può avere limitate conseguenze pratiche in un'area comunque a sismicità già nota, lo è molto di più per le aree ritenute debolmente sismiche o non riconosciute affatto. Si ridurrebbe il rischio di errate deduzioni *ex-silenzio*, quando le fonti scritte tacciono: nessuna notizia storica, dunque nessuna pericolosità soprattutto nelle zone per le quali non vi sono attuali evidenze tettoniche. È il rischio che potremmo definire 'del sedicesimo ricognitore', quello che nella Battaglia delle Midway – mi riferisco al celebre film – avvista la flotta americana, ma per un guasto alla radio di bordo non riesce a comunicarlo alle portaerei giapponesi, e non può mutare, come avrebbe potuto, il corso della battaglia.

Questo ci dice che, forse, dovremmo compiere ricerche archeosismologiche anche e soprattutto nelle zone in cui la sismicità sembra rappresentare un problema marginale.

<sup>2</sup> «Un ventaglio di metodi – cioè letteralmente di “tragitti che ci conducono al di là” – ci permette, attraverso procedure guidate da ragionamenti, di tradurre il linguaggio dei contesti a partire dai paesaggi che ci circondano per giungere fin dentro la costruzione molecolare delle cose [...]». Ogni metodo «non pretende di svelare la verità, ma cerca disperatamente di argomentare con plausibilità crescente. [...] Nel corso della ricerca non ogni metodo porterà le risposte desiderate, né porterà risposte univoche; il percorso di indagine incontra frequentemente nel suo cammino un bivio di fronte al quale occorre cambiare di metodo. In questo continuo passaggio – purché ogni metodo operi secondo la sua logica interna e le sue procedure e non si utilizzi un metodo per giustificare la carenza di un altro – è possibile avvicinarsi a una verità, che non sarà mai definitiva, ma che si misura nella sua capacità di aprire nuovi orizzonti e di dar vita a nuove domande, eliminando le risposte contraddittorie» (Manacorda 2004).

Tra i possibili sviluppi futuri degli studi archeosimologici, possiamo ipotizzare un tipo particolare di *reverse engineering*, che dalla lettura degli effetti sulla costruzione permetta di risalire alle caratteristiche locali del sisma che li ha provocati. Non vi è dubbio che si tratterebbe di una ricerca di grande interesse da più punti di vista. Dovremmo poter ricostruire l'assetto architettonico della costruzione e le capacità resistenti al momento del sisma, tradurlo in modello meccanico sottoponendolo virtualmente a sollecitazioni che abbiano per effetto proprio i quadri di danno che sono stati osservati. La natura ed entità delle sollecitazioni, tarate attraverso la valutazione delle eventuali amplificazioni di sito, ci darebbe un riscontro effettivo di scuotibilità; utile, quanto meno, alla meso-zonazione sismica di un'area più vasta, oltre che ad assumere un realistico 'terremoto di progetto' per l'opera di miglioramento sismico dell'edificio che quelle tracce conserva e per l'immediato intorno.

Anche alla luce di quanto Andrea Arrighetti propone in questo testo, è ben chiaro che la ricerca archeosismologica si situa in un singolare e cruciale crocevia; mette alla prova tutte le discipline che vi concorrono sollecitandole a più stringenti confronti, e favorendo la maturazione di ciascuna.



La sismicità storica può essere ricostruita oggi grazie ad una serie di tracce presenti nel territorio e, più in particolare, in molti dei fattori antropici e naturali che lo caratterizzano. L'andamento delle faglie, gli epicentri, le dinamiche dei terremoti sono solo alcuni esempi delle possibili informazioni ricavabili dall'analisi delle caratteristiche del terreno e del paesaggio.

L'architettura rappresenta uno dei principali testimoni degli effetti dei terremoti su un'area e sulle società che l'hanno occupata nel lungo periodo. Sia che si tratti di edilizia civile o religiosa, popolare o elitaria, il patrimonio culturale edificato rappresenta oggi un testimone oggettivo di eccezionale valore delle trasformazioni subite da un territorio nel corso del tempo. I molteplici eventi accaduti in un passato più o meno recente, soprattutto se di grandi dimensioni, sono stati registrati dagli edifici, lasciando tracce ben visibili sulla loro struttura materiale. La capacità di leggere questi eventi e di interpretarli nell'ottica di una loro ricostruzione storica sono alcuni degli aspetti che caratterizzano la disciplina dell'archeologia dell'architettura.

L'Italia è un paese densamente popolato e ricco di edilizia storica da salvaguardare<sup>1</sup>. Le procedure operative richieste nell'analisi degli edifici storici in aree a rischio sismico sono contenute nell'attuale normativa ministeriale sul rischio sismico in Italia, ovvero la Direttiva aggiornata al 9 febbraio 2011 delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale*, pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale del 26 febbraio 2011. In particolare nel testo appare rilevante il capitolo 4, denominato Co-

<sup>1</sup> Si pensi che secondo la classificazione sismica effettuata nel 2010 dalla Protezione Civile su un totale di 22.698 centri storici presenti sul territorio italiano, ben 14.901 sono a rischio di forti o fortissimi terremoti (<http://www.protezioneci-vile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>).

*noscenza del manufatto*<sup>2</sup>, dove nei paragrafi 4.1.5 *Analisi storica degli eventi e degli interventi subiti* e 4.1.6 *Il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione* vengono definite più o meno nel dettaglio alcune operazioni archeologiche, prima fra tutte la «ricostruzione dell'intera storia costruttiva del bene tutelato [...]» da effettuarsi evidenziando «la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta che in alzato [...]», ovvero la lettura stratigrafica di un Complesso Architettonico.

Partendo da questi presupposti si pone dunque un interrogativo: perché l'archeologo non ha rivestito fin ad oggi un ruolo centrale nella prevenzione dell'edilizia storica dal rischio sismico? La risposta a questo quesito non appare univoca, ma sembrano coesistere più motivazioni<sup>3</sup>. Uno degli elementi trainanti risulta probabilmente legato ad una parziale conoscenza del potenziale informativo derivante dal lavoro archeologico da parte di chi opera materialmente sul campo. Sebbene in alcune pubblicazioni che si occupano di analisi di vulnerabilità dell'edificato<sup>4</sup>, restauro<sup>5</sup> e più in generale tutela del patrimonio venga evidenziata la necessità di un approccio multidisciplinare nello studio dei manufatti, nel quale venga previsto anche la lettura archeologica degli stessi, definita nella maggior parte dei casi con il termine di 'anamnesi' (Doglioni *et al.* 1994), i professionisti molto spesso tendono a valutare di minor rilevanza ed utilità, rispetto ad altri tipi di analisi, il processo di documentazione storico-archeologica diretta ed indiretta degli edifici. A questo si aggiunge, nel panorama italiano, ad eccezione di sporadiche collaborazioni, un parziale disinteresse degli stessi archeologi verso la materia dei terremoti come forma di prevenzione dell'edilizia storica. L'archeologia ha valutato solo raramente il rischio sismico come uno dei possibili campi di applicazione delle proprie ricerche, limitandosi a proporre analisi storico-costruttive di singoli edifici e legando i dati elaborati alla sismicità dell'area di interesse. Piuttosto sporadicamente l'analisi archeologica degli edifici presenti in un'area è stata progettata per essere associata ad un sistema di conoscenza e studio dei manufatti e del territorio, nell'ottica della prevenzione e della tutela degli stessi dal rischio sismico<sup>6</sup>. Quando i progetti hanno assunto un carattere multidisciplinare, integrando l'archeologia alle altre discipline scientifiche e storiche

<sup>2</sup> Cap. 4 delle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, edizione 2011.

<sup>3</sup> La risposta alla domanda deriva dall'esperienza professionale dello scrivente maturata nei tre anni di ricerca. In particolare dalla lettura delle pubblicazioni edite, dai numerosi convegni e conferenze nazionali ed internazionali e dagli altrettanto numerosi confronti avuti con professionisti operanti in molteplici discipline.

<sup>4</sup> In particolare le pubblicazioni di Giuffrè, Lagomarsino, Binda, Fiorani ecc.

<sup>5</sup> In particolare le pubblicazioni di Doglioni.

<sup>6</sup> Fra le riflessioni più considerevoli operate negli ultimi anni in campo archeologico in materia di prevenzione dal rischio sismico potremmo citare i contributi di Gian Pietro Brogiolo, Roberto Parenti e Fabio Redi.

che si occupano di rischio sismico<sup>7</sup>, è assolutamente evidente come le conclusioni si siano arricchite di dati fondamentali sia nella conoscenza storica del contesto in esame che nell'ambito della tutela, fornendo indicazioni utili sul *dove* e sul *come* intervenire, offrendo la possibilità di riscoprire e riproporre le tecniche costruttive tradizionali e antisismiche<sup>8</sup> per il miglioramento dei modi di costruire e di intervenire durante i restauri e portando all'individuazione e alla registrazione delle interfacce fra le diverse Unità Stratigrafiche, elementi considerati possibili punti di debolezza nelle murature dove più facilmente si manifestano i quadri fessurativi. Questi ed altri motivi permettono dunque di comprendere il ruolo di primo piano che potrebbe svolgere l'archeologia nelle analisi preventive sui manufatti architettonici in aree a rischio sismico; ricerche che partendo dalla scomposizione della fabbrica nelle sue operazioni costruttive e dalla catalogazione delle tecniche costruttive a livello comprensoriale, permettano di non cancellare una fonte di conoscenza indispensabile, ovvero la struttura materiale dell'edificio, in termini di ricostruzione storica, prevenzione e tutela.

Con queste premesse prende avvio nel 2010 il progetto "Archeologia dell'Architettura e Rischio Sismico in Mugello (FI)", una ricerca triennale realizzata all'interno del XXVI ciclo del Dottorato di Ricerca in Archeologia Medievale presso il Dipartimento di Storia e Metodologie Comparative dell'Università degli Studi dell'Aquila<sup>9</sup>. La ricerca nasce in funzione dell'elaborazione di un protocollo archeologico di analisi preventiva dell'edilizia medievale presente in Mugello, un territorio a medio-alto rischio sismico composto da dieci comuni situati nella parte toscana dell'Appennino Tosco-Emiliano. Le caratteristiche dell'architettura storica, stratigraficamente ben conservata e documentata da numerose fonti storiche, e della sismicità dell'area, caratterizzata da un buon numero di terremoti con frequenza piuttosto regolare, facevano del Mugello il contesto ideale dove iniziare una sperimentazione di un'indagine archeosismologica territorialmente ampia, focalizzata sull'integrazione dei dati ricavati dall'analisi di più edifici piuttosto che dallo studio dettagliato di singoli Complessi Architettonici. La ricerca si è dunque sviluppata partendo dal territorio, quest'ultimo analizzato nella sua completezza attraverso una ricognizione sistematica dell'area compresa all'interno dell'VIII grado MCS del terremoto più antico documentato dalle fonti storiche<sup>10</sup>, focalizzandosi in un secondo momento sull'analisi archeosismologica dei singoli campioni individuati ed

<sup>7</sup> L'esempio più significativo in questo senso è probabilmente l'Atlante dei Tipi Costruttivi Murari, un progetto archeologico su aree a rischio sismico di portata nazionale che purtroppo rimane ancora oggi un *unicum* in attesa di pubblicazione.

<sup>8</sup> Sistemi costruttivi sviluppati nel corso dei secoli in territori soggetti a terremoti con una certa continuità temporale.

<sup>9</sup> Tutor del Dottorato il Prof. Guido Vannini dell'Università degli Studi di Firenze. Coordinatore della Scuola di Dottorato il Prof. Fabio Redi dell'Università degli Studi dell'Aquila.

<sup>10</sup> Il terremoto del 13 giugno 1542.

infine riportando la visione del progetto ad aspetti più generali mediante l'integrazione dei dati elaborati nell'ottica di una loro interpretazione in chiave storico-tecnica.

Uno dei passi essenziali nella realizzazione del progetto è stato il continuo confronto e lo scambio di idee con professionisti che operano nel campo del rischio sismico, una prassi che ha consentito di chiarire dubbi ed aprire nuovi orizzonti a quello che inizialmente nasceva come una ricerca del tutto sperimentale. Dagli incontri è emerso piuttosto chiaramente che un elemento fondamentale del processo di indagine archeosismologica doveva essere la necessaria multidisciplinarietà in fase di elaborazione e di utilizzo del dato restituito. Il rapporto con la sismologia storica, le scienze della terra, l'ingegneria ed il restauro è risultato un processo indispensabile al fine di ottenere risultati scientificamente validi ed utilizzabili in modo trasversale dall'archeologia, così come dalle altre professioni coinvolte nella ricerca. Conoscere e saper utilizzare le basi di dati sismologici, gli abachi dei meccanismi di danno, le mappe di pericolosità sismica, le micro- e macrozonazioni, gli atlanti delle Culture Sismiche Locali, per un archeologo non rappresenta solo un modo per ampliare i propri orizzonti, ma costituisce un elemento fondamentale per capire ed analizzare in modo consapevole e completo ciò che viene indagato. L'operatore deve quindi essere capace di superare le inevitabili lacune del suo percorso formativo in ambito di rischio sismico, cercando però di non innescare il meccanismo controproducente di volersi sostituire al sismologo, all'architetto o all'ingegnere ma piuttosto, una volta analizzato il lavoro di questi ultimi, utilizzando i dati prodotti dalle loro ricerche per i propri progetti e cercando il modo di integrare i dati emersi dall'analisi archeologica, a quelli elaborati delle altre discipline.

Il progetto ha offerto una serie di risultati molto ampi ottenuti attraverso l'elaborazione e l'applicazione di una prassi operativa impostata sullo studio dell'intero contesto. L'iter metodologico utilizzato nella ricerca, sperimentale e globale, può essere identificato con il nome di *archeosismologia*. Con questo termine possiamo dunque indicare una specializzazione che offre la possibilità da un lato di ricomporre l'evoluzione costruttiva e i caratteri sismici degli edifici e dall'altro di fornire dati inediti e specifici per ricostruire la storia sismica dell'intero contesto di studio. L'integrazione fra il dato archeologico, l'analisi territoriale e la ricerca storica, amplia in modo considerevole gli orizzonti del processo di analisi dell'edilizia, proponendosi come una forma di *archeologia leggera*<sup>11</sup> applicata ad analisi di scenari di carattere sismico. L'archeosismologia propone infatti elementi chiave per l'interpretazione storica del territorio e delle società che lo han-

<sup>11</sup> L'archeologia leggera integra al suo interno attività non invasive quali l'archeologia dell'architettura e l'archeologia del paesaggio ed indagini sul campo come l'archeologia di scavo (Vannini, Nucciotti 2011; Vannini 2009).

no abitato nel corso del tempo e, al contempo, permette di elaborare una serie di dati utili in fase di intervento diretto sulla struttura materiale di un edificio. I vantaggi che ne derivano sono numerosi: dall'individuazione e la caratterizzazione dei dissesti e le eventuali riparazioni o ricostruzioni che, integrati all'analisi stratigrafica dell'edificio, permettono di ottenere informazioni sulle cronologie e sulle modalità di tali manifestazioni; all'interpretazione dei crolli e dei restauri come possibili spie di sismi pregressi non ancora conosciuti da altre tipologie documentali.

Il processo d'indagine archeosismologico permette dunque di apportare informazioni aggiuntive dal punto di vista quantitativo e qualitativo a quelle già in possesso relative a fenomeni tellurici antichi. Tali informazioni, se correttamente interpretate, risultano elementi potenzialmente utili alle analisi preventive agli interventi diretti sul manufatto e alla conoscenza sismica di un territorio. Per questi motivi i dati elaborati possono essere utilizzati da chi si occupa di *archeologia pubblica* (Bonacchi 2009; Vannini, Nucciotti 2011; Vannini *et al.* 2014; Vannini 2011), da chi opera materialmente sugli edifici con analisi di vulnerabilità o restauri così come da chi vuole avere informazioni e dati inediti sulla storia di un territorio, sia dal punto di vista sismico che da quello prettamente storico-archeologico.



PARTE PRIMA

METODOLOGIA DELLA RICERCA  
ARCHEOSISMOLOGICA



# Mappe, basi di dati, abachi, atlanti: introduzione all'uso degli strumenti indiretti

Da alcuni anni in Italia il settore della prevenzione del rischio sismico del patrimonio culturale ha visto la nascita di gruppi provenienti da numerosi enti e discipline<sup>1</sup> che, attraverso una collaborazione più o meno sinergica tra loro, hanno prodotto in alcuni casi risultati di grande rilevanza sotto il punto di vista teorico e metodologico<sup>2</sup>. In questo quadro, la recente pubblicazione da parte del Ministero per i Beni e le Attività Culturali delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale* (MIBAC 2010 e 2011) è stato un importante passo verso la regolamentazione e le definizione di criteri metodologici d'intervento nell'ottica della tutela e della prevenzione dell'edilizia storica situata in zona sismica<sup>3</sup>. Intervenire su un manufatto, ad esempio attraverso un restauro o mediante opere di manutenzione, significa però in molti casi andare a modificare, e talvolta a cancellare, i segni che gli interventi antropici e/o i fenomeni naturali hanno lasciato sulla sua struttura materiale nel corso del tempo. Gli edifici sono infatti caratterizzati da una serie di azioni distruttive e costruttive che li hanno portati a tra-

<sup>1</sup> In particolare architettura, ingegneria, sismologia, geologia e geomorfologia.

<sup>2</sup> Un esempio fra tutti il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT), costituito presso il CNR nel 1983, nel quale collaboravano ricercatori dell'INGV, del CNR, di altri Enti di Ricerca, delle Università e di imprese private ed il cui assetto strutturale, a cui inizialmente venivano assegnati importanti compiti di consulenza nei confronti degli Enti locali, operativi e di coordinamento delle attività scientifiche nel caso del pronto intervento e delle gestioni di crisi, era quello di un gruppo di coordinamento della ricerca scientifica nel settore della mitigazione del rischio sismico. Fu trasferito all'INGV nel 1999. Negli anni Ottanta-Novanta fu l'ambito della rinascita della sismologia storica italiana e produsse i cataloghi PFG, NT e CPTI99. Attualmente vive una situazione di stallo (<http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/> e <ftp://ftp.ingv.it/pro/gndt/Homepage.htm>).

<sup>3</sup> Approfondimento sul rapporto fra linee guida ministeriali e l'archeologia nell'introduzione al libro.

sformarsi, modificando di volta in volta il loro aspetto. Gli eventi che si sono succeduti, impressi come tracce ancora oggi in gran parte visibili sui paramenti murari, costituiscono fra i segni più evidenti della storia evolutiva dei Complessi Architettonici e dell'intero contesto di studio nel quale essi si situano e devono perciò essere correttamente registrati, analizzati ed interpretati. Tale operazione risulta di fondamentale importanza nell'ottica della conoscenza del manufatto da indagare e di tutti gli aspetti sociali, economici e politici che nei diversi periodi storici hanno ruotato intorno ad esso.

Fra gli elementi che maggiormente aiutano nella definizione della storia costruttiva delle strutture architettoniche ubicate in zone a rischio sismico ci sono tutte quelle azioni distruttive (crolli, dissesti, fessurazioni, deformazioni della superficie ecc.) e costruttive (restauri post-sisma, elementi costruttivi messi in opera per la mitigazione e riduzione dei meccanismi di danno ecc.) strettamente correlate alla sismicità storica del contesto di studio. L'interpretazione delle dinamiche che si instaurano fra un Complesso Architettonico ed i terremoti storici che hanno interessato la sua zona di pertinenza permette infatti di delineare una 'storia sismica' dell'edificio offrendo, a sua volta, spunti di riflessione inediti alla conoscenza delle caratteristiche sismiche dell'area analizzata. Per questo motivo, così come proposto dalle linee guida ministeriali, risulta quindi indispensabile prevedere in fase progettuale, preliminarmente all'intervento diretto, un'attenta conoscenza del manufatto architettonico. Questa operazione, basata su una serie di analisi fra le quali occupa un posto rilevante l'anamnesi dell'edificio, non può però prescindere da tutte quelle operazioni tese allo studio e all'interpretazione del processo costruttivo ed evolutivo dello stesso. Una metodologia d'indagine che deve quindi considerare un punto centrale della sua linea operativa il processo archeologico di analisi dell'edilizia.

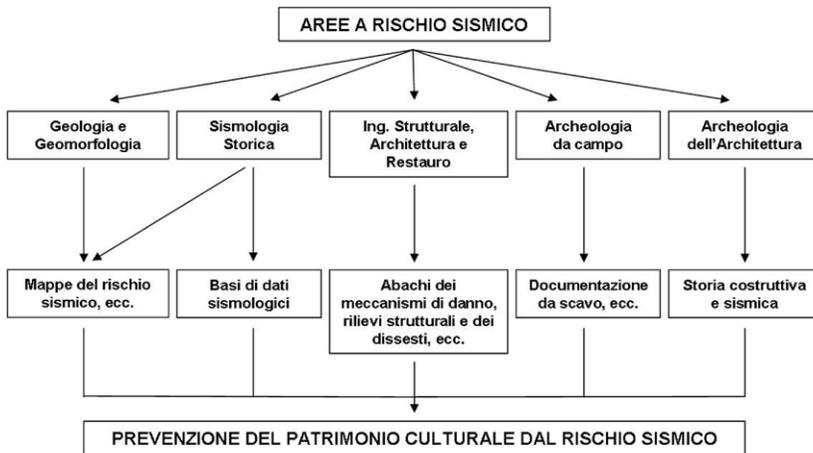
In Italia l'indagine archeologica degli elevati in aree a rischio sismico è ad oggi una disciplina 'giovane' ed eterogeneamente trattata. I progetti editi si pongono attualmente fra esempi applicativi empirici effettuati su singoli contesti e studi teorici ancora non del tutto concretizzati<sup>4</sup>. Il punto di vista archeologico risulta essenziale nei progetti sul rischio sismico; valutare i sistemi costruttivi e le trasformazioni subite da un Complesso Architettonico rappresenta infatti un primo passo verso la progettazione e l'esecuzione di una vera e propria prassi operativa che, partendo dalle consuete analisi proprie della disciplina (ricognizione, lettura stratigrafica, analisi cronotipologica ecc.), potrebbe ottenere una sua caratterizzazione, mettendosi in relazione con tutte quelle professioni che si occupano di ter-

<sup>4</sup> Le possibilità offerte dall'applicazione del metodo archeologico all'analisi di edifici storici ubicati in aree a rischio sismico vengono trattate nello specifico all'interno del capitolo 2 e trovano un'applicazione diretta nel caso studio proposto nel capitolo 3.

remoti da molto tempo. L'archeologia dell'architettura in particolare, attraverso le metodologie d'indagine sviluppate e raffinate dalla fine degli anni Settanta ad oggi, può concretamente contribuire alla prevenzione del rischio sismico del Patrimonio Culturale.

Per ottenere tali risultati l'archeologo deve però innanzitutto sapersi confrontare con la moltitudine di figure professionali che attualmente operano nel settore del rischio sismico, cercando di valutare gli approcci adottati dai professionisti di altri settori in relazione alle finalità dei progetti di analisi o intervento da loro eseguiti. In particolar modo l'archeologo deve essere in grado di conoscere gli strumenti utilizzati da questi professionisti, in modo da comprendere quali elementi potrebbero essere utili alle proprie esigenze e, al contempo, elaborare risultati integrabili alle loro specifiche ricerche, nell'ottica di costituire un'unica banca dati condivisa, completa ed implementabile.

Fig. 1 – Lo schema mette in evidenza gli strumenti e le metodologie d'indagine utilizzate dalle discipline che si occupano di rischio sismico nell'ottica di una loro possibile integrazione nella prevenzione del Patrimonio Culturale (Arrighetti 2013b).



Nei paragrafi seguenti vengono quindi trattati sinteticamente alcuni fra gli elaborati essenziali prodotti ed utilizzati dai professionisti che si occupano di rischio sismico. Un aspetto essenziale dell'analisi proposta sarà quello di cercare di capire quali, quante e in che modo queste metodiche possano risultare utili all'archeologo e come quest'ultimo possa a sua volta apportare le proprie competenze in questo tipo di studi. La trattazione risulterà in qualche caso didattica ma tale forma è stata scelta per introdurre l'archeologo verso discipline non comunemente affrontate nel suo percorso di studi e di lavoro.

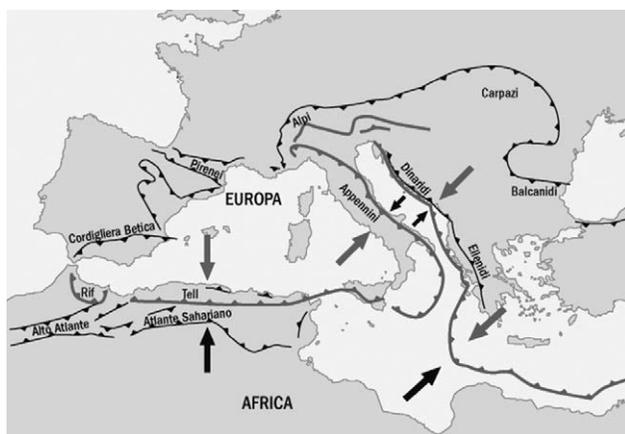
## I. Le mappe di pericolosità sismica

### I.1. Sismicità del territorio italiano

L'Italia è uno dei paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, per la sua particolare posizione geografica, nella zona di convergenza tra la placca africana e quella eurasiatica (figura 2).

Il paese, negli ultimi 2500 anni, è stato interessato da più di 30.000 eventi sismici di media e forte intensità (superiore al V grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg), dei quali circa 560 di intensità uguale o superiore all'VIII grado (in media uno ogni quattro anni e mezzo). Solo nel XX secolo, ben sette terremoti hanno avuto una magnitudo uguale o superiore a 6.5 (con effetti classificabili tra il X e l'XI grado Mercalli-Cancani-Sieberg)<sup>5</sup>.

Fig 2 – Rappresentazione schematica dei margini di placca per l'area mediterranea. (Fonte: sito Internet della Protezione Civile)



Considerando quindi i terremoti fino al VI grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS), cioè gli eventi con una intensità tale da produrre solo danni lievi al costruito, tutto il territorio nazionale è stato almeno una volta interessato da effetti di danno causati da terremoti. L'Italia è dunque un paese ad elevata sismicità, caratterizzato da aree nelle quali i terremoti avvengono spesso ma sono di bassa energia (ad esempio Colli Albani a Sud di Roma, area vesuviana e area etnea) e da altre invece dove i terremoti avvengono più raramente ma sono di elevata energia (ad esempio

<sup>5</sup> Per maggiori informazioni sulla terminologia specialistica utilizzata all'interno del libro (ad esempio magnitudo, intensità, Scala Richter, Scala Mercalli-Cancani-Sieberg ecc.) si può fare riferimento alla sezione *Rischio Sismico* del sito della Protezione Civile ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it)).

Appennino calabro e Sicilia orientale). La sismicità più elevata si concentra nell'Appennino centrale e meridionale (Val di Magra, Mugello, Val Tiberina, Val Nerina, Aquilano, Fucino, Valle del Liri, Beneventano, Irpinia), nella Calabria, nella Sicilia orientale e in alcune aree settentrionali, come il Friuli, parte del Veneto e la Liguria occidentale.

## 1.2 Le mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale

La conoscenza della 'sismicità' italiana, ovvero della frequenza e della forza con cui si manifestano i terremoti, è resa possibile dal grande numero di documenti ed informazioni sugli effetti che nel passato i terremoti hanno provocato nelle diverse aree geografiche della nostra penisola. Per ciascuna sappiamo quanti terremoti le hanno interessate, almeno nell'intervallo di tempo per il quale sono disponibili le informazioni, e quanto sono stati violenti.

Le prime considerazioni sull'origine dei terremoti e sulle caratteristiche sismiche del territorio italiano si rintracciano già nelle opere dei filosofi greci e romani<sup>6</sup>, le cui spiegazioni risultano basate sulle conoscenze, le teorie scientifiche e i quadri descrittivi dell'epoca<sup>7</sup>. Solo nel XIX secolo, con lo sviluppo delle scienze sismologiche, iniziano ad essere pubblicate ricerche sulle cause e sulla distribuzione geografica dei terremoti. La diffusione degli strumenti sismici dalla fine del XIX secolo e delle reti di monitoraggio nel XX secolo ha dato l'impulso definitivo alle analisi per la caratterizzazione sismica del territorio. Proprio da questi studi prende forma il concetto di 'pericolosità sismica', ovvero la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco di interesse. Ne consegue che la pericolosità sismica di un territorio è tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato.

Da questi studi prendono forma le *Mappe di pericolosità sismica del territorio nazionale* (figura 3) impiegate, soprattutto negli ultimi anni, nelle analisi territoriali e regionali finalizzate a zonazioni (pericolosità di base per la classificazione sismica) o micro-zonazioni (pericolosità locale).

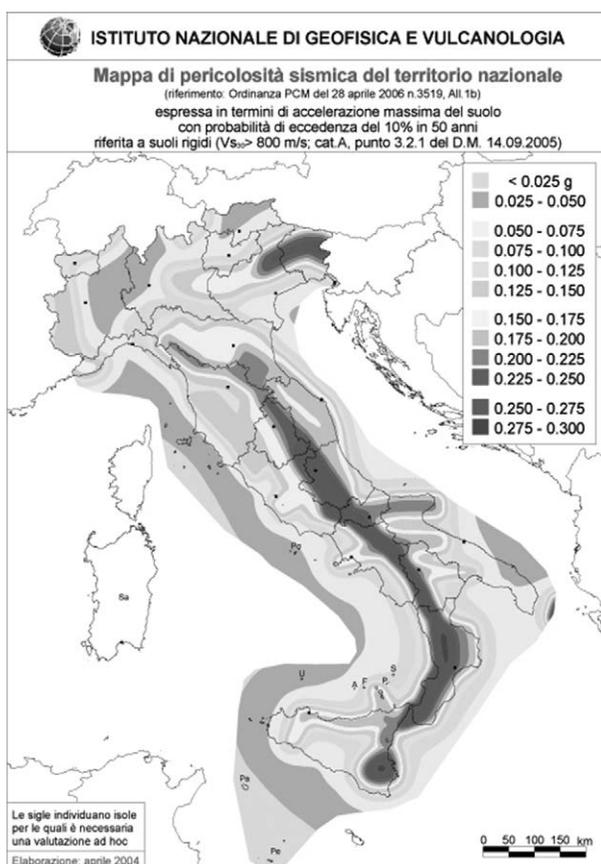
A livello generale la pericolosità sismica del territorio nazionale può essere concentrata in 4 zone.

<sup>6</sup> Solo per citarne alcuni, spiegazioni ai terremoti derivate dall'osservazione dei fenomeni naturali si rintracciano in: Anassimene, Anassagora, Democrito, Talete, Aristotele, Lucrezio, Seneca e Plinio.

<sup>7</sup> Molto diffusa era l'idea che i terremoti fossero provocati da 'qualcosa' (spesso aria o vapori) che, rinchiusa nelle viscere della terra, cercava di fuoriuscire e, trovando ostacolo, scrollasse e squarciasse la terra stessa. Per questo motivo, dall'epoca romana fino almeno alla metà del Settecento, spesso veniva adottata la precauzione di scavare profonde cavità artificiali (pozzi o gallerie) nel tentativo di salvaguardare gli edifici dalle scosse sismiche (Castelli 2010).

- Zona 1: è la zona più pericolosa, dove sono molto probabili forti terremoti. Comprende 725 comuni.
- Zona 2: nei comuni inseriti in questa zona i terremoti forti sono mediamente poco frequenti. Comprende 2.344 comuni.
- Zona 3: i Comuni compresi in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti moderati ma frequenti. Comprende 1.544 comuni.
- Zona 4: è la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona si possono avere terremoti di energia moderata e non frequenti. Comprende 3.488 comuni.

Fig. 3 – Mappa di pericolosità sismica del territorio italiano. (Fonte: sito internet INGV)



In termini di pericolosità sismica locale esistono invece mappe a livello regionale e comunale che permettono una caratterizzazione puntuale del territorio (figura 4).

Fig. 4 – Classificazione pericolosità sismica della Regione Toscana per singoli comuni. (Fonte: sito internet Regione Toscana – sezione Rischio Sismico)



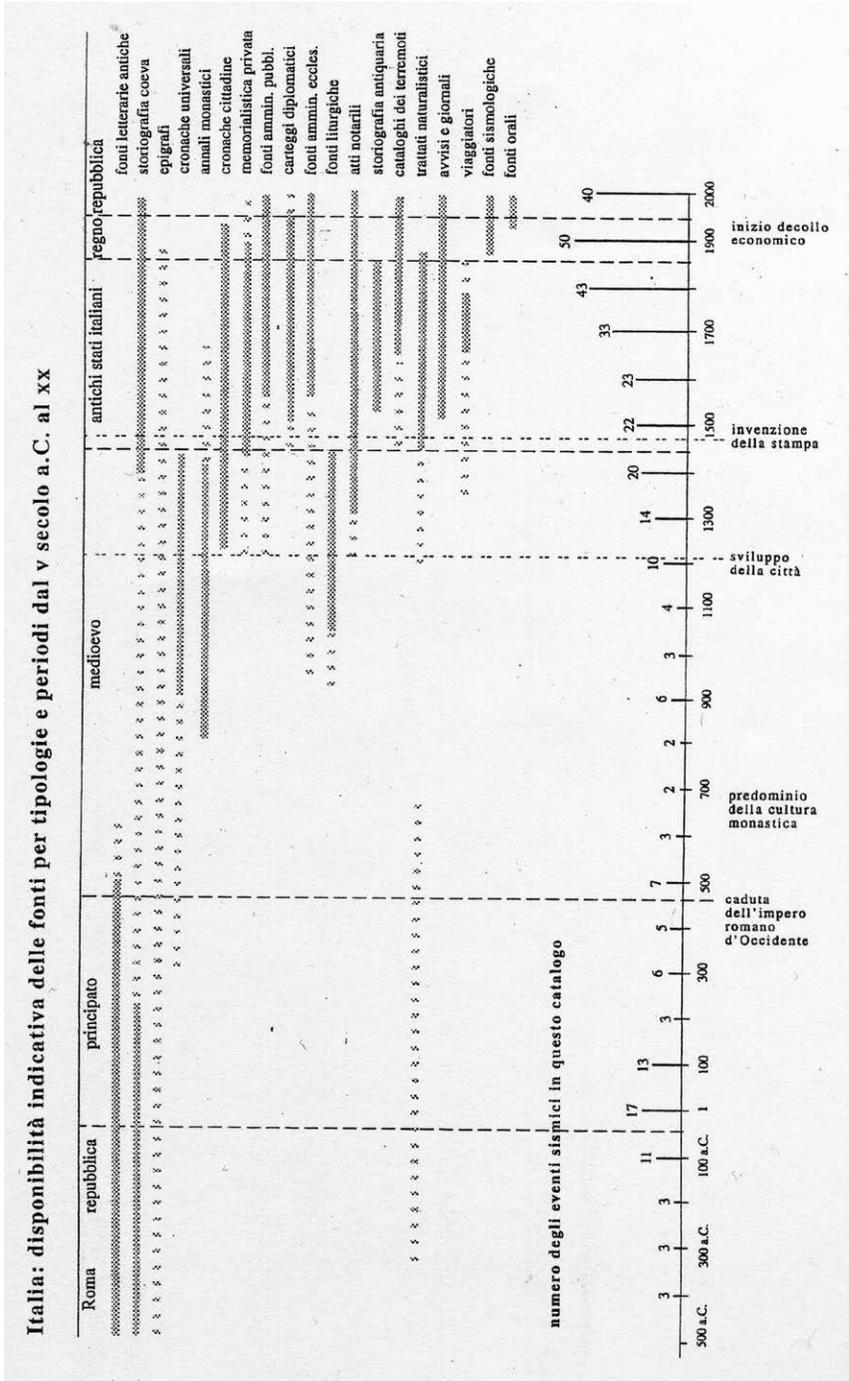
In un'analisi archeosismologica, questo tipo di cartografia generale o di dettaglio risulta estremamente utile nella scelta dell'area campione e nella contestualizzazione della stessa in rapporto alla possibile presenza di antichi fenomeni sismici o al reale rischio futuro di eventi.

## 2. Le basi di dati sismologici

### 2.1 La sismologia storica

La sismologia storica è la disciplina che, raccogliendo ed interpretando criticamente le informazioni con i metodi della ricerca storica e traducendoli poi in chiave di scala macrosismica, permette di ricostruire il quadro degli effetti dei terremoti passati e derivarne i parametri epicentrali. Questa disciplina contribuisce dunque al miglioramento delle conoscenze sulla pericolosità sismica del territorio.

Fig. 5 - Disponibilità indicativa delle fonti per tipologie e periodi dal V secolo a.C. al XX secolo d.C. (Fonte: Boschi et al. 1995: 40)



La sismologia utilizza come fonti della sua ricerca due grandi contenitori di memoria: quello delle singole persone e quello delle istituzioni. Entrambi risultano immersi nel loro tempo e permeati della loro cultura e sono perciò 'filtri' potentissimi fra i fenomeni che accadevano e la nostra attuale possibilità di comprenderli. Dei due gruppi le fonti istituzionali sono quelle che, in linea di massima, consentono di conoscere in modo più efficace gli elementi chiave dell'impatto di un disastro sismico nelle strutture edilizie, economiche ed amministrative di una società; la motivazione risiede nel fatto che questo tipo di documenti risulta prodotta all'interno delle regole e degli usi amministrativi, burocratici e giuridici che caratterizzano la gestione di un territorio, offrendo una concentrazione di dati maggiore, meglio conservata nel corso del tempo e spesso riferita ad ambiti territoriali più ampi. Risulta dunque indispensabile analizzare le fonti in relazione alle realtà storiche, demografiche ed edilizie che caratterizzavano il contesto di studio sottoposto ad analisi ed il periodo cronologico di riferimento.

Le fonti devono pertanto essere vagliate ed analizzate tenendo conto che i terremoti sono accaduti, e accadono, in un ambiente profondamente e anticamente antropizzato, come ad esempio quello italiano, e che nei loro effetti vi è anche la storia delle possibilità economiche, delle scelte edilizie operate nel tempo, dei livelli di vulnerabilità degli edifici, delle decisioni amministrative, e in senso lato politiche, che hanno caratterizzato le ricostruzioni. Assieme a questi elementi emergono anche le tracce strutturanti delle mentalità e delle risorse culturali (Boschi *et al.* 1995: 40). Appare quindi ovvio che la qualità e la quantità delle fonti pervenute varia in modo sostanziale da società a società, da periodo a periodo, e così via (figura 5). In linea generale è possibile quindi affermare che prima dello Stato unitario (e della conseguente individuazione di enti preposti alla raccolta di informazione sugli effetti dei terremoti in tutto il territorio nazionale) è altamente improbabile escludere a priori che qualsiasi tipo di fonte possa fornire informazioni sugli effetti di un terremoto.

## 2.2 I terremoti nelle fonti storiche<sup>8</sup>

Il presente paragrafo si propone di delineare un quadro sintetico e generale del complesso rapporto tra la società (con particolare riferimento agli elementi economici, politici, sociali e culturali che la caratterizzano) ed i fenomeni sismici. Tale percorso, quando la documentazione disponibile lo ha permesso, ha seguito tre linee di sviluppo:

- come i fattori socio-culturali abbiano contribuito in modo piuttosto evidente alla trasmissione soggettiva da parte dello scrittore di questi eventi nelle fonti scritte;

<sup>8</sup> I dati e le informazioni mostrati nei sottoparagrafi 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 e 2.2.4 fanno riferimento alle seguenti pubblicazioni: Boschi *et al.* 1995, Boschi *et al.* 1997, Guidoboni *et al.* 1995, Guidoboni, Comastri 2005.

- come le caratteristiche dell'edilizia che caratterizzava il periodo storico abbia permesso una maggiore o minore resistenza all'azione del sisma;
- come le popolazioni, i poteri centrali o le maestranze abbiano cercato di contrapporsi agli effetti distruttivi di un terremoto, prevenendoli o ricostruendo gli edifici in fase post-sisma.

La breve trattazione inizia dal Medioevo e termina con l'Età Contemporanea. Per la prima parte si è ritenuto necessario porre una suddivisione fra Alto Medioevo e Basso Medioevo in quanto le società, e gli episodi ad esse correlati, nei due periodi storici vengono caratterizzate da profonde diversità difficilmente integrabili tra di loro.

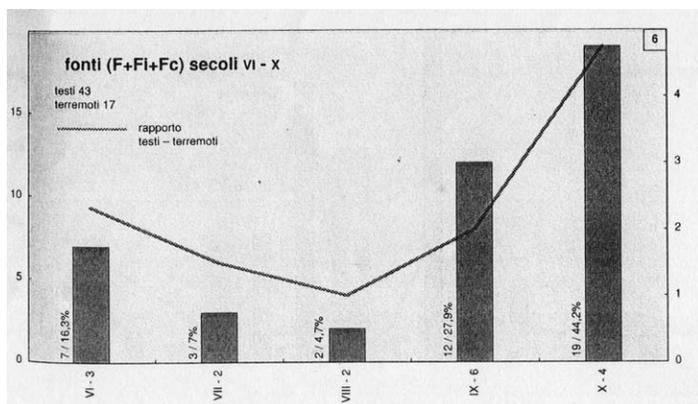
### 2.2.1 Alto Medioevo (V-X secolo)

Nell'Alto Medioevo il numero di informazioni rintracciabili nelle fonti riguardanti eventi sismici risulta molto esiguo rispetto a quelle trasmesse dalle fonti romane e tardo antiche, benché in quest'ultimo caso ci siano arrivate fonti prodotte quasi esclusivamente da Roma, centro politico e crocevia di scambi di un'area vastissima. Nello specifico, in Italia, nel primo Medioevo, il ricordo degli eventi non contiene che raramente riferimenti alle aree colpite, e quasi sempre generiche informazioni; l'indicazione di qualche località si può sporadicamente desumere dalla sede da cui scriveva l'autore o dalla sua area di interesse. Talvolta, le notizie sembrano motivate dall'intento di accostare al fenomeno naturale avvenimenti ritenuti dall'autore importanti per la vita politica del tempo, o per sottolineare un concorso di eventi indicatori della rottura dell'ordine naturale e politico. In molti casi assistiamo a fonti più tarde che ci tramandano terremoti avvenuti nell'Alto Medioevo, anche se la maggior parte dei riferimenti della tradizione tardo-umanistica, e successivamente di quella erudita del Seicento e del Settecento, sono risultati spesso falsi. Malintese attribuzioni di effetti sismici a fenomeni invece diversi, gusto del fantastico, date scorrette (mal copiate dai manoscritti o erroneamente interpretate) hanno generato notizie di terremoti inesistenti. Le principali tipologie di fonti altomedievali che ci tramandano informazioni sui terremoti sono gli annali monastici. Se mettiamo in rapporto i secoli con le testimonianze prodotte, il grafico che ne deriva sembra mostrare un calo nella produzione di fonti nell'VIII secolo per poi risalire nel IX e X secolo (figura 6).

Analizzare quale, o più precisamente quali siano le cause di un simile vuoto di informazioni nelle fonti altomedievali, risulta un compito che non può trascendere dall'analisi del contesto sociale, economico e politico nel quale i terremoti sono avvenuti. Lo spopolamento, il restringersi dei perimetri urbani, l'abbandono di precedenti centri del potere e la formazione di nuovi, soprattutto nelle campagne, la dissoluzione della rete viaria antica furono elementi che modificarono profondamente non solo la possibilità di diffusione delle notizie concernenti disastri sismici, ma anche il quadro

stesso degli effetti. Ed a questi aspetti riguardanti la mutata struttura paesistica, economica, sociale ed abitativa si sono poi aggiunte varianti dovute ad una diversa sensibilità culturale nei confronti delle calamità.

Fig. 6 – Tabella riassuntiva del rapporto fra testi e terremoti dell'Alto Medioevo. (Fonte: Boschi et al. 1997: 41)



Dal punto di vista 'topografico', nell'Alto Medioevo, raramente troviamo descritto un quadro di effetti sismici disastrosi relativo ad un centro abitato in Italia e fuori; quando questo succede, le poche parole spese, riflettono un contesto di generale decadimento<sup>9</sup>. Rare sono le informazioni che riguardano danni sismici alle città italiane e si riferiscono per lo più ai nuovi centri del potere o alle città controllate dai bizantini, che mantennero una fisionomia urbana superiore a quelle del territorio longobardo e poi franco. Le fonti inoltre, quando presenti, concentrano la loro attenzione sulle città più importanti, raramente sulle città minori e sui borghi, più facilmente sui grandi monasteri. Talvolta è da sottolineare l'imprecisione del ricordo a rendere impossibile la localizzazione di un terremoto. Relativamente all'annotazione da parte degli scrittori delle tipologie di danno occorse agli edifici durante un sisma, le notizie di crolli per cause sismiche di determinati edifici (quasi sempre edifici sacri) possono essere considerate una vera rarità.

In molti casi la cronaca riporta un crollo senza che ne venga spiegata la causa; un'informazione che ovviamente risulta parzialmente utile nell'ottica della ricostruzione degli scenari attivati da un sisma, in quanto i danni descritti potrebbero essere stati causati da molteplici fattori che esulano dall'evento tellurico (ad esempio relativi al cattivo stato di conservazione dell'edificio o ad altri fenomeni naturali come smottamenti).

<sup>9</sup> Un esempio in tal senso proviene dalla breve descrizione di alcune fonti scritte successive al terremoto di Magonza dell'858, dove le strutture edilizie colpite dal sisma vengono così descritte: «antiche macerie spaccate dal terremoto».

Risulta utile poi sottolineare che nonostante l'Italia sia un'area quasi interamente sismica, il ricordo degli eventi non risulta omogeneo in tutte le regioni; spesso non era lo scenario sismico il punto fondamentale della descrizione, ma qualche luogo in esso compreso, a cui era legato la presenza di un santo, di un potente, di un personaggio di cui si narravano le vicende. Il ricordo sembra quindi più motivato dalle coincidenze che il terremoto contribuiva a creare nell'equilibrio della narrazione, che dalla estensione e gravità dei suoi effetti.

Nell'Alto Medioevo quindi, un periodo storico tormentato da guerre, incursioni, invasioni, impoverito nelle strutture amministrative e produttive e con rilevanti flessioni demografiche, gli effetti delle calamità naturali si sovrapponevano probabilmente nelle città agli effetti di un degrado edilizio di lungo periodo. Potevano probabilmente esserci crolli, che, stante la larga presenza di edifici costruiti in legno, non causavano vittime, togliendo in gran parte ai forti terremoti quel carattere devastante che ebbero in seguito, o addirittura trasformando i crolli di edifici antichi in muratura, in 'provvidenziali' occasioni di recupero di materiali da costruzione. Non di rado il terremoto nelle fonti è evidenziato più come elemento additivo in un quadro di vita sociale già profondamente compromesso, che come causa diretta di danni.

In merito agli effetti del sisma sugli insediamenti rurali, partendo dall'analisi delle tipologie edilizie presenti nell'Alto Medioevo, ricostruite principalmente da studi archeologici, potremmo arrivare ad alcune considerazioni. Questi, dato il loro caratteristico materiale da costruzione, il legno, garantivano una maggiore sicurezza abitativa in caso di terremoto, pertanto potrebbero far supporre che gli effetti dei grandi fenomeni sismici fossero percepiti dalle persone in modo assai minore rispetto a quelli di un'incursione, di una guerra, di una siccità, eventi che potevano compromettere la vita delle persone, distruggere i raccolti, azzerare i mezzi di sussistenza, in un sistema economico in cui le rese agricole erano di vitale importanza.

Tenendo conto di quanto indicato dalle pubblicazioni dei sismologi, sembra quindi possibile fissare alcuni punti fermi che hanno determinato il gap di informazioni sui terremoti nelle fonti altomedievali:

- nei grandi monasteri e negli episcopati, benché la tradizione annalistica e cronachistica risulti rilevante, la distribuzione geografica e cronologica di tali fonti appare estremamente disomogenea e lacunosa;
- l'elemento socio-culturale ha svolto un ruolo di primo piano nell'annotazione degli eventi sismici: monaci e chierici, a cui si deve la maggior parte delle fonti pervenuteci fino al X secolo, sovente erano portati a considerare le calamità in funzione dei doveri religiosi, come castighi inflitti da Dio o segnali di squilibri politici e di altre forme di turbamento dell'*ordine*;
- la difficoltà obiettiva delle comunicazioni delle notizie di eventuali sismi;

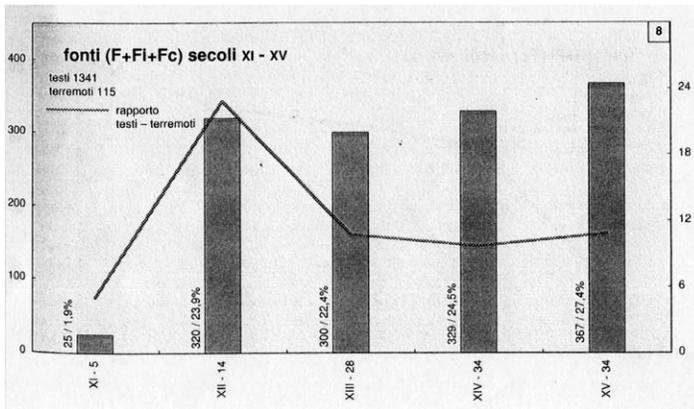
- gli elementi che caratterizzarono i modi dell'abitare e che conseguentemente determinarono gli scenari sismici reali: i grandi spazi non abitati entro le mura urbane potevano attenuare gli esiti distruttivi di un terremoto; nella campagna e nella città un uso consistente, quando non esclusivo, nell'edilizia privata di materiali leggeri (legno, frasche, paglia ecc.) poteva mitigare in modo determinante gli effetti distruttivi dei terremoti.

### 2.2.2 Basso Medioevo (X-XV secolo)

Le fonti analizzate dai sismologi per il periodo del Pieno e del Basso Medioevo si concentrano quasi esclusivamente in determinate aree del nord e del centro Italia. Per l'Italia insulare e meridionale (in particolare per la Calabria, la Basilicata e la Sicilia) la situazione documentaria presenta ampie lacune. Tale diversa potenzialità documentaria potrebbe essere ricondotta ad un fattore di base diversificante: l'Italia del Nord era culturalmente e geograficamente connessa all'Europa germanica e franca, elemento che favoriva la circolazione delle informazioni su un territorio assai ampio, oltre a consentire un contatto diretto con le aree colpite da parte di un numero potenzialmente alto di testimoni; la Sicilia, invece, oltre a comprendere un territorio assai limitato e per di più circondato dal mare, apparteneva ad un sistema di scambi solo in parte allargato anche al centro dell'Italia e con forti legami con la cultura araba.

In generale, rispetto all'Alto Medioevo, in questo periodo si attesta un incremento delle fonti coeve con una sostanziale omogeneità di produzione bibliografica nei vari secoli, facendo eccezione per l'XI secolo (figura 7).

Fig. 7 – Tabella riassuntiva del rapporto fra testi e terremoti del Basso Medioevo. (Fonte: Boschi et al. 1997: 43).



Nell'XI-XII secolo le principali fonti che offrono notizie di eventi sismici per il nord e per il sud sono gli annali e le cronache, che conservarono una costante attenzione all'avvenimento eccezionale, in particolare quello calamitoso (i monaci registrarono gli eventi in un'ottica profondamente spirituale) anche se spesso risultano imprecise e generiche. Accanto agli annali e alle cronache troviamo le fonti documentarie da cui sono emersi in alcuni casi le tracce indirette lasciate dalla società agricola, in cui il terremoto poteva divenire un elemento cronologico di riferimento per altri fatti ed eventi.

Dal XIII secolo il consistente aumento della popolazione urbana divorò gli spazi vuoti di case contenute nelle città. All'accresciuta densità abitativa si aggiunse, per quanto concerne i terremoti, un peggioramento dei livelli di sicurezza dovuto all'uso generalizzato di materiali sempre più pesanti anche nell'edilizia privata e all'abbandono, almeno in parte, di quelli vegetali, oltre che ad un accentuato sviluppo verticale delle costruzioni. I nuovi edifici furono, per di più, realizzati ovunque con tecniche estranee a sistemi di mitigazione degli effetti sismici, almeno secondo quanto è possibile valutare in base alle fonti storiche e ai numerosi edifici superstiti. Si verificò quindi dal punto di vista degli effetti sismici, un degrado delle condizioni abitative, proprio nella fase di maggiori sviluppo dell'economia urbana. Ciò concorse in modo determinante a peggiorare gli esiti dei terremoti nell'area italiana: gli spaventosi disastri sismici, di cui abbiamo dettagliate testimonianze nelle cronache e nelle fonti documentarie già ad iniziare dal XIV secolo, possono essere interpretati come uno degli effetti della crescita tumultuosa della città e della diffusione del modello urbano. Le fonti che maggiormente interessano il periodo del Basso Medioevo (XIII-XV secolo) risultano essere: le memorie cittadine (tradizioni locali che si affermarono e si radicarono proprio in questo periodo e che portarono alla nascita della storiografia urbana); le fonti pubbliche (le Riformagioni, le Delibere comunali, i Consigli, i Senati cittadini); i documenti dei poteri signorili (lettere, dispacci, biglietti, informative).

Dal 1449 assistiamo infine ad un aumento esponenziale della circolazione delle informazioni grazie all'invenzione della stampa, che nel giro di alcuni decenni influenzò radicalmente la cultura urbana, diffondendo ampiamente le notizie sui disastri sismici e, di conseguenza, aumentando la sensibilità delle popolazioni verso i medesimi.

### 2.2.3 Il Cinquecento<sup>10</sup>

Il Cinquecento italiano presenta numerosi archivi di notevole complessità e diversità; le fonti che forniscono maggiori informazioni sui terremoti

<sup>10</sup> Le informazioni di carattere generale sono tratte da: Guidoboni 1990; Boschi *et al.* 1995; Boschi *et al.* 1997.

risultano essere i documenti del settore finanziario e amministrativo e i carteggi (diplomatici e amministrativi).

Dall'analisi delle fonti si delinea un panorama caratterizzato da città costruite per essere le sedi dello splendore di una corte, nelle quali le rovine urbane causate da un terremoto costituivano spesso una perdita d'immagine e di prestigio. Ai danni sismici quindi il potere signorile rispondeva in fretta, seguendo un criterio di convenienza politica e di urgenza, arrivando talvolta alla fretteolosità più irresponsabile, quasi a voler negare quel 'segno' di sfavore divino che rappresentava il terremoto e che non di rado veniva strumentalizzato in chiave ideologica. Ricostruzioni affrettate di questo genere hanno sovente posto le premesse per i disastri successivi. Questa situazione non si riscontra invece nel Granducato di Toscana, dove nelle fonti archivistiche del XVI secolo ed oltre vengono riportate principalmente concessioni di esenzioni fiscali e di incentivi economici per la produzione e ricostruzione, con variabile disponibilità di denaro a tassi agevolati, somme messe a disposizione dalle casse dello Stato (anche se non in tutte le aree della stessa entità). Questa politica portò di conseguenza ad uno spirito più intraprendente di ricostruzione, che fu anche decisivo per favorire il radicamento e l'impegno alla ripresa delle aree colpite. Dal punto vista progettuale-costruttivo, risulta ad oggi un'eccezione di notevole importanza nel panorama nazionale di questo periodo, il trattato di Pirro Ligorio<sup>11</sup>, *Delli rimedi contra terremoti per la sicurezza degli edifici*. L'architetto, ospite presso la corte degli Estensi nel 1568, assistette personalmente ai danni al patrimonio edilizio causati dal terremoto di Ferrara del 1570-1574, fatto che lo colpì profondamente e lo portò a scrivere un trattato sul problema della difesa delle abitazioni dagli effetti distruttivi dei terremoti. Il documento rappresenta ad oggi un *unicum* nel panorama della difesa dal rischio sismico, in quanto vero e proprio progetto cinquecentesco di 'casa antisismica'. A tal proposito è importante ricordare che fin dall'età classica i filosofi, e successivamente gli architetti<sup>12</sup>, avevano ipotizzato per gli edifici rimedi empirici contro gli effetti dei terremoti partendo dall'analisi del problema a livello scientifico ed interpretativo (ad esempio scavando pozzi vicino alle abitazioni per far fuoriuscire i gas sotterranei considerati la vera causa dei sismi). Con Ligorio si ha un'evoluzione nella concezione del terremoto, in quanto l'attenzione dell'architetto viene invece posta sulle reali cause dei danni agli edifici, ovvero la vulnerabilità dei sistemi costruttivi legata alle scarse competenze tecniche delle maestranze locali; in questo senso l'architetto cercò quindi di individuare una serie di tecniche edilizie

<sup>11</sup> Inserito e commentato all'interno di un contributo di Emanuela Guidoboni (Guidoboni 1987).

<sup>12</sup> Ad esempio il Filarete nel dialogo sulle fondazioni del *Trattato di architettura* (quinto libro) teorizza l'applicazione di lasciare «vani nelle torri per farvi un pozzo per una [...]» in modo da ottenere un duplice vantaggio «l'una per l'acqua, l'altra per cagione de' terremoti [...]» (Di Pasquale 1986: 19).

che fornissero una risposta concreta dell'edificio ai movimenti tellurici<sup>13</sup>. Cosa ancor più sorprendente del trattato di Ligorio è inoltre l'impostazione utilizzata nel progetto; a tal proposito infatti viene proposto un modello operativo che deriva da un lato dalle pratiche edilizie utilizzate in quel periodo, e dall'altro dall'applicazione delle stesse in riferimento ai danni da terremoto osservati a Ferrara (prassi operativa che, nelle basi, ricorda molto quella utilizzata dagli ingegneri dal 1990 ad oggi<sup>14</sup>).

### 2.2.4 Cenni sui secoli post-cinquecenteschi

Nel XVII e XVIII secolo le informazioni sui disastri sismici e sugli interventi messi in opera a seguito di questi eventi si fanno sempre più numerose e, con il passare del tempo, è possibile delineare alcune linee di intervento attuate dai poteri centrali che occupavano il territorio italiano. Una testimonianza in tal senso viene riportata in un contributo di E. Guidoboni (Guidoboni 2009), relativa ai terremoti del 22 marzo 1661 e dell'11 aprile 1688, accaduti in un'area dell'Appennino Tosco-emiliano, sotto il dominio del Granducato di Toscana, e nella pianura romagnola, che apparteneva in parte allo Stato della Chiesa. In questo caso a seguito degli ingenti danni provocati da due forti sismi, i governi cercarono di attuare una propria politica di intervento: lo stato pontificio ripropose misure tradizionali quali l'esenzione dalle tasse e la possibilità, da parte degli abbienti, di prendere in prestito del denaro per le ricostruzioni; il Granducato di Toscana si adoperò con misure di intervento più mirate: spedì gli ingegneri per valutare lo stato di fatto e i reali danni patiti dagli edifici, mise a disposizione il denaro per le ricostruzioni ed infine avviò le riedificazioni o il restauro delle opere pubbliche.

Sul finire del Seicento e nel Settecento inoltre i poteri centrali cominciarono a considerare le distruzioni sismiche come occasioni di grandi interventi non solo per progettare nuovi spazi urbani o per modificare reti abitative, ma anche per imporre volti diversi ad abitati periferici, per ridisegnare l'identità preesistente, quasi sempre su basi intellettualistiche astratte (ne sono un esempio i terremoti del 1693 in Sicilia e quelli calabresi del febbraio-marzo 1783). L'abbandono forzato di paesi solo parzialmente distrutti è un'altra realtà storica poco nota ma comunque presente anche in periodi recenti (ad esempio il terremoto del 1857 in Basilicata). Il Settecento in particolare ha avuto non solo in Italia (si pensi al grande terremoto di Lisbona del 1755) grandi occasioni di progetti dovute a distruzioni sismiche di notevole portata.

<sup>13</sup> Una riflessione di questo tipo era già stata proposta da Leon Battista Alberti nel *De Re Aedificatoria* dove, tra le cause dei dissesti evidenti ed imprevedibili, l'autore metteva in primo piano «la negligenza e la trascuratezza degli uomini [...]». Tale riflessione, a differenza di quella di Ligorio, non si mette però in stretta correlazione con la volontà di difendersi dai terremoti, ma piuttosto come causa generale di danni agli edifici.

<sup>14</sup> A tal proposito si veda il paragrafo 3 del volume.

Dall'Ottocento, gli ordinamenti dell'Italia napoleonica posero nuove basi per gli interventi e le responsabilità nelle situazioni post-sismiche. In questo periodo furono infatti gettate le basi per un nuovo assetto amministrativo e burocratico nell'amministrazione del territorio italiano che, a differenza di quanto successo nei periodi precedenti, permise di affrontare il 'problema sismico' in modo pressoché univoco nelle varie parti d'Italia.

A seguito dell'Unità d'Italia, ed in particolare con il terremoto di Messina del 1908, ci fu una svolta nella gestione delle ricostruzioni. Il terremoto del 1908 segnò infatti l'inizio dell'azione dello Stato italiano per la riduzione degli effetti dei terremoti. La prima classificazione sismica del territorio nazionale con relative norme per le costruzioni nei territori classificati è datata al 1909.

### 2.3 Basi di dati sismologici

Le ricerche effettuate dai sismologi storici in Italia trovano un'applicazione diretta nella produzione di una serie di basi di dati incentrate sui principali terremoti avvenuti nel territorio italiano e nell'area mediterranea. Le pubblicazioni coprono in genere un arco cronologico molto lungo, definito *lungo periodo* (in alcuni casi ad esempio attestiamo cataloghi che spaziano dall'epoca romana fino ai giorni nostri), e vengono corredate da una serie di informazioni (datazione, coordinate dell'epicentro, magnitudo e intensità macrosismica stimate, studi di riferimento ecc.) estremamente importanti per le ricostruzioni dei contesti storici e geografici nei quali avvengono i terremoti. Ovviamente la quantità e la qualità di informazioni presenti all'interno di questi contenitori è influenzata in modo determinante dal numero e dalla qualità delle fonti analizzate. Se portiamo l'esempio del *Catalogo dei Forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980* prodotto nel 1997 (Boschi *et al.* 1997), per lo studio di un arco cronologico di più di duemila anni, gli autori hanno eseguito l'analisi di 559 terremoti, la cui stima non risulta inferiore al grado VIII MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg). La maggior parte delle basi dati sono disponibili online, completamente fruibili dal grande pubblico senza alcun tipo di limitazione. Questi strumenti, presentati sotto forma di GIS, integrano un apparato cartografico di dettaglio per ogni singolo terremoto con informazioni di base o, in alcuni casi, molto approfondite sull'evento.

In particolare, possiamo ritenere di particolare interesse per uno studio archeologico, in quanto archiviano una notevole mole di dati e permettono di interrogare i terremoti attraverso diverse modalità, le seguenti raccolte presenti in rete<sup>15</sup>:

<sup>15</sup> Le basi di dati proposte nell'elenco sono tutte a cura dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) e del GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti).

Fig. 8 – Schermata di consultazione interattiva per singoli eventi sismici (CPTI11).

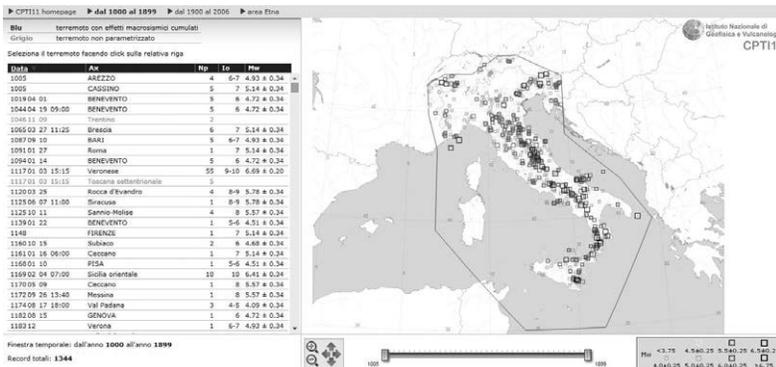


Fig. 9 – Interrogazione per terremoto: Mugello, 13 giugno 1542 (DBMI11).

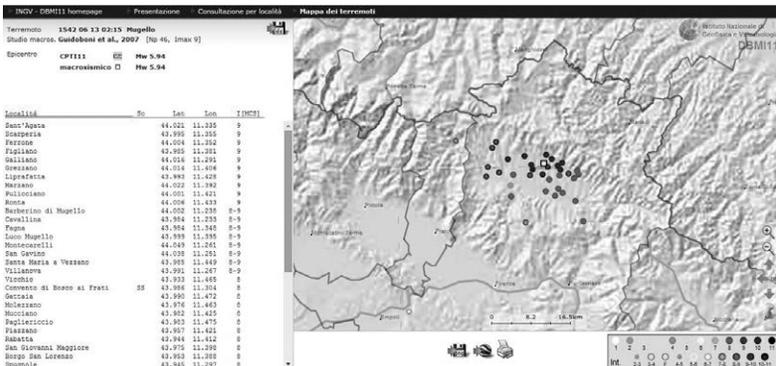
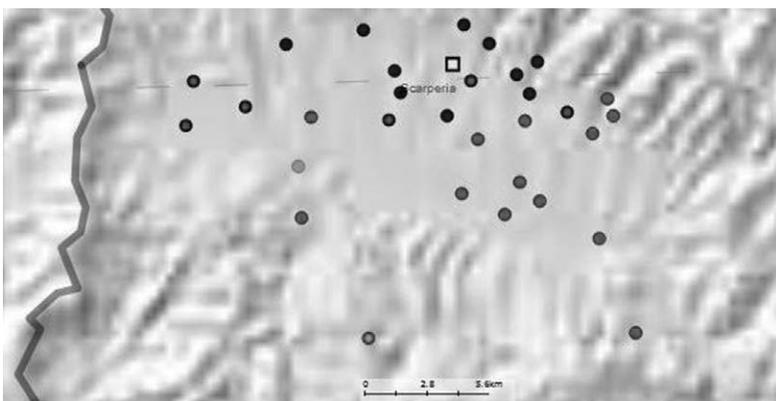


Fig. 10 – Particolare delle località interessate dal terremoto del 13 giugno 1542 in Mugello (DBMI11).



- *CPTI*<sup>16</sup>/*DBMI*<sup>17</sup>: catalogo parametrico<sup>18</sup> e database<sup>19</sup>, attualmente in via di aggiornamento<sup>20</sup>, che permettono di interrogare gli eventi sismici mostrati attraverso una 'stringa' di parametri (data, ora, localizzazione epicentrale, intensità, magnitudo, studio di riferimento ecc.). In particolare i punti di intensità (rappresentati da una 'stringa' di data, luogo, intensità osservata che rappresenta la sintesi degli effetti di un terremoto in una località, basata su un numero variabile di testimonianze che sono state precedentemente raccolte, vagliate ed interpretate in chiave di scala d'intensità da uno studio di sismologia storica più o meno elaborato) vengono usati per elaborare non solo i parametri dei terremoti che compongono i cataloghi ma anche per altri tipi di elaborati (ad esempio le carte della distribuzione degli effetti dei singoli terremoti e le storie sismiche di singole località).
- *CFTI4MED*<sup>21</sup>: si tratta di un ibrido fra un catalogo parametrico (contiene 'stringhe' di parametri) ed un database (contiene punti di intensità, bibliografie, commenti sintetici). Aggiornato al 2007, per l'area italiana raccoglie i dati tratti dal *Catalogo dei Forti Terremoti In Italia dal 461 a.C. al 1990* (Boschi *et al.* 1995), mentre per l'area mediterranea dal *Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10<sup>th</sup> century* (Guidoboni *et al.* 1994) e dal *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century* (Guidoboni, Comastri 2005). Il portale (figura 11) offre la possibilità di interrogare i dati presenti nel sistema per singolo terremoto. Le informazioni vengono presentate attraverso:

Fig. 11 – Homepage del *CFTI4MED*.



<sup>16</sup> <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI11/>.

<sup>17</sup> <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>.

<sup>18</sup> Il catalogo parametrico è una lista di terremoti.

<sup>19</sup> La banca dati è una raccolta di dati macrosismici di base.

<sup>20</sup> Attualmente i due siti sono fermi ai dati elaborati fino al 2007. La nuova versione è stata terminata alla fine del 2014 e tiene conto dei risultati di studi più recenti (ad esempio Molin *et al.* 2008; Camassi *et al.* 2011).

<sup>21</sup> Curato da Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. e Valensise G. e consultabile all'indirizzo <http://storing.ingv.it/cfti4med>.

Fig. 12 – Vista del CFTI4MED su Google Earth (esempio del terremoto di Scarperia del 1542).

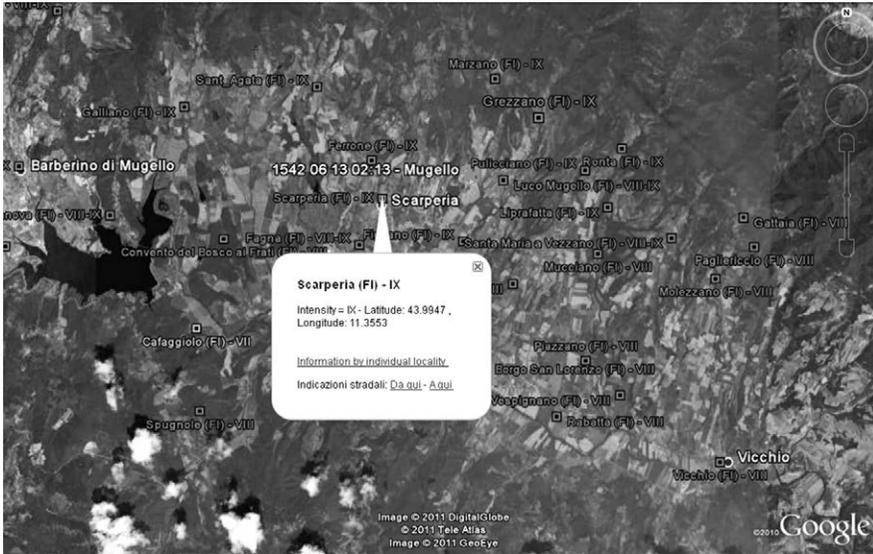


Fig. 13 – Database con le informazioni sul contesto interrogato ricavate dalle fonti scritte (esempio del terremoto di Scarperia del 1542).

**CFTI<sup>4</sup>MED** CATALOGUE of STRONG EARTHQUAKES IN ITALY 461 B.C. – 1997 and MEDITERRANEAN AREA 760 B.C. – 1500  
 An Advanced Laboratory of Historical Seismology – E.Guidoboni, G.Ferrari, D.Mariotti, A.Comastri, G.Tarabusi, G.Valensise

1:100000 Currently shown earthquakes: STRONG - INFO - HELP - CREDITS

**Identify/Query**

Earthquakes n. 1 Details

Date	Io	Me	Sites	Int
1542 06 13 9	5.9	46		

Click and drag to query an area

Date	Time	Lat	Lon	Rel Io	Imax	Sites	Arof	Mc	Rmic	Location	Country	New	Unk
1542 06 13 02:15 44		11.383	b	9	9	46	108	5.9	I	Mugello	Italy	*	

**Comments 13**

State of earthquakes review  
 Effects in the social context  
 Demography elements  
 Concurrent natural and man-induced destructive events

**Bibliography 108**

Adriani G. Istoria de' suoi  
 Agricola De la natura di  
 Agricola De natura eorum  
 \* Ain  
 Ammirato Dell'istorie

**Felt Localities 46**

Expression	Io	Int
Marzano (FI)	IX	
Puliccano (FI)	IX	
Ronta (FI)	IX	
Sant'Agata (FI)	IX	
Scarperia (FI)	IX	
San Giovanni Maggiore (FI)	IX	

**Information by individual locality**

Nella località numerose case crollarono completamente. Secondo una testimonianza coeva nei centri di Ronta e Puliccano si contarono più di 100 edifici atterrati. La stessa fonte tramanda la notizia della rovina di tutte le chiese e della morte di 25 persone nelle suddette località (1). Altre testimonianze attestano la rovina di gran parte della chiesa (2) e di parte del castello (3).

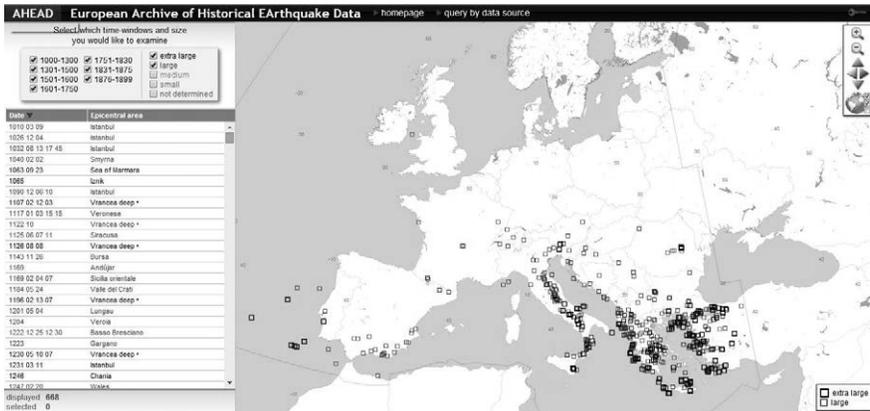
**Note**

(1) Una lettera de-la discription del Terremotto che è stato in Toscana, la qual narra particolarmente tutte le terre che son ruinate & le persone morte, & li fuochi

Storia Geografica Ambiente

- un database che raccoglie tutte le informazioni estratte dalle fonti storiche sul contesto (aspetti sociali, demografici, storici, ricostruzioni, danni ecc.) con informazioni consultabili per ogni singola località coinvolta nel terremoto (figura 13);
  - una cartografia dove vengono localizzate area epicentrale e località coinvolte nel terremoto, accompagnate dall'intensità macrosismica registrata o presunta;
  - un file che permette una visualizzazione delle informazioni del punto precedente (aggiungendo in alcuni casi coordinate e magnitudo stimata) importabile e visualizzabile sul software Google Earth (figura 12).
- *AHEAD 2013-2014*<sup>22</sup>: portale europeo che consente di accedere alla copia digitale degli studi usati per elaborare ogni 'stringa' di parametri presente. Rappresenta dunque una versione più estesa di quello che in CFTI4MED è rappresentato dalle liste di intensità, la bibliografia ed i brevi commenti. Per l'Italia permette interrogazioni per aree e finestre temporali di riferimento che offrono ad esempio la possibilità di ricavare la sismicità di un'area circolare o poligonale di varie dimensioni intorno alle località di interesse e vedere quali terremoti le hanno caratterizzate in intervalli temporali di riferimento.

Fig. 14 – Schermata di interrogazione dei singoli terremoti (AHEAD).



<sup>22</sup> <http://emidius.eu/AHEAD/index.php>.

Fig. 15 – Interrogazione del terremoto del 13 giugno 1542 in Mugello (AHEAD).

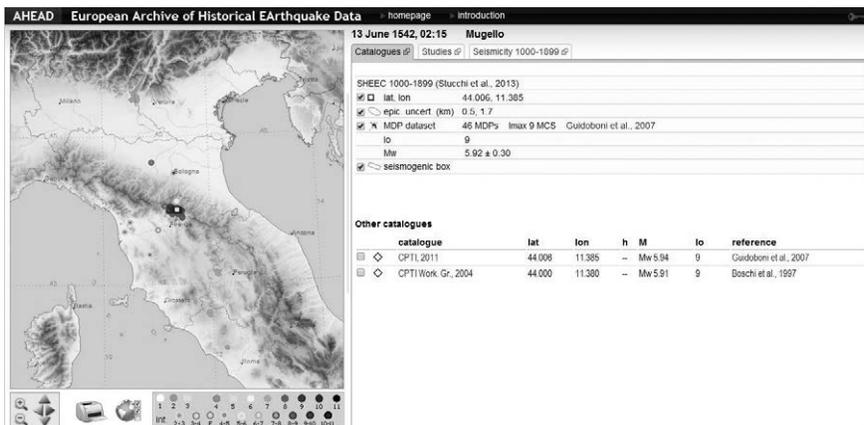
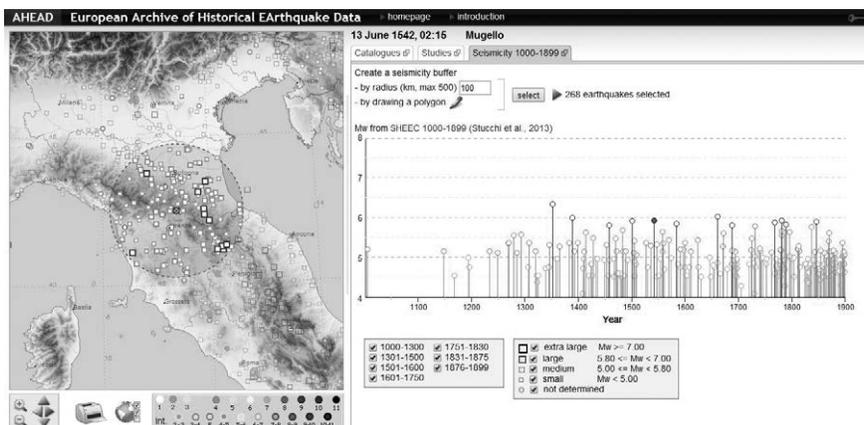


Fig. 16 – Sismicità e localizzazione degli eventi che dal 1000 al 1899 hanno interessato un'area circolare di 100 km di raggio intorno al territorio del Mugello (AHEAD).



## 2.4 Conclusioni

Ne possiamo dedurre che la consultazione delle informazioni contenute nelle basi di dati sismologiche è una prassi assolutamente necessaria in qualsiasi tipo di studio riguardante zone a rischio sismico (da quello ingegneristico, a quello architettonico, archeologico, geologico e così via). In particolare, in campo archeologico questi portali risultano strumenti di primaria importanza come:

- 'raccolta' di fonti storiche relative al contesto preso in esame;
- base per una prima definizione del contesto di studio, alla quale deve necessariamente seguire un'attenta ricognizione di superficie;
- elemento aggiuntivo per l'interpretazione del dato archeologico emerso dalla lettura stratigrafica degli edifici;
- indicatore cronologico specifico correlabile agli eventuali danni o ricostruzioni riscontrati dall'analisi diretta sull'edificato, arrivando talvolta a fornire, a margine dell'analisi stratigrafica, una cronologia assoluta ad interfacce positive o negative.

### 3. Gli abachi dei meccanismi di danno per macro-elementi

#### 3.1 Introduzione alla vulnerabilità dell'edificato storico

Benché il numero dei disastri sismici in Italia sia uno dei più elevati dell'intero bacino mediterraneo, l'attività sismica non può essere definita fortissima dal punto di vista sismologico, ma soltanto media (Guidoboni 1990: 209). Ciò che è molto elevato è invece il rischio<sup>23</sup>, ossia il rapporto fra l'attività sismica e i caratteri del mondo abitato della superficie. Da qui si evidenzia il 'problema sismico', risultato del rapporto fra i caratteri geografici di un'area e le società che vi abitano (Guidoboni 1990: 209). La grandezza di un'area colpita da terremoto risulta infatti influenzata da molteplici fattori (la profondità e la dimensione della frattura, le caratteristiche geologiche e topografiche dei siti, la densità abitativa, la morfologia delle costruzioni ecc.), che interagiscono con i diversi caratteri delle oscillazioni dei suoli sia in aree limitate, sia in aree molto vaste (ad esempio Appennino tosco-romagnolo). Ne possiamo così dedurre che i terremoti, aldilà della loro grandezza (ossia della reale energia elastica liberata), possono indurre esiti molto diversificati secondo l'uso attuale del territorio e le strutture che vi si trovano esposte. L'impatto del terremoto nell'ambiente è infatti direttamente proporzionale alla vulnerabilità dei sistemi abitativi, ossia alla predisposizione dell'edificato ad essere danneggiato dal terremoto (Guidoboni 1990: 220). Tale predisposizione è dovuta sia ai modi di costruire e di intervenire nei processi di conservazione e modifica del patrimonio edilizio, sia all'utilizzazione di spazi abitativi e di risorse. Da qui nasce l'esigenza di proporre analisi di vulnerabilità dell'edificato, ossia nel prevedere il livello di danno subito dagli edifici a seguito di un evento sismico di assegnata intensità.

<sup>23</sup> Parlando di rischio sismico è utile citare anche la definizione che la Protezione Civile fornisce di questo termine: «Il rischio sismico è determinato da una combinazione della pericolosità, della vulnerabilità e dell'esposizione ed è la misura dei danni che, in base al tipo di sismicità, di resistenza delle costruzioni e di antropizzazione (natura, qualità e quantità dei beni esposti), ci si può attendere in un dato intervallo di tempo».

Generalmente le analisi di vulnerabilità vengono condotte a livello territoriale, operando su classi di edifici omogenei per tipologia; la finalità non è quindi quella di uno studio dettagliato sul singolo caso ma di una valutazione a scala più ampia, per la previsione dello scenario di danno e per la programmazione di strategie di prevenzione sismica. Tali studi, eseguiti principalmente da ingegneri ed architetti, prevedono una prassi operativa che, sebbene non sia codificata a livello generale, si vede costituita da una serie di operazioni comuni:

- inquadramento sismologico e geologico dell'area;
- definizione e descrizione del campione;
- rilievo e schedatura del campione;
- analisi strutturale del campione (a volte con caratterizzazione e analisi delle murature);
- giudizio sulla efficacia antisismica o sulla intrinseca debolezza delle strutture originarie;
- tecniche di intervento.

### 3.2 I macro-elementi

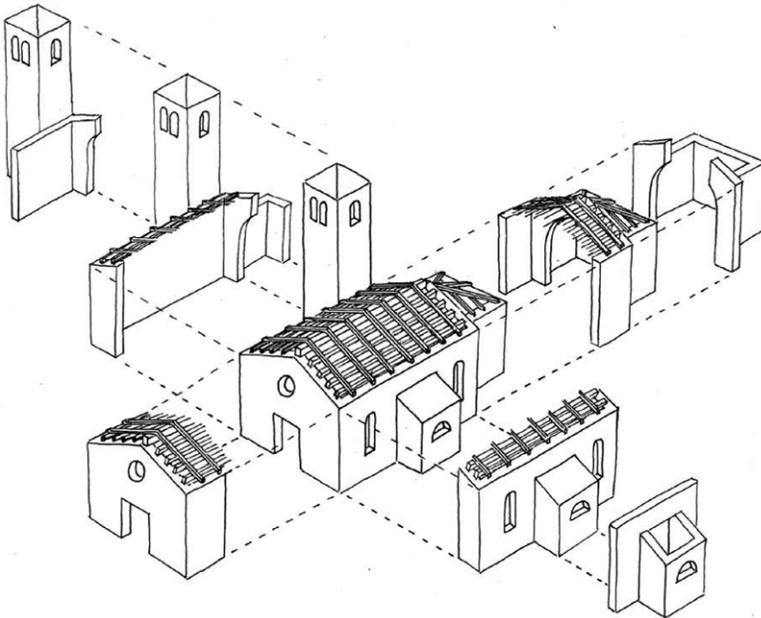
Un macro-elemento è:

una parte costruttivamente riconoscibile e compiuta del manufatto, che può coincidere – ma non necessariamente coincide – con una parte identificabile anche sotto l'aspetto architettonico e funzionale (es. facciata, abside, cappelle); è di norma estesa almeno ad un'intera parete o ad un orizzontamento, ma solitamente è formata da più pareti ed elementi orizzontali connessi tra di loro a costituire una parte costruttivamente unitaria e, in alcuni casi, volumetricamente definita, pur se in genere collegata e non indipendente dal complesso della costruzione (Doglioni *et al.* 1994).

Con macro-elemento si intende quindi la parte edilizia nell'ambito della quale è osservabile e compiutamente descrivibile un comportamento unitario, riconoscibile nei meccanismi di insieme a seguito delle azioni sismiche; è perciò una parte di costruzione definita come unitaria in base al comportamento osservato, e tale da consentire la descrizione dei fenomeni di danno con il minor grado di complessità, pur mantenendo unitaria la lettura del fenomeno che si verifica. Ovviamente, il principio fondamentale adottato per la suddivisione in macroelementi costituisce già il risultato di una prima osservazione del comportamento sotto sisma degli edifici e del loro modo di discretizzarsi in parti macroscopiche. La suddivisione in macroelementi dell'edificio è finalizzata alla descrizione e localizzazione dei fenomeni di danno, all'osservazione e interpretazione dei meccanismi di dissesto, riconoscibili in particolare attraverso gli spostamenti relativi rispetto ai ma-

croelementi contigui o gli spostamenti tra parti del macroelemento stesso. Un vantaggio della suddivisione in macroelementi è rappresentato dalla minor dispersione tipologica dei manufatti o parti di manufatto; ciò consente di apprezzare con maggior possibilità di risoluzione le analogie e differenze nei caratteri e nella conformazione prima, e poi nel comportamento dei macroelementi dello stesso tipo, ossia affini come conformazione, per funzione e/o posizione rispetto all'insieme della fabbrica; di conseguenza è più agevole correlare i caratteri individuali di ciascun macroelemento con la specificità del comportamento osservato. Questo approccio inoltre rende possibile la comparazione tra manufatti diversi. Ad esempio, se analizziamo una chiesa per macroelementi, la complessità e originalità dei suoi elementi (stili architettonici diversi, evoluzione storica ecc.) viene in questo modo superata, considerando l'edificio come composizione di elementi semplici (figura 17). In questo modo risulta possibile anche la comparazione fra più chiese stilisticamente diverse ma strutturalmente simili.

Fig. 17 – Suddivisione di una chiesa in macroelementi: facciata (A), parete laterale (B), cappella laterale (C), arco trionfale (D), abside (E), torre campanaria e cella campanaria (F). (Fonte: Doglioni *et al.* 1994)



È utile infine specificare che le interazioni tra i diversi macroelementi avvengono tendenzialmente al bordo di questi; bordo che non può essere definito da una netta linea di confine, ma semmai da un'area entro la quale con maggior frequenza avvengono i danni e le discretizzazioni che sono

conseguenza del diverso comportamento dei macroelementi. L'area in questione viene definita *fascia o zona di sovrapposizione*: con questo termine si intende quella parte costruttiva al bordo del macroelemento considerato, appartenente in via principale ad un altro macroelemento, la cui descrizione è necessaria per comprendere l'insieme dei fenomeni propri del macroelemento esaminato e le sue interazioni con le altre parti della fabbrica.

### 3.3 L'analisi dei meccanismi di danno

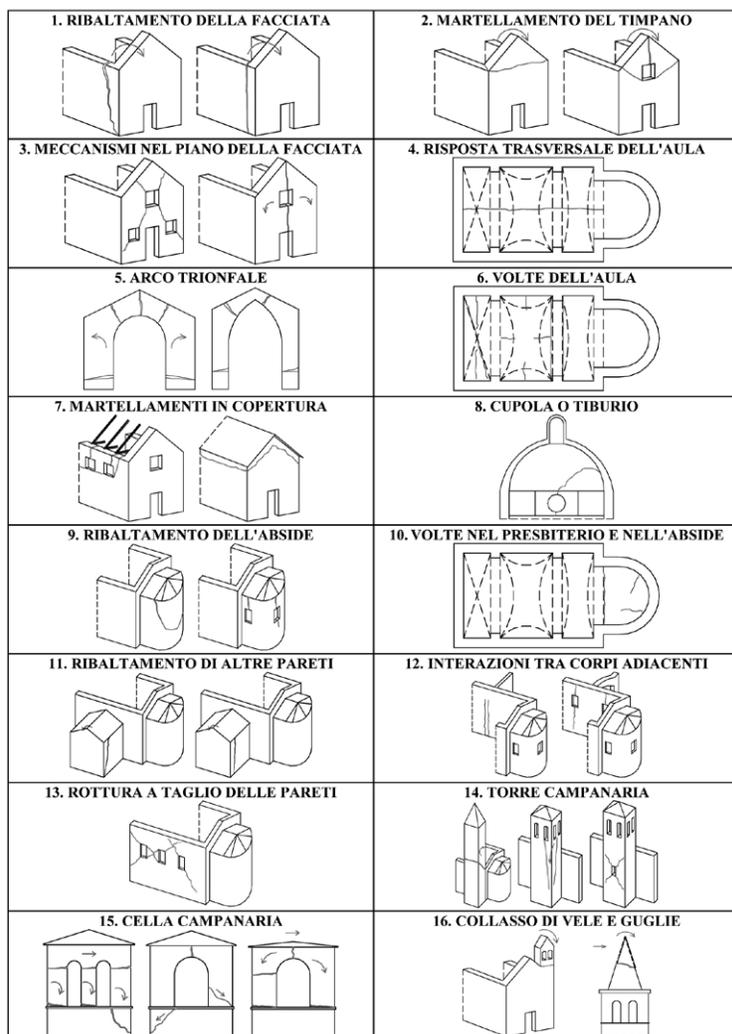
In linea di principio, i possibili meccanismi di collasso degli edifici sono infiniti, in quanto ciascuna struttura può essere ovviamente trasformata in un cinematisma inserendo piani di frattura e cerniere. In realtà, le decennali esperienze maturate dai terremoti del Friuli del 1976 a quello de L'Aquila del 2009 e recentemente a quello emiliano del 2012, hanno portato a comprendere come, attraverso la conoscenza delle tecniche costruttive e l'osservazione dei danni sul manufatto in esame o su altri simili, sia possibile restringere l'analisi ad alcuni casi significativi. Mediante questo procedimento si sono costituiti strumenti assai utili per il riconoscimento dei danni attivati a seguito di un sisma: gli abachi dei meccanismi di danno. Questi ultimi, composti dalla casistica di danno atteso per i contesti in esame, risultano principalmente influenzati da alcuni fattori desumibili dallo studio del contesto generale e da altri ricostruibili dall'analisi diretta delle strutture:

- la posizione nella maglia insediativa: se case intercluse, case d'angolo o case di testata;
- la presenza e la posizione delle aperture (che possono ad esempio dar vita a fenomeni di distaccamento di alcune parti, come l'angolata);
- la presenza o assenza di specifiche connessioni (ad esempio tiranti) sulle pareti esposte;
- le caratteristiche tecnologiche delle murature (tessitura dei paramenti, dimensioni degli elementi lapidei, tipologia dei cantonali).

L'analisi delle strutture attraverso gli abachi ha portato ad un miglioramento nei sistemi di registrazione dei meccanismi di danno, passando da analisi per edifici, ad analisi per singoli macroelementi. Tutto ciò ha fatto sì che tali strumenti si modificassero in relazione a questo nuovo tipo di classificazione e che quindi le schedature del costruito in contesti a rischio sismico si dotassero di un apparato grafico per la registrazione dei danni. La continua esperienza in campo sismico ha portato ad un miglioramento delle schede, partendo da un apparato grafico molto consistente (come quello prodotto nel 1994 in riferimento alle chiese colpite dai terremoti del Friuli), ad una classificazione molto più contenuta (come quelle proposte dal GNDT nel 1999 di cui vediamo un esempio riferito alle chiese in figura 18). Per la registrazione degli edifici dopo il sisma abruzzese del 2009, la

Protezione Civile ha invece riproposto un apparato grafico molto consistente a corredo della sua scheda (figure 19, 20 e 21); tali abachi sono gli stessi riportati all'interno delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale*<sup>24</sup>.

Fig. 18 – L'apparato grafico della scheda per l'analisi della vulnerabilità delle chiese. (Fonte: Lagomarsino 1999)



<sup>24</sup> Allegato C delle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* (MIBAC 2011).

Fig. 19 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese, p.1. (Fonte: Protezione Civile e MIBAC 2009)

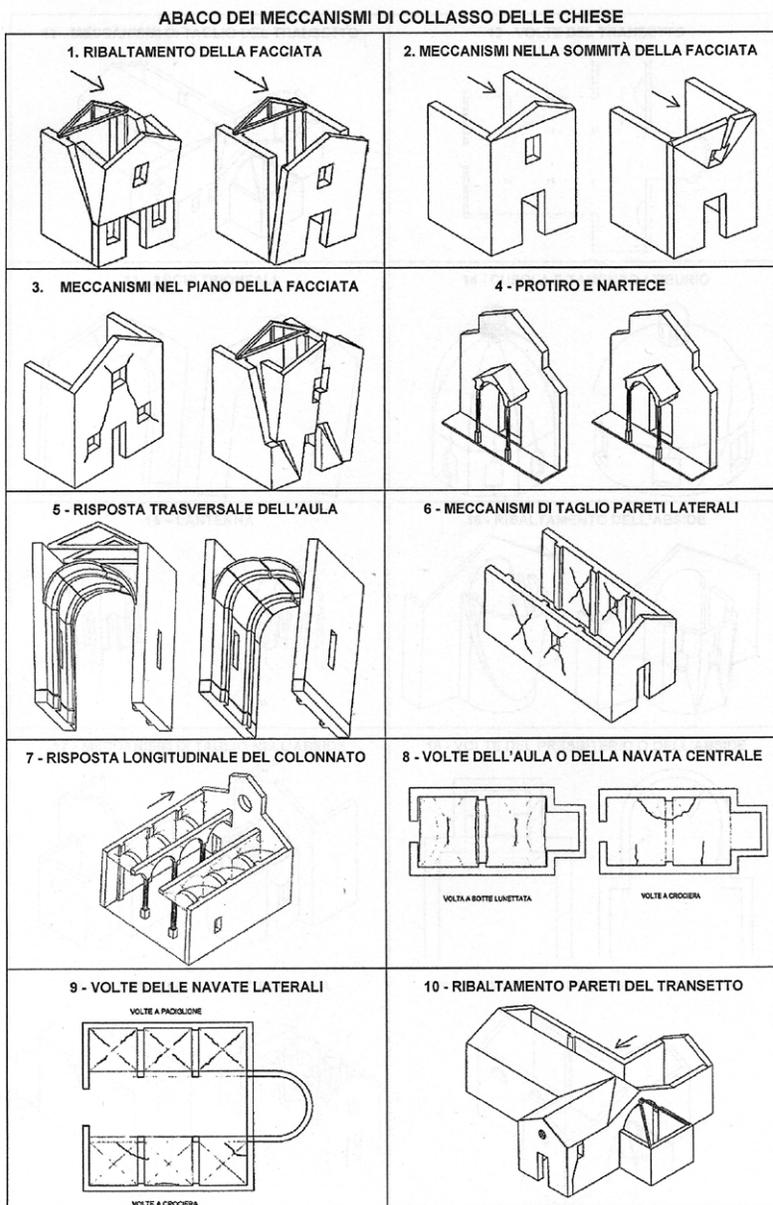


Fig. 20 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese, p. 2. (Protezione Civile e MIBAC 2009)

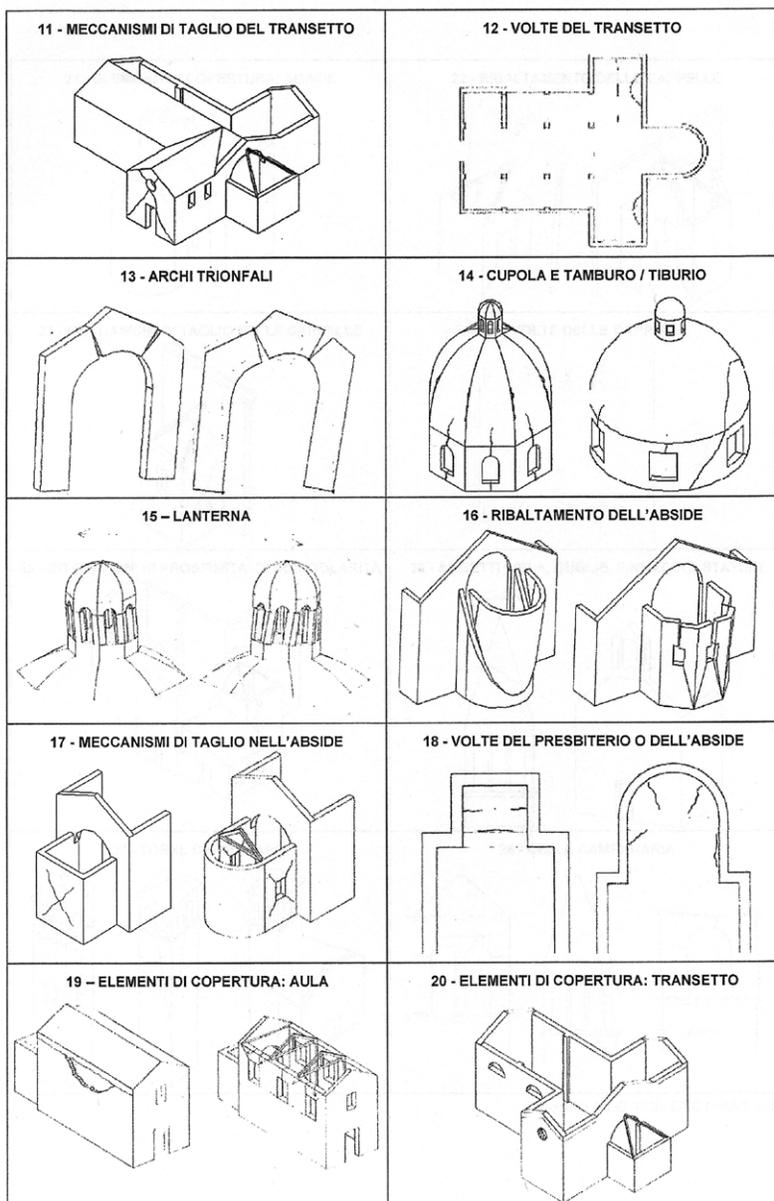
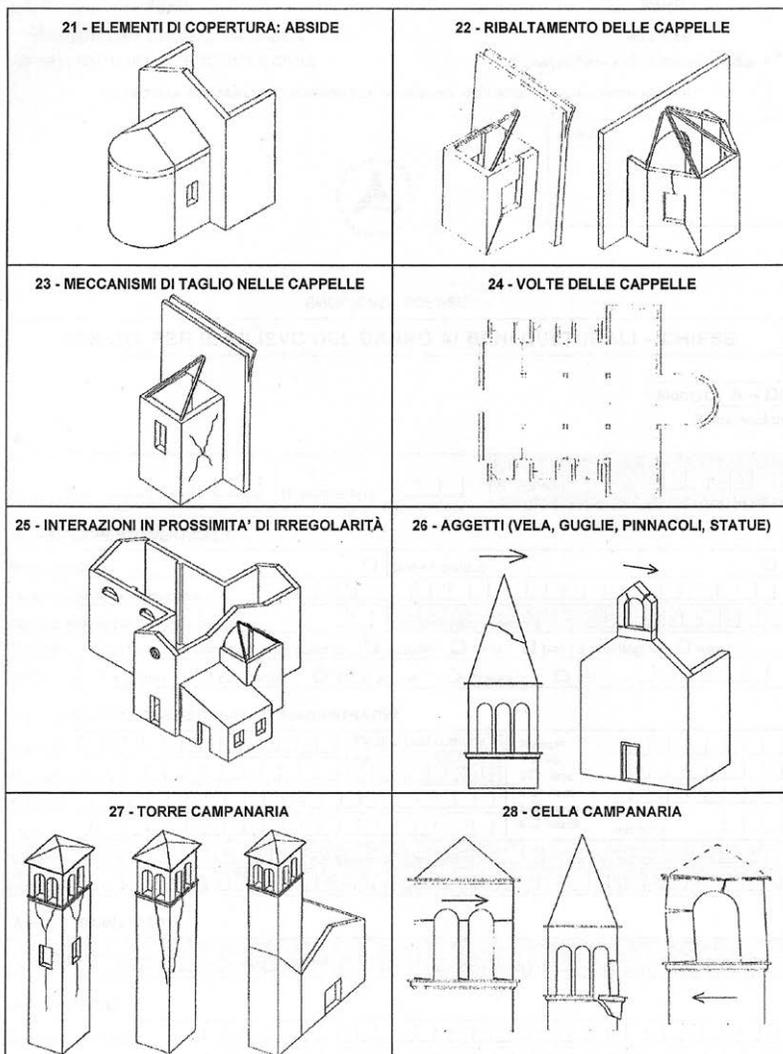


Fig. 21 – Abaco dei meccanismi di collasso delle chiese, p. 3. (Protezione Civile e MIBAC 2009)



Gli abachi dei meccanismi di danno costituiscono quindi un ottimo punto di partenza per uno studio archeologico di un contesto a rischio sismico, in quanto mettono a disposizione dello studioso una casistica di danno attraverso la quale è possibile riconoscere i danni da sisma, distinguendoli da quelli prodottisi per altre cause. Tale suddivisione tipologica permette quindi di collegare alcune interpretazioni elaborate dall'analisi stratigrafica della fabbrica a cinematismi attivati da un sisma ed inoltre di comprendere se siano stati adottati sistemi costruttivi messi in opera nell'ottica di prevenire, riparare o mitigare gli effetti di un determinato terremoto.

### 3.4 Conclusioni

È indispensabile imparare dal terremoto, ovvero leggere ed interpretare la risposta sismica dei manufatti su casi reali, che siano la base per la definizione e la validazione di modelli teorici di comportamento; ciò significa identificare correttamente i meccanismi di collasso attivati dal sisma, che anche se non completamente sviluppati indicano chiaramente la modalità di risposta nei confronti di eventi futuri di maggiore intensità. Eseguendo analisi di questo tipo su larga scala ed in modo sistematico, ad esempio su tutto il patrimonio colpito da un evento sismico significativo, è possibile acquisire una base di conoscenza che consenta la stima della risposta sismica di strutture non colpite recentemente da eventi sismici, attraverso la comparazione con altre simili per tipologia, proporzioni e soluzioni costruttive e di cui è documentata la vulnerabilità.

In campo archeologico questo tipo d'indagine risulta essenziale per il riconoscimento di alcuni meccanismi di danno attivati durante terremoti antichi, messi in luce attraverso la lettura stratigrafica della struttura materiale degli edifici. Individuare e registrare questi tipi di danno su un edificio storico significa perciò:

- poter interpretare una Unità Stratigrafica attraverso il confronto diretto con un determinato cinematismo di danno attivato durante un terremoto ed inserito nella casistica proposta dalla suddivisione per macro-elementi;
- analizzare i sistemi di riparazione adottati in riferimento ai danni sismici subiti da un edificio;
- individuare eventuali sistemi di prevenzione dai movimenti sismici adottati su un edificio nel corso del tempo;
- datare una interfaccia negativa (un crollo, una lesione ecc.) in cronologia assoluta e, conseguentemente, fornire un *terminus* per la sua successiva riparazione e per le Unità Stratigrafiche precedenti e successive a questa.

#### 4. Gli Atlanti delle Culture Sismiche Locali

##### 4.1 'Culture Sismiche Locali': mito o realtà?<sup>25</sup>

In aree di antico insediamento è possibile considerare ogni edificio come se fosse il sismogramma di se stesso, ovvero definire la sua struttura materiale come la traccia più evidente degli eventuali effetti della sismicità storica di un'area, degli accorgimenti messi in atto per prevenirli, delle riparazioni, della resistenza delle riparazioni ad altri sismi successivi e così via.

Gli accorgimenti legati alla consapevolezza del rischio sismico e alla capacità di prevenirlo, da alcuni studiosi vengono racchiusi sotto il termine di 'Culture Sismiche Locali' (Ferrigni *et al.* 2005; Helly 1995; Pierotti, Ulivieri 2001). Si tratta quindi di presidi antisismici ben precisi, tramandati come un sapere empirico attraverso le generazioni e costituiti per prevenire i tre tipi principali di azione che agiscono su un edificio durante un terremoto:

- l'aumento improvviso dei carichi verticali sulle murature portanti e sulle strutture orizzontali;
- l'insorgere di forze orizzontali concentrate soprattutto al piede dell'edificio;
- l'insorgere di un momento torcente che agisce prevalentemente sugli spigoli verticali.

Il presupposto essenziale per la nascita di una Cultura Sismica Locale è che l'area di interesse presenti una sismicità 'endemica', ossia che il terremoto abbia creato nei residenti stanziali una cultura dell'abitare che tenga conto di tale disastrosa eventualità. Alcuni studiosi ritengono inoltre che per il formarsi di una Cultura Sismica Locale all'interno di una comunità debbano verificarsi eventi sismici in maniera ben definita dal punto di vista della *frequenza* (l'arco temporale del manifestarsi degli eventi non dovrebbe essere superiore ai 40-60 anni, cioè almeno uno/due terremoti ogni generazione) e dell'*intensità* (la forza del terremoto non dovrebbe essere né troppo lieve né completamente distruttiva (dal VI-VII al IX-X grado), in modo che la popolazione abbia necessità di proteggersi dal terremoto con accorgimenti specifici nel costruire le proprie abitazioni (figure 22, 23 e 24).

Al modificarsi dell'intensità dei terremoti concentrati in una zona alcuni studiosi<sup>26</sup> ipotizzano inoltre che sussista la possibilità che si costituiscano le seguenti due distinte Culture Sismiche (figura 25).

<sup>25</sup> Il titolo del paragrafo fa riferimento all'articolo *Seismic Cultures: myth or reality?* di J. Homan (Scuola di Scienze Applicate, Università di Wolverhampton).

<sup>26</sup> Per citarne alcuni: Pierotti P., Helly B., Ferrigni F. ecc.

Fig. 22 – Il grafico mostra la resistenza degli edifici in rapporto ai fenomeni sismici. Dove i terremoti sono più frequenti lo svilupparsi di una Cultura Sismica Locale permette una maggiore sopportazione dell'edilizia alle sollecitazioni sismiche. (Fonte: Ferrigni et al. 1993)

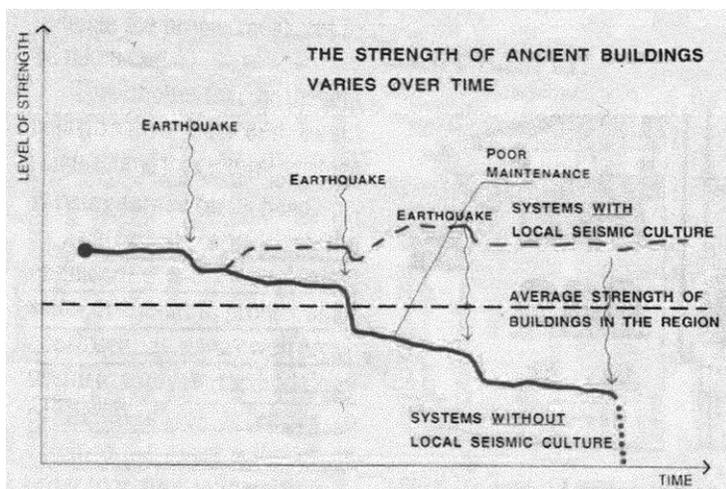


Fig. 23 – Lo schema mostra la scansione temporale ipotizzata per il formarsi e per il mantenersi all'interno di una comunità di una Cultura Sismica Locale. (Fonte: Ferrigni et al. 1993)

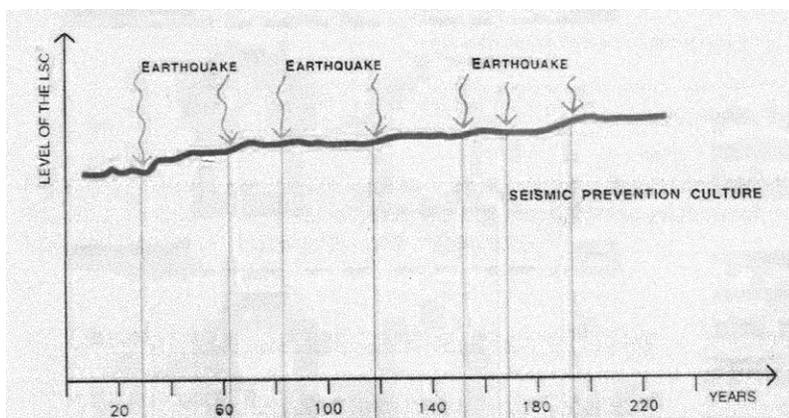


Fig. 6 - Whenever earthquakes recur frequently people do not forget. Buildings are regularly built according to techniques which have proven effective (Seismic Prevention Culture).

- La Cultura Sismica del Riparo: presente dove i terremoti si manifestano con intensità molto moderate (dal VI all'VIII grado della scala MCS); la popolazione in questi contesti non avverte l'esigenza di prevenire un sisma distruttivo, ma semplicemente di mettere a punto delle efficaci tecniche di riparazione (dette *anomalie*) a seguito dei pochi danni causati dal terremoto.
- La Cultura Sismica della Prevenzione: si sviluppa in quei contesti dove i terremoti risultano fortemente distruttivi (dal VII al X grado della scala MCS); in questi contesti la popolazione deve necessariamente proteggersi preventivamente dal sisma che, altrimenti, causerebbe gravi danni all'edilizia presente. In questo caso assistiamo alla nascita di vere e proprie tecniche costruttive antisismiche.

Fra le due Culture esiste poi una fascia di sovrapposizione, racchiusa intorno all'VIII grado di intensità, nella quale è possibile riscontrare la presenza di tecniche antisismiche e di anomalie, quindi di una vera e propria Cultura Sismica Locale.

Le Culture Sismiche Locali, ovvero gli accorgimenti empiricamente sviluppati e utilizzati dalle popolazioni per prevenire o mitigare i danni sismici sugli edifici, non risultano accettate da tutta la comunità scientifica. Alcuni studiosi esprimono infatti pareri contrari o fortemente critici in merito a questo tema. Per fare un esempio è possibile citare il caso di Emanuela Guidoboni, una delle massime esperte in Italia in campo sismologico, che in una pubblicazione ormai datata afferma:

Mi sembra molto difficile sostenere che in area italiana sia storicamente esistita una cultura antisismica – intesa come insieme di convinzioni diffuse e sedimentate sulla difesa dai terremoti – nell'edilizia povera o in quella prestigiosa; qualcosa è stato tentato a livello di maestranze locali e di applicazioni sporadiche, ma poi abbandonato (Guidoboni 1990: 236)<sup>27</sup>.

In realtà riuscire a smentire o confermare un'opinione di questo tipo è attualmente molto difficile. Solo un approccio di tipo archeologico, che quindi non si fermi all'individuazione dei presidi antisismici ma che fornisca una crono-tipologia a livello comprensoriale di tali elementi, permetterebbe di fornire dati concreti per definire o meno l'esistenza di una Cultura Sismica Locale. Purtroppo l'attuale assenza di studi territoriali di tipo archeologico sul rischio sismico non permette di formulare ipotesi concrete in merito a questo tema. I dati in nostro possesso non risultano infatti

<sup>27</sup> Opinione peraltro già espressa dalla stessa autrice in un precedente articolo, nel quale afferma che «i grandi terremoti del 1117, 1169, 1222, 1348, per non ricordare che i più disastrosi, non ci hanno lasciato traccia di considerazioni o di disposizioni riguardanti rimedi contro gli effetti dei terremoti, né ci sono noti successivi accorgimenti messi in opera nella pratica delle tecniche edilizie, che possano in qualche modo essere interpretati come sistemi di prevenzione per futuri danni» (Guidoboni 1987: 216).

Fig. 24 – Nello schema viene presentato un contesto dove i fenomeni sismici avvengono con scansioni temporali ampie. La Cultura Sismica Locale in questo caso non ha possibilità di essere tramandata. (Fonte: Ferrigni et al. 1993)

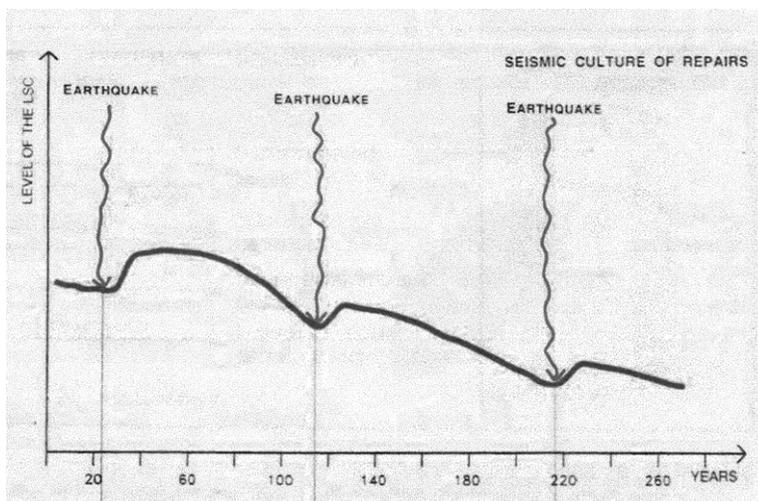
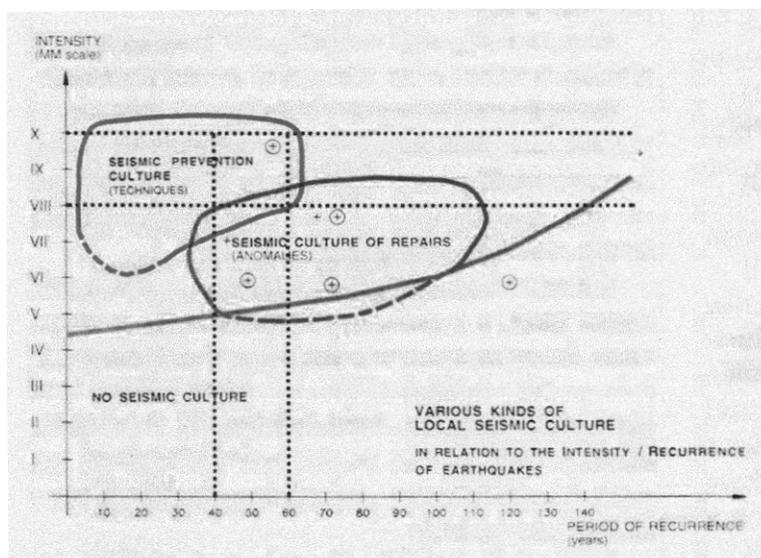


Fig. 25 – Schema riassuntivo delle concezioni di cultura sismica della prevenzione e cultura sismica del riparo. (Fonte: Ferrigni et al. 1993)



ancora abbastanza affidabili; la sperimentazione nel territorio italiano è caratterizzata in pochi casi<sup>28</sup> e meriterebbe un approfondimento tramite l'attivazione di progetti di ricerca composti da team multidisciplinari. Se ci spostiamo invece all'estero, in particolare in Francia, sperimentazioni a livello di archeologia dell'architettura e Culture Sismiche Locali sono state effettuate negli ultimi anni con un certo successo<sup>29</sup>.

#### 4.2 I cataloghi dei presidi antisismici

I 'presidi antisismici', ovvero tutti quegli accorgimenti messi in opera negli edifici per contrastare gli effetti dovuti ai movimenti sismici, possono essere distinti in base ai due diversi momenti nei quali vengono adottati:

- durante la costruzione del Complesso Architettonico, utilizzando sistemi costruttivi capaci di migliorare la resistenza delle murature (diatoni di collegamento fra due paramenti, tecniche costruttive realizzate *ad opera d'arte*, radiciamenti lignei inseriti nelle murature, una cura particolare nella messa in opera dei cantonali, archeggiature presenti sopra porte e finestre, presenza di solai lignei ecc.). Tali elementi però non essendo sempre riconducibili con certezza alla volontà di combattere gli effetti del terremoto, devono essere valutati in corrispondenza di danni ben specifici e in relazione ai dati forniti dall'analisi di strutture presenti all'interno del contesto di pertinenza dell'indagine.
- durante la riparazione di specifici danni, attraverso due linee di intervento:
  - ripristinando la continuità della muratura (sarcitura delle lesioni, ripresa della muratura lesionata ecc.);
  - mettendo in opera provvedimenti che impediscano il ribaltamento verso l'esterno delle pareti perimetrali e rafforzino la tenuta degli spigoli (barbacani, catene, archi di contrasto, aggiunta di uno o più Corpi di Fabbrica ecc.).

Di seguito vengono riportati alcuni esempi di presidi antisismici<sup>30</sup>.

- Le *catene*: utilizzate contro la tendenza al ribaltamento delle strutture murarie in presenza di sollecitazioni orizzontali, risultano un mezzo efficace per l'eliminazione delle spinte in tutti quei casi in cui tali movimenti producano pericolosi stati di trazioni nelle murature. Ini-

<sup>28</sup> Per citarne alcuni: San Lorenzello (Ferrigni 1989), la Garfagnana e la Lunigiana (Pierotti 2003) e il centro storico di Cosenza (Paolini 2005).

<sup>29</sup> Mi riferisco in particolare al Gruppo francese dell'APS, trattato nel secondo capitolo del manuale.

<sup>30</sup> Gli esempi e le foto sono tratti da Pierotti 2003.

Fig. 26 – Esempificazione del ruolo svolto dalle catene metalliche durante un sisma. (Fonte: Giuffrè 1993)

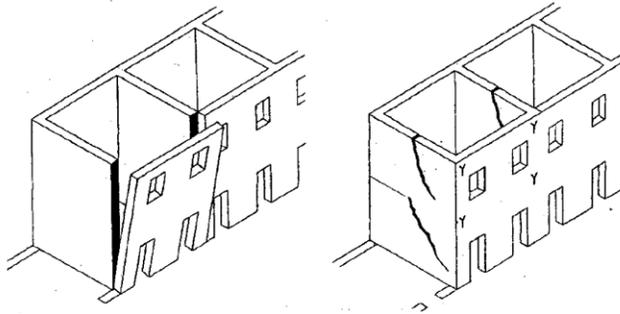


Fig. 27 – Esempi di catene metalliche. (Fonte: Pierotti 2003: 74-76)



zionalmente costituite da elementi interamente in legno o in pietra, con l'introduzione dei materiali metallici si utilizzarono sistemi misti (travi in legno con elementi di collegamento in ferro), per poi passare ad un uso esclusivo del metallo.

- I *contrafforti* e i *muri scarpati*: costruiti spesso nel tentativo di consolidare parti murarie soggette a meccanismi di rottura dovuti a rotazione. Risultano molto efficaci non solo per assorbire le spinte orizzontali dovute ad un sisma, ma sono altresì importanti nelle crisi dovute a schiacciamento e nei cedimenti delle fondazioni.
- Gli *archi di scarico*: svolgono il compito di 'proteggere' i sistemi costruttivi sottostanti ad essi, alleggerendo il carico o deviandolo verso elementi più solidi (nella maggior parte dei casi si tratta di elementi che potremmo definire 'fragili', in quanto più facilmente soggetti a rotture durante le sollecitazioni sismiche, come architravi in pietra di finestre o portali e aperture tamponate).
- Gli *archi di contrasto*: elementi strutturali che vengono introdotti nel tentativo di arrestare i meccanismi di collasso per ribaltamento. Questo elemento costruttivo di rinforzo si vede costituito da un arco (in pietra o in laterizi) posto al livello degli orizzontamenti lignei o voltati di due fabbricati opposti. Nella maggior parte dei casi gli archi vengono costruiti successivamente ai due Corpi di Fabbrica interessati.

I presidi antisismici, studiati ormai da anni nel campo dell'ingegneria e della storia dell'architettura, in alcuni casi hanno costituito la base per la produzione di cataloghi a livello micro- o macro-comprensoriale<sup>31</sup>; tali cataloghi rappresentano strumenti molto utili per confronti tipologici e tecnologici fra contesti geograficamente distanti.

In ambito archeologico i cataloghi dei presidi antisismici offrono la possibilità di confrontare i risultati ottenuti dall'analisi di un contesto di studio o di un singolo edificio ad una casistica ben definita, portando di conseguenza a riconoscere la presenza di eventuali presidi antisismici messi in opera nel corso del tempo. Inoltre l'approccio di analisi sviluppato per l'interpretazione delle Culture Sismiche Locali consente di riflettere sul ruolo delle maestranze e delle committenze presenti in un contesto di studio, sulla presenza di costruttori locali e/o specializzati e sul *know-how* sviluppato da questi in rapporto alla sismicità dell'area dove operavano.

<sup>31</sup> Ne sono un esempio i cataloghi sulla Garfagnana e Lunigiana (Pierotti 2003).

Fig. 28 – Esempio di contrafforte. (Fonte: Pierotti 2003: 56-57)



*Fig. 29 – Esempio di arco di scarico. (Fonte: Pierotti 2003, pagg. 50-51)*



*Fig. 30 – Esempi di archi di contrasto. (Fonte: Pierotti 2003: 43-44)*





# Archeosismologia

## I. Archeologia e rischio sismico

Negli ultimi decenni, in campo archeologico e non solo, ha assunto sempre più rilevanza il concetto di 'archeosismologia', termine con il quale vengono indicate le analisi archeologiche correlate agli effetti di un sisma in antiche strutture o siti, scoperti tramite scavi archeologici o, in generale, di pertinenza del Patrimonio Culturale (Galadini *et al.* 2006; Noller 2001; Santoro Bianchi 1996; Stiros, Jones 1996). Le molte applicazioni sul campo eseguite su contesti specifici in ambito italiano<sup>1</sup> e a livello internazionale<sup>2</sup> rappresentano chiare testimonianze di come la raccolta delle tracce della sismicità effettuata interpretando i possibili effetti materiali di uno o più terremoti, integrato al processo di indagine archeologica dei contesti, fornisca informazioni fondamentali che altrimenti rischierebbero di andare perdute<sup>3</sup>. Tale settore però, sebbene di notevole importanza, non ha avuto uno sviluppo paragonabile a quello proprio degli altri approcci 'storici' alla materia sismologica<sup>4</sup>. In ambito archeologico, soprattutto a livello italiano, è infatti mancato un dibattito approfondito che andasse al di là della presentazione e discussione dei singoli casi specifici di interesse; i pochi validi tentativi di definire metodi di analisi più generali (Bianco 2012; Cattari *et al.* 2005; Cecchi *et al.* 2011; Do-

<sup>1</sup> Ultime in ordine cronologico quelle svolte nel territorio abruzzese ed emiliano (Galadini *et al.* 2010).

<sup>2</sup> Molti studi archeosismologici sono stati condotti in Grecia, in Turchia, a Creta ed in molti paesi dell'Est e del Medio Oriente (per citarne alcuni: Bottari 2003; Evans 1928; Karcz, Kafri 1978; Stiros 1995).

<sup>3</sup> Ad esempio la possibilità di elaborare informazioni sull'attività sismica in periodi per i quali le fonti storiche risultano lacunose.

<sup>4</sup> In particolare sismologia storica e paleosismologia.

gioni, Mazzotti 2007; Giovinazzi, Lagomarsino 2001; Guidoboni, Santoro Bianchi 1995; Karcz, Kafri 1978) o approcci interdisciplinari alla materia<sup>5</sup> hanno avuto fino ad oggi scarso seguito.

Se volessimo proporre una classificazione degli studi archeosismologici, potremmo suddividerli in due categorie, macroscopicamente caratterizzabili sulla base del contesto di studio preso in esame, delle discipline coinvolte, dei metodi e degli strumenti utilizzati; in questo caso avremmo un'archeosismologia 'di scavo' e una 'di edilizia storica'.

### 1.1 Archeologia di scavo e terremoti

L'archeologia di scavo si è spesso trovata a mettere in luce strutture e manufatti investiti da uno o più terremoti storici, rimasti più o meno leggibili sulla loro struttura materiale. In questi casi l'interpretazione del sisma come dinamica occorsa al contesto in esame, portando all'abbandono o alla ricostruzione del sito, si è sempre affidata ad una prassi operativa ben definita: il riconoscimento degli effetti tipici causati dai sismi sulle strutture (ad esempio le dinamiche di crollo o di rotazione di alcuni elementi verticali: figura 1), ancorati ad elementi cronologici specifici (che permettessero cioè una cronologia assoluta molto precisa, come le monete) e al momento storico di riferimento (testimoniato dalle fonti indirette).

Le conclusioni derivate dall'applicazione della prassi archeosismologica, oltre ad avere un impatto essenziale per la ricostruzione storica del contesto in esame, offrono molti interessanti spunti per riflessioni che vanno ben al di là delle 'comuni' interpretazioni storico-archeologiche. Dall'inizio degli anni Novanta del Novecento, è stata infatti rivendicata da molti studiosi l'utilità dell'archeologia di scavo per rivelare l'attività di una faglia (includendo la cronologia dei terremoti o dell'attività tettonica), l'ammontare e la direzione delle deformazioni della superficie e la ricorrenza degli eventi. Una serie di dati riscontrabili durante uno scavo archeologico e che, una volta elaborati, è possibile tradurre in altre informazioni, quali la collocazione dell'area epicentrale del sisma e la magnitudo dell'evento (Noller 2001; Galadini *et al.* 2010; Galadini *et al.* 2006).

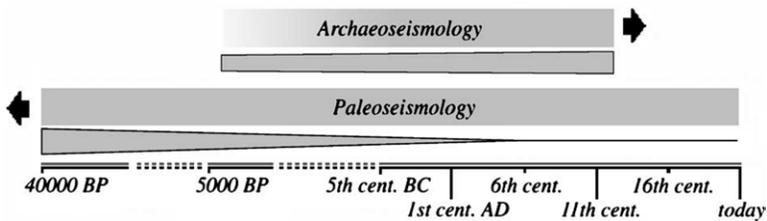
I dati elaborati attraverso un progetto archeosismologico risultano essenziali ai fini della conoscenza sismica di un'area poiché permettono, insieme ai dati estrapolati dalle fonti storiche, una più completa panoramica di quando, come e dove si siano verificati i terremoti nella storia antica e recente (sebbene in quest'ultimo caso le fonti storiche siano molto più numerose ed affidabili).

<sup>5</sup> Ne costituisce un esempio l'Atlante delle Tipi Costruttivi Murari, discusso nel paragrafo 1.2.

Fig. 1 – Deformazioni e rotazioni dovute a movimenti sismici che interessano alcune colonne dell’Hephaisteion (Theseion) ad Atene (Bottari 2003) e di Ostia a Roma (Galadini et al. 2006).



Fig. 2 – Quantità di informazioni reperibili dalle analisi paleosismologiche ed archeosismologiche in base alla cronologia di riferimento dei contesti di studio (Fonte: Galadini et al. 2006).



## 1.2 Archeologia dell’architettura e rischio sismico

Nonostante le evidenze di danneggiamento di edifici dell’antichità ad opera di terremoti siano riportate già in lavori della prima metà del XX secolo (Evans 1928; Lanciani 1918), la potenzialità dei dati archeologici nella prospettiva dell’arricchimento delle conoscenze sulla sismicità antica è sta-

ta adeguatamente trattata solo in tempi più recenti (Boschi *et al.* 1995; Brogiolo 2008; Fiches *et al.* 1997; Guidoboni 1989; Karcz, Kafri 1978; Parenti *et al.* 2010; Redi *et al.* 2012; Rideaud, Levret 2000; Santoro Bianchi 1996; Stiros 1995; Stiros, Jones 1996). Accanto a studi archeologici che hanno utilizzato il terremoto per individuare crolli o ricostruzioni e quindi per definire fasi costruttive e cronologie (Cámara 2010; Marcotulli 2012; Vanni Desideri 2001), attestiamo nel campo dell'archeologia dell'architettura un'attenzione crescente e costante verso il settore della prevenzione dal rischio sismico (Arrighetti *et al.* 2013; Brogiolo 2008; Brogiolo, Faccio 2010; Cagnoni 1996; Doglioni 1997, 2008; Faccio *et al.* 1997; Guccione *et al.* 1998; Lagomarsino, Boato 2011), sia in Italia che all'estero.

In territorio francese, ad esempio, è attivo da alcuni anni *le Groupe APS*<sup>6</sup>, un'associazione di archeologi e di professionisti afferenti a molteplici discipline che riguardano il rischio sismico (sismologia storica, ingegneria, architettura, restauro, scienze della terra ecc.) che annualmente organizza convegni per discutere dei risultati ottenuti da studi inerenti aree e contesti colpiti da terremoti, confrontandosi sul piano metodologico di analisi e sui risultati ottenuti<sup>7</sup>.

In Italia, come anticipato nel paragrafo introduttivo a questo capitolo, sebbene il territorio sia caratterizzato da un'intensa attività sismica, il settore sismologico non ha mai avuto un ruolo preponderante negli studi archeologici ad ampio raggio sull'edilizia storica. La prima sperimentazione in tal senso sembra essere l'Atlante dei Tipi Costruttivi Murari d'Italia, uno strumento nato per la catalogazione delle tecniche costruttive in aree a rischio sismico, che mosse i suoi primi passi in riferimento ai terremoti del Friuli del maggio-settembre 1976. Dopo tali eventi, nel 1985 si costituì il Comitato Nazionale per la Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico con il quale l'allora Ministero per i Beni e le Attività Culturali (Ufficio Centrale per i Beni Ambientali, Architettonici, Archeologici, Artistici e Storici) cercò di dare una uniformità al panorama nazionale della tutela e del restauro architettonico, elaborando un programma basato su due linee di attività: da una parte la ricerca e la sperimentazione e dall'altra gli aspetti normativi e metodologici. Tale Comitato, a sua volta, si esprime dando vita ad una serie di interventi a carattere istituzionale, sottoforma di Raccomandazioni (nel 1986 elaborò le Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica), di Programmi (all'interno del I Seminario Nazionale di Studio, svoltosi a Venezia nel 1987, dette avvio all'attività del Programma Quadro delle Ricerche) e di Direttive (nel 1989 elaborò

<sup>6</sup> *Association pour l'identification et l'étude des pathologies d'origine sismique dans le bâti ancien* con sede a Perpignan (Francia).

<sup>7</sup> Per maggiori informazioni sul gruppo si consiglia di consultare le pubblicazioni dei convegni tenuti in Francia nel 2001, nel 2007 e nel 2010 (Groupe APS 2002, 2008).

le Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendente interventi di miglioramento antisismico e manutenzione nei complessi architettonici di valore storico artistico in zona sismica). Questi furono i presupposti con i quali venne affrontato il II Seminario Nazionale, svoltosi a Roma nell'aprile del 1997, dove venne redatto un bilancio delle ricerche fino a quel momento effettuate. Nell'incontro, per la prima volta, i risultati delle indagini svolte in questo campo vennero presentati alla comunità scientifica, ponendo le questioni della ricerca su di un nuovo piano di valutazione. Fra i risultati attesi, sicuramente rivestivano notevole importanza quelli delle università italiane, con le quali per la prima volta il Ministero affrontò «in maniera organica un rapporto di mutua collaborazione di natura interdisciplinare, con studi finalizzati alla tutela del patrimonio culturale su un tema specifico di grande significato sociale e tecnico-culturale» (Ballardini 1998: 75). Attraverso questa collaborazione tre università italiane (Genova, Siena e Salerno) dal 1988 elaborarono l'Atlante dei Tipi Costruttivi Murari, uno strumento che, tramite l'utilizzo di apposite schede, permise la registrazione e la catalogazione delle tecniche costruttive caratterizzanti l'edilizia storica delle province italiane in funzione della Prevenzione del Patrimonio Culturale dal Rischio Sismico. Lo studio investì tutto il territorio nazionale portando alla produzione di tre atlanti presentati al seminario di Roma del 1997: uno per l'Italia settentrionale (coordinato dal prof. Tiziano Mannoni) (Mannoni, Cicirello 1998), uno per l'Italia centrale (coordinato dal prof. Roberto Parenti)<sup>8</sup> e uno per l'Italia meridionale (coordinato dal prof. Paolo Peduto e dalla prof.ssa Tiziana Saccone) (Peduto, Saccone 1998). Lo studio sistematico di ognuna delle tre macro-aree geografiche in questione si sviluppò suddividendo il territorio in sub-regioni. Dove la sismicità storica era stata maggiore del VII grado della scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) vennero individuate: 22 aree per l'Italia Settentrionale, 20 aree per quella Centrale e 3 macro-aree per quella Meridionale, quest'ultima a sua volta suddivisa in 18 sub-aree. Tale suddivisione venne effettuata da un lato per agevolare e snellire il lavoro e dall'altro per distinguere all'interno di uno stesso territorio amministrativo (ad esempio all'interno della stessa regione) le zone che presentavano caratteristiche omogenee dal punto di vista geologico e costruttivo. Dal punto di vista tecnico, gli atlanti erano composti da schede appositamente redatte per l'analisi architettonica di strutture murarie geograficamente e cronologicamente eterogenee, al fine di comprenderne il loro comportamento sotto sollecitazione sismica<sup>9</sup>. La

<sup>8</sup> Ad oggi rimasto inedito, citato in bibliografia fra le fonti archivistiche inedite.

<sup>9</sup> Le schede contenevano da 79 a 85 campi informativi, la metà dei quali campi di definizione, riguardanti la localizzazione, la funzione e la datazione dell'opera muraria, osservazioni varie e codici informativi. L'altra metà dei campi erano analitici, contenevano cioè le caratteristiche dei materiali (litici, laterizi e leganti), le tecniche costruttive e gli eventuali degradi strutturali.

catalogazione effettuata ebbe perciò ricadute conoscitive ampie e costituì un valido strumento per la tutela di numerose strutture murarie appartenenti ai secoli compresi fra l'XI e il XIX secolo.

Solo in tempi recenti, in particolar modo dopo le attività sismiche che hanno coinvolto il territorio aquilano nel 2009 e quello emiliano nel 2012, gli archeologi hanno nuovamente riflettuto in modo concreto sul piano metodologico, sulle possibilità offerte dalla disciplina in riferimento alla conoscenza e alla prevenzione dell'edilizia storica dal rischio sismico. In questo modo si è passati da studi puramente storico-archeologici, dove il dato sismologico, quando incontrato, veniva utilizzato per datazioni o per interpretazioni di singoli contesti di studio, a ricerche teoriche e pratiche su edifici finalizzati all'interpretazione della loro storia costruttiva e sismica (Arrighetti 2012a, 2013a-b; Arrighetti *et al.* 2013; Brogiolo 2008; Brogiolo, Faccio 2010; Brogiolo, Cagnana 2012; Cagnoni 1996; Faccio *et al.* 1997; Parenti *et al.* 2010; Marcotulli 2012; Redi *et al.* 2012).

Per quanto concerne studi territorialmente più ampi, come quelli proposti dagli *Atlanti delle Tipi Costruttivi Murari*<sup>10</sup>, ad oggi, dalle pubblicazioni analizzate, si registra un'assenza di questo tipo di indagini. Per il settore della prevenzione dell'edilizia storica dal rischio sismico sarebbe invece auspicabile, così come proposto in archeologia territoriale (Volpe 2008) o globale (Mannoni 1995a), cercare un'integrazione fra i metodi archeologici di analisi dell'ambiente, del territorio e delle evidenze, con i dati elaborati da altre discipline (quali la geologia, la storia, la geomorfologia ecc.); un connubio che permetterebbe di ampliare gli orizzonti dei progetti elaborati, relazionando i dati emersi dall'analisi dei singoli casi studio con il contesto nel quale essi si situano, e valutando, attraverso l'approccio stratigrafico, il divenire storico del territorio e delle società. Questo processo d'indagine verrebbe caratterizzato inoltre da una doppia finalità: da un lato la propensione ad una ricostruzione storica dell'intero contesto analizzato e dall'altro la produzione di dati tecnici in funzione delle richieste dei professionisti e della committenza.

In questo quadro nasce quindi la necessità di proporre un approccio archeosismologico verso lo studio del rischio sismico con l'obiettivo, come analizzato nel dettaglio nel paragrafo successivo, di elaborare un modello storico-tecnico per un intero territorio, ottenibile dall'analisi dell'edilizia storica ubicata al suo interno. I risultati, che spaziano dalla conoscenza alla prevenzione di singoli edifici a quella dell'intero contesto di studio, devono essere perciò calibrati per divenire uno

<sup>10</sup> Gli Atlanti, sebbene abbiano costituito uno strumento efficace per la documentazione di una buona parte dell'edilizia storica situata in aree a rischio sismico, furono finalizzati ad una schedatura oggettiva e completa dei singoli edifici oggetto di studio. La loro finalità non prevedeva infatti l'elaborazione di riflessioni di più ampio respiro a livello territoriale conferite da una integrazione finale dei dati ricavati nell'analisi.

strumento integrabile ed utilizzabile sia dagli archeologi che dai professionisti che operano nelle analisi dirette sugli edifici e dalle discipline che si occupano della ricostruzione sismica e storica a livello micro e macro-territoriale.

## **2. Strumenti archeologici per l'analisi dell'edificato in aree a rischio sismico**

L'archeologia dell'architettura, attraverso l'analisi diretta della struttura materiale dei manufatti architettonici, integrata con altre tipologie di informazioni derivate dallo studio di fonti dirette ed indirette, permette di ricostruire la storia costruttiva degli edifici e di proporre riflessioni di più ampio respiro riguardo molteplici aspetti correlati agli edifici stessi e/o di pertinenza di contesti di studio più ampi<sup>11</sup>.

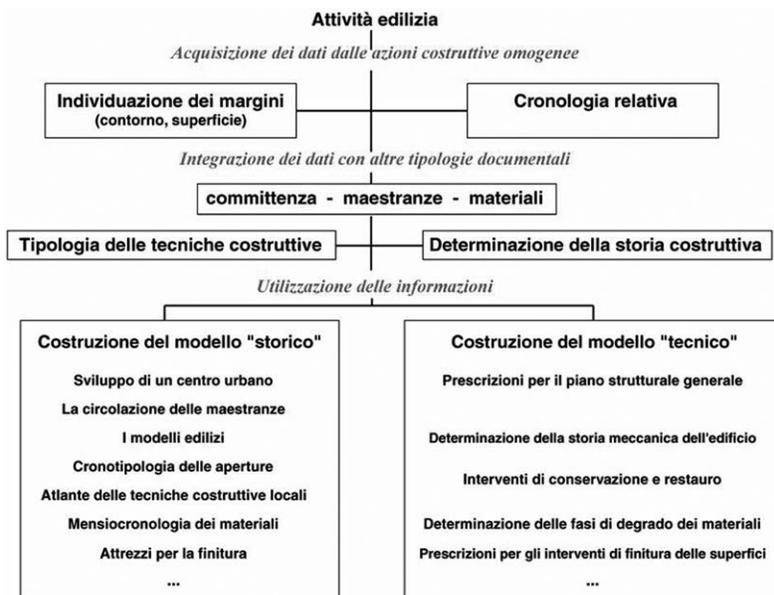
Per ottenere questo tipo di risultati l'archeologia dell'architettura si avvale di una serie di informazioni derivabili sia dallo studio dei Complessi Architettonici (attraverso quindi la lettura stratigrafica e la conseguente proposizione di una cronologia relativa fra gli elementi architettonici che li caratterizzano) che da una serie di fonti 'accessorie' (fonti scritte, epigrafiche, cartografiche, fotografiche ecc.). L'integrazione di questi dati permette di ottenere risultati che, partendo dall'analisi del singolo caso-studio, ovvero l'edificio, si aprono a riflessioni di più ampio respiro, sia a livello geografico che storico.

Le informazioni che si possono ottenere dall'applicazione del processo operativo archeologico all'analisi dell'edilizia storica potrebbero essere genericamente suddivise in due categorie, interdipendenti fra di loro, che fanno capo, a loro volta, a due specifici modelli interpretativi (figura 3):

- Un modello tecnico: i dati prodotti dall'analisi archeologica vengono utilizzati come base per studi e/o analisi dirette sugli edifici. In questo caso gli interlocutori principali dello studio saranno discipline tecnico-scientifiche, quali il restauro, l'ingegneria ecc.
- Un modello storico: i risultati dello studio archeologico vengono interpretati e 'tradotti' in chiave storica, generando una serie di informazioni utilizzabili per la comprensione degli aspetti sociali, economici, politici, storici e costruttivi di un contesto di studio.

<sup>11</sup> In questo libro non verranno analizzati gli aspetti relativi alla storia e alle metodologie d'indagine che caratterizzano l'archeologia dell'architettura, per i quali si rimanda ad apposita bibliografia specialistica. Fra i contributi più importanti possiamo citare: Boato 2008; Brogiolo 1988; Brogiolo, Cagnana 2012; Doglioni 1997, 2008; Francovich, Parenti 1988; Mannoni 1994; Parenti 1985, 1988a-b, 2002.

Fig. 3 – Lo schema concettuale che sta alla base del processo di indagine archeologico e dei risultati derivati dalla sua applicazione ad un contesto di studio (Fonte: Parenti 2002: 74).



Per ottenere tali risultati l'approccio metodologico non è sempre univoco e molte scuole, che fanno riferimento alle diverse realtà presenti all'interno del territorio italiano<sup>12</sup>, hanno elaborato ed utilizzano propri procedimenti operativi. La prassi operativa di analisi dell'edilizia storica proposta in questo manuale deriva da una ri-elaborazione del metodo nato e sviluppato nel Laboratorio di Archeologia dell'Architettura e Restauro dell'Università degli Studi di Siena<sup>13</sup> che, in linea generale, si basa su una iniziale fase progettuale caratterizzata dalla strutturazione di un Progetto Conoscitivo, su una fase operativa di raccolta dati a diretto contatto con la struttura oggetto d'indagine, su un'ampia fase di elaborazione in laboratorio ed infine sull'interpretazione del dato in funzione dei risultati prefissati. In particolare, la metodologia operativa si vede così strutturata:

- redazione del Progetto Conoscitivo;
- ricognizione del contesto di studio;
- individuazione dei campioni rappresentativi;
- scelta della scala dell'intervento;
- individuazione dei contorni stratigrafici di riferimento;

<sup>12</sup> Ci riferiamo in particolar modo all'ambiente universitario dove l'archeologia dell'architettura è ad oggi una disciplina largamente diffusa e utilizzata.

<sup>13</sup> Coordinato dal Prof. Roberto Parenti (sito internet: <http://www.laarch.unisi.it>).

- registrazione grafica e su scheda dei dati;
- redazione del diagramma stratigrafico;
- caratterizzazione Tecniche Costruttive;
- periodizzazione;
- interpretazione dell'evidenza e utilizzo delle informazioni.

L'approccio appena descritto prevede quindi, come punto di partenza di un progetto di analisi archeologica dell'edilizia storica, l'elaborazione di un *Progetto Conoscitivo*. Quest'ultimo è uno strumento che permette, preliminarmente alle operazioni di studio del manufatto, una valutazione ed una calibrazione dei criteri di approfondimento della ricerca in funzione dei risultati prefissati, successivamente affinati nella fase della *scelta della scala dell'intervento*. In questo modo per ogni fase di cui si compone un caso-studio vengono valutati sia gli strumenti metodologici da utilizzare che il corretto livello di approfondimento nell'impiego di questi ultimi. La lettura stratigrafica della struttura materiale di un edificio, ad esempio, prevede determinati livelli di indagine che permettono all'operatore di ottenere una conoscenza diacronica del sito sottoposto ad analisi:

- Complesso Architettonico (CA);
- Corpo di Fabbrica (CF);
- Fase Costruttiva (F);
- Attività (A);
- Unità Stratigrafica (US);
- 'Pellicola' o pelle dell'edificio (UR).

Ogni livello si pone in stretta relazione con quello che lo precede e con il successivo e richiede un'attenzione sempre crescente agli elementi che caratterizzano il sito oggetto di studio. La scelta e l'analiticità nell'analisi delle zone da indagare vengono quindi calibrate in fase progettuale, determinando la scala dell'intervento più idonea alle finalità preposte. Il processo appena descritto deve essere pianificato in fase progettuale, in quanto risulterà l'elemento chiave che poi influenzerà il tempo e le risorse necessarie in tutte le fasi del progetto, andando a ripercuotersi non solo sul risultato materiale dell'analisi ma anche sul lato economico della stessa. Ne consegue che prima di affrontare una qualsiasi ricerca archeologica devono essere quindi valutati risorse e tempo a disposizione in funzione degli obiettivi preposti.

Applicando tale metodologia ad un ipotetico progetto incentrato sull'analisi dell'edilizia storica in contesti a rischio sismico, l'impostazione, a livello concettuale, prevedrebbe lo stesso iter operativo. Se l'obiettivo, ad esempio, fosse quello di proporre uno studio particolareggiato incentrato sulla anamnesi della struttura materiale di un edificio nell'ottica di contribuire agli interventi diretti in un progetto di restauro, la ricerca dovrebbe prevedere un livello di approfondimento molto elevato, con un conseguen-

te notevole impiego di risorse e di tempo. In questo caso si riterrebbe quindi necessaria una lettura stratigrafica della struttura materiale degli edifici con un approfondimento che spazi dal generale al particolare, seguendo una prassi operativa che analizzi l'edificio dal Complesso Architettonico alle Unità di Rivestimento, accompagnata da un prelievo di campioni, da analisi archeometriche e così via. Al contrario, se la ricerca dovesse prevedere un'analisi territorialmente ampia tesa all'individuazione dei danni e dei restauri da sisma presenti sull'edilizia storica, l'analisi del contesto potrebbe essere definita 'mista'. Ad una iniziale indagine particolareggiata del contesto di studio, effettuata attraverso una ricognizione sistematica dell'edilizia presente nella zona di interesse, seguirebbe dunque una lettura stratigrafica dei siti limitata ai gruppi di Attività, valutando caso per caso quando approfondire alcuni elementi per sciogliere 'nodi interpretativi' particolarmente complessi. In questo modo si otterrebbe una caratterizzazione, catalogazione e datazione dei danni e dei presidi antisismici, con la conseguente proposizione di atlanti crono-tipologici degli stessi e accompagnando a tali elaborati la produzione di dati finalizzati alla comprensione degli effetti e delle caratteristiche della sismicità storica dell'area.

Conoscere gli strumenti e le tecniche archeologiche risulta quindi un'operazione di necessaria importanza nella strutturazione di un'indagine archeosismologica. Nei paragrafi successivi vengono perciò discusse ed approfondite alcune fasi operative del metodo archeologico di analisi dell'edilizia storica, mettendo in evidenza il ruolo che queste potrebbero svolgere all'interno di un progetto di analisi di Complessi Architettonici ubicati in aree a rischio sismico.

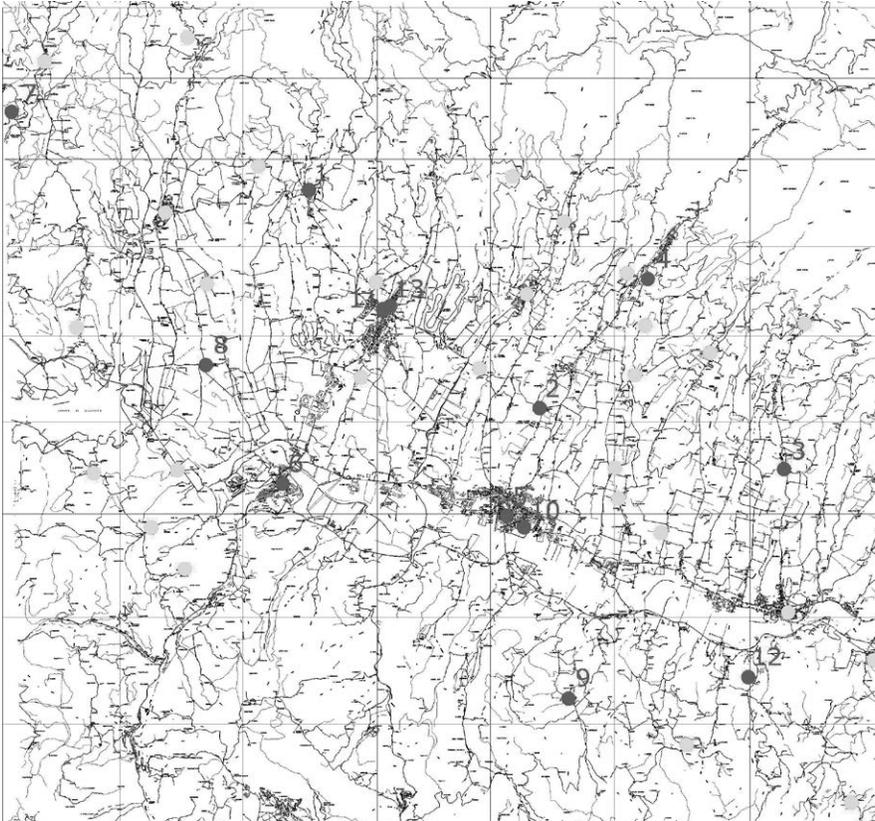
## **2.1 La ricognizione del contesto di studio e l'individuazione dei campioni rappresentativi**

In campo archeologico la ricognizione è uno degli strumenti maggiormente utilizzati nelle analisi territoriali. Sia che si tratti di analisi di superficie o di ciò che si pone al di sopra della 'quota zero', questo strumento permette di individuare e registrare le presenze utili ai fini di una ricerca archeologica in una determinata area. In linea generale, la ricognizione viene effettuata attraverso la comparazione fra una serie di fonti antiche e la cartografia moderna, accompagnate da un'analisi diretta sul campo. La prassi operativa è quindi caratterizzata da una prima fase di acquisizione dei dati sul campo ed una seconda dove i manufatti censiti all'interno di una specifica area vengono analizzati, comparati ed interpretati nell'ottica di un loro futuro utilizzo (sia come base per future analisi archeologiche di dettaglio che per elaborare modelli interpretativi dai dati raccolti)<sup>14</sup>.

<sup>14</sup> Per informazioni specifiche sulla ricognizione in campo archeologico si rimanda ai manuali di riferimento (Cambi, Terrenato 1994; Cambi 2003).

In uno studio estensivo sul rischio sismico questa fase del progetto è caratterizzata dall'utilizzo delle fonti comunemente impiegate in campo archeologico (foto aeree, cartografie, toponomastica, immagini satellitari, fonti storiche ecc.) integrate alle Mappe di Pericolosità Sismica a macro e micro-scala territoriale e ai dati contenuti all'interno delle basi di dati sismologici.

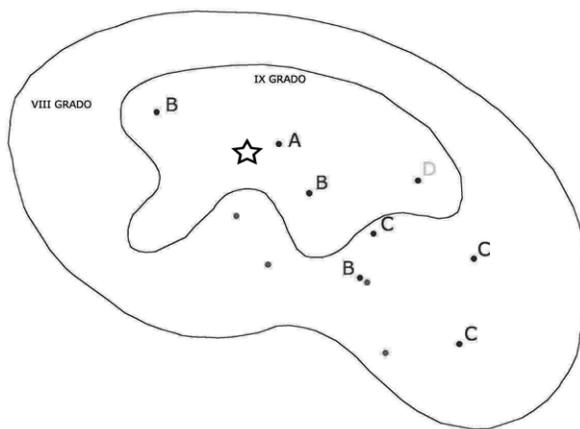
*Fig. 4 – Esempio di ricognizione e scelta del campione rappresentativo per uno studio archeosismologico condotto nell'area del Mugello (FI). In particolare nell'immagine vengono mostrate la totalità delle evidenze censite divise fra quelle non utilizzate nella ricerca (colore chiaro) e quelle che invece sono state sottoposte ad analisi archeosismologica (colore scuro e codice di riferimento).*



La ricognizione in archeosismologia risulta una fase operativa particolarmente importante in quanto permette, all'interno dell'area di riferimento, di individuare, registrare e monitorare in via preliminare gli edifici che presentano sulla loro struttura materiale spie di danni da sisma, possibili presidi antisismici, ecc.; il tutto nell'ottica di un censimento e di una conoscenza dello stato di fatto dei siti analizzati. Questa operazione permette

quindi una registrazione quantitativa di patrimonio edilizio storico esposto al rischio sismico, proponendo una prima verifica della qualità delle strutture in esso comprese (Liberatore *et al.* 2000) e delineando un primo studio storico della struttura materiale degli edifici presenti.

*Fig. 5 – Zonazione sismica per il terremoto del 1542 in Mugello ricostruita attraverso la ricognizione, l'analisi archeologica degli edifici storici ed il riconoscimento dei danni imputabili al sisma di metà XVI secolo. In particolare, conferendo ad ogni edificio una classe di riferimento (con ordine decrescente dalla A alla D) in base alla quantità e alla tipologia del danno o dei danni subiti a seguito dell'evento di metà XVI secolo e mettendo tali dati in rapporto alle aree di IX e VIII grado di intensità macrosismica proposte dai ricercatori dell'INGV (Ferrari, Molin 1985), è possibile notare alcune somiglianze ed altre incongruenze<sup>15</sup> che permettono valutazioni sull'efficacia del metodo archeosismologico per la proposizione di elementi aggiuntivi alla ricostruzione dei contesti storici affetti da sisma.*



In un secondo momento, a margine delle analisi di dettaglio svolte sugli edifici, la ricognizione offre la possibilità di effettuare considerazioni più generali sulle caratteristiche dei sismi antichi (localizzazione dell'epicentro, tipologia del movimento tellurico ecc.) e sui loro effetti sull'edilizia presente in quel dato momento storico<sup>16</sup>. In questo caso i risultati ottenuti dalla ricerca archeologica devono essere messi in relazione con le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del suolo e con le fonti storico-cartografiche; un processo che permette di generare mappe diacroniche delle trasformazioni subite dagli insediamenti nel corso del tempo e di comprendere le dinamiche costitutesi fra i contesti e l'attività sismica dell'area nel lungo periodo. L'ottenimento di un risultato completo e corretto è ovvia-

<sup>15</sup> Per approfondimenti su questa specifica analisi fare riferimento al terzo capitolo.

<sup>16</sup> Per questo caso specifico si può far riferimento ai risultati ottenuti nell'analisi del contesto del Mugello, trattati nel terzo capitolo.

mente vincolato dalla possibilità, da parte dell'operatore, di monitorare, registrare ed analizzare la totalità degli edifici presenti nel contesto di riferimento; in questo caso è infatti indispensabile censire sia le architetture che testimoniano, attraverso la presenza di danni sulla loro struttura materiale, la presenza dell'attività sismica dell'area, che le strutture caratterizzate da un'assenza di un qualsiasi cinematismo attivato da un terremoto<sup>17</sup>.

## 2.2 L'analisi stratigrafica

Ai fini di una corretta individuazione del sistema resistente e del suo stato di sollecitazione è importante la ricostruzione dell'intera storia costruttiva del bene culturale tutelato, ossia del processo di costruzione e delle successive modificazioni nel tempo del manufatto. In particolare andrà evidenziata la successione realizzativa delle diverse porzioni di fabbrica, al fine di individuare le zone di possibile discontinuità e disomogeneità materiale, sia in pianta che in alzato (corpi aggiunti, sopraelevazioni, sostituzioni di orizzontamenti, ecc) [...] (MIBAC 2011: 42-43).

L'analisi stratigrafica applicata all'architettura è uno strumento che permette di scomporre la struttura materiale degli edifici in tutti quegli eventi antropici e/o naturali che l'hanno caratterizzata nel corso del tempo, interpretando i dati in funzione della comprensione della storia costruttiva dei singoli manufatti e, più in generale, dei fenomeni storici che hanno interessato interi contesti di studio. La lettura archeologica degli edifici<sup>18</sup> può essere effettuata suddividendo stratigraficamente la struttura materiale negli elementi che la caratterizzano e che permettono una lettura diacronica della stessa. E' utile quindi porre nuovamente l'attenzione sui livelli di approfondimento applicabili nell'analisi di un edificio e sulla loro importanza in funzione degli obiettivi fissati dalla ricerca:

- Complesso Architettonico (CA);
- Corpo di Fabbrica (CF);
- Fase Costruttiva (F);
- Attività (A);
- Unità Stratigrafica (US);
- 'Pellicola' o pelle dell'edificio (UR).

La lettura stratigrafica dell'edilizia storica per livelli di approfondimento non ha limiti cronologici, geografici o tipologici, può quindi essere appli-

<sup>17</sup> Esempi in tal senso sono stati sperimentati per i danni subiti dall'edilizia dei centri cittadini ai margini della città de L'Aquila nel corso delle analisi post terremoto del 2009 (Andreini *et al.* 2012a-b).

<sup>18</sup> Per approfondimenti sulla metodologia operativa per l'analisi stratigrafica dell'architettura si rimanda a contributi specifici (Boato 2008; Brogiolo, Cagnana 2012; Mannoni 1988, 1994; Mannoni, Crusi 1989; Parenti 1988a, 1992, 2002).

cata a tutti i contesti di studio indipendentemente da dove essi si situano, da chi essi siano stati edificati o in che periodo. L'applicazione di uno o più livelli può variare all'interno di un contesto di studio così come nel medesimo Complesso Architettonico; un edificio può prevedere quindi la lettura per Fasi Costruttive di un Corpo di Fabbrica e per Unità Stratigrafiche di un altro che necessita maggior approfondimento perché più complesso, maggiormente ricco di informazioni ecc.

L'applicazione di questa metodologia d'indagine ai manufatti architettonici ubicati in aree a rischio sismico permette di relazionare la stratigrafia negativa e positiva degli edifici di interesse, ovvero la loro storia costruttiva, all'attività sismica dell'area nel breve e nel lungo periodo. Tale operazione risulta fondamentale per comprendere la storia sismica dei singoli siti e più in generale, una volta integrati i dati di più casi studio, dell'area in cui essi si situano; attraverso questa operazione vengono inoltre prodotti una serie di dati tecnici utilizzabili nella progettazione di interventi diretti sulla struttura materiale dell'edificio stesso (Lagomarsino, Boato 2010). Ciò che risulta indispensabile, come specificato nel paragrafo introduttivo al capitolo, è la calibrazione da parte dell'operatore dell'adeguato approfondimento nell'anamnesi dei Complessi Architettonici. Le risorse e il tempo a disposizione andranno quindi combinate alle finalità imposte dal progetto di ricerca e porteranno, in rapporto all'esperienza maturata sul campo dall'operatore, a determinare il livello di accuratezza nell'applicazione del metodo stratigrafico ai singoli casi studio, valutando caso per caso quando e dove indagare in profondità un manufatto o una porzione di esso.

Se volessimo proporre una schematizzazione degli aspetti più interessanti scaturiti dall'applicazione della stratigrafia all'analisi di un manufatto architettonico, potremmo ritenere di particolare importanza i seguenti elementi:

- 1) L'individuazione dei possibili punti di manifestazione dei quadri fessurativi. Questi ultimi tendono infatti a coinvolgere, con particolare incidenza, le interfacce male ammortate di diverse Unità Stratigrafiche o le zone delle murature caratterizzate da vuoti tamponati e/o ancora aperti (aperture, buche pontate ecc.).
- 2) La produzione di dati tecnici utilizzabili nella progettazione dei restauri. Ciò avviene, ad esempio, isolando e caratterizzando le attività costruttive che costituiscono gli edifici ed utilizzandole, in fase di progettazione, come base per l'individuazione dei maschi murari.
- 3) L'individuazione e la caratterizzazione dell'evoluzione degli edifici all'interno dei centri cittadini. In questo caso da un'analisi effettuata per Corpi di Fabbrica potrebbero essere messe in evidenza le relazioni fisiche instaurate fra più edifici all'interno di fronti stradali o aggregati. Questa operazione permette, nell'eventualità di future scosse sismiche, di valutare la vulnerabilità di ogni Unità Abitativa in rapporto alle mutate condizioni statiche della stessa avvenute nel corso del tempo.

Fig. 6 – Esempio di interfaccia stratigrafica interessata da un distacco che ha provocato la formazione di un evidente quadro fessurativo di un paramento interno del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI).



- 4) L'individuazione, la caratterizzazione e la datazione di uno o più danni da sisma ottenibile dal confronto fra le evidenze stratigrafiche e la lettura per macro-elementi (Doglioni *et al.* 1994). I meccanismi di danno tendono a manifestarsi nei punti di maggior debolezza delle strutture architettoniche (Giuffrè 1991); la stratigrafia in questo caso, come detto in precedenza, aiuta in modo determinante a mettere in luce e valutare le possibili zone soggette al manifestarsi di tali cinematismi, ponendo in risalto alcuni elementi che potrebbero risultare particolarmente influenzabili dai movimenti sismici (quadri fessurativi non correttamente restaurati, interfacce stratigrafiche male ammorsate fra loro, cambiamenti nei modi di costruire ecc.). Dal punto di vista archeologico inoltre il rapporto fra macro-elemento e stratigrafia risulta un passo fondamentale nell'analisi di un edificio, poiché permette di confrontare alcuni processi di trasformazione del complesso a fenomeni distruttivi ben precisi e ai successivi sistemi di riparazione messi in atto per restaurarlo. In questo caso quindi la stratigrafia ci permette di ipotizzare come un edificio abbia risposto ai terremoti che lo hanno interessato nei diversi periodi storici e quali danni lo abbiano interessato in relazione all'attività sismica del contesto di studio. Ogni terremoto può quindi essere caratterizzato e parzialmente ricostruito interpretando le tracce che questo ha lasciato sulla struttura materiale dell'edificio stesso. Tale processo, per essere ritenuto valido, deve contemplare l'analisi ed il confronto fra le ipotesi emerse da più casi studio, in quanto ogni edificio ha una propria storia costruttiva determinata dalle caratteristiche della fabbrica, dai sistemi costruttivi utilizzati, dalle caratteristiche geologiche dell'area nel quale si situa, dal mutato stato di conservazione dello stesso nel corso

Fig. 7 – Lettura stratigrafica per gruppi di Attività della Pieve di Sant'Agata di Mugello (FI) e diagramma stratigrafico di riferimento con inserimento dei fenomeni sismici (TAVOLA 5).

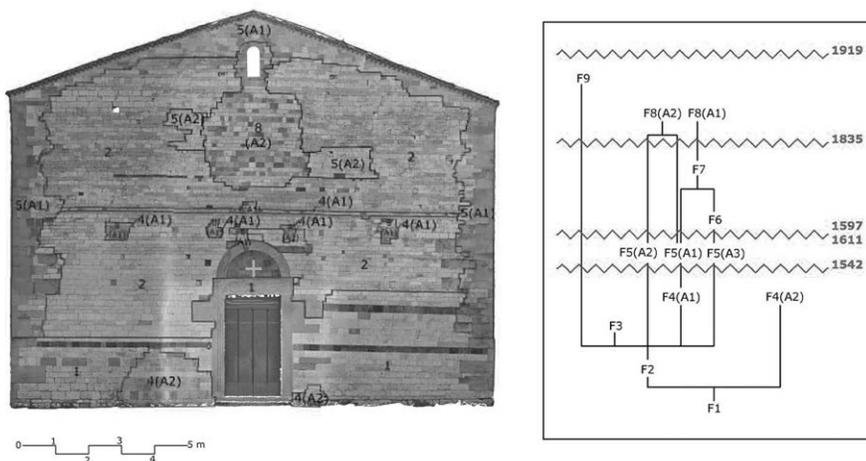


Fig. 8 – Due esempi di ammorsature di lesioni effettuate attraverso l'impiego di catene in pietra poste all'interno del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI).



del tempo e così via. Solo il confronto mirato fra le evidenze emerse dall'analisi della struttura materiale dell'edilizia storica che caratterizza un contesto di studio permette di arrivare a conclusioni plausibili in merito alle caratteristiche dei terremoti antichi presenti nell'area di riferimento.

Dal punto di vista operativo i meccanismi di danno individuati possono essere inseriti nel diagramma stratigrafico come Unità Stratigrafiche negative cronologicamente attribuibili ad attività sismiche, costituendo quindi indicatori cronologici di eccezionale valore e precisione. I terremoti infatti, se correttamente interpretati, in fase di periodizzazione assumono un ruolo che potrebbe essere parificato a quello delle monete negli strati archeologici, fornendo una datazione molto precisa per lo strato interessato e conseguentemente costituendo un riferimento cronologico per gli elementi fisicamente collegati a questo.

- 5) L'individuazione, la datazione e la caratterizzazione dei 'presidi antisismici', ovvero tutti quegli elementi messi in opera per mitigare, riparare o contrastare l'effetto dei movimenti tellurici.

### **2.3 La caratterizzazione delle tecniche costruttive tradizionali e antisismiche e le crono-tipologie**

Al fine di limitare al massimo l'impatto di queste indagini, oltre alla conoscenza delle vicende costruttive del manufatto in esame, è fondamentale avere un'approfondita consapevolezza delle caratteristiche costruttive dei manufatti nell'area e nei diversi periodi storici. Speciale attenzione dovrà essere riservata alla valutazione della qualità muraria, tenendo conto dei modi di costruire tipici di quel territorio ed individuando le caratteristiche geometriche e materiche dei singoli componenti, oltre che le modalità di assemblaggio [...] (MIBAC 2011: 44).

L'analisi dei sistemi costruttivi in archeologia dell'architettura è un processo che si basa sulla scomposizione della fabbrica degli edifici in tutti quegli elementi che la caratterizzano, in funzione di una loro tipologizzazione. Tale processo prevede quindi, da parte dell'operatore, una visione tridimensionale dell'edificio ed offre l'opportunità, una volta confrontate le evidenze riscontrate, di creare tipologie architettoniche per periodi cronologici di riferimento<sup>19</sup>.

Nell'analisi crono-tipologica delle tecniche costruttive i singoli contesti di studio vengono considerati complessi meccanismi caratterizzati da ele-

<sup>19</sup> La periodizzazione delle tipologie costruttive avviene collegando questi elementi a riferimenti cronologici derivati dall'analisi stratigrafica (cronologia relativa), dall'analisi delle fonti indirette e dall'utilizzo di altri tipologie di indicatori cronologici (cronologia assoluta).

menti architettonici specifici, registrabili per caratteristiche ben precise e confrontabili fra di loro. La prassi operativa archeologica offre quindi l'opportunità di caratterizzare i modi di costruire delle maestranze presenti in un'area nei diversi periodi cronologici, aiutando in modo determinante l'interpretazione in chiave storico-tecnica del contesto di studio<sup>20</sup>.

In linea generale, i principali sistemi costruttivi riscontrabili in architettura si potrebbero classificare nel modo seguente.

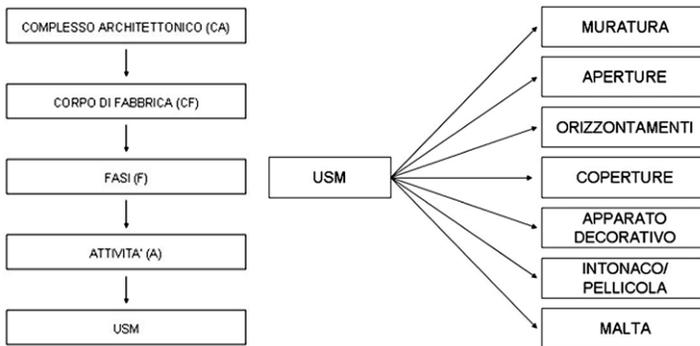
- 1) *Murature*: la caratterizzazione delle murature comprende l'analisi di una serie di caratteristiche: gli elementi costruttivi (natura petrografica, forma geometrica, forma lavorata), la disposizione dei filari, la dimensione dei giunti, la finitura delle superfici, le buche puntaie, le angolate, la sezione.
- 2) *Aperture*: le aperture vengono distinte dalle murature non solo per la loro importanza a livello tipologico ma anche per la possibilità di effettuarvi analisi esclusive (stereotomia degli archi, dimensione degli stipiti, dimensione della luce ecc.).
- 3) *Orizzontamenti e coperture*: gli orizzontamenti e le coperture rappresentano un elemento fondamentale nello studio delle tecniche costruttive. In un contesto architettonico non sempre è possibile ricostruire l'esatta forma delle volte e dei solai, ad esempio nei casi in cui le strutture siano state costruite in materiale deperibile (ad esempio in legno) e non abbiano lasciato traccia della loro forma (se non nei vuoti presenti sulle murature). Dove invece tali elementi si sono conservati, la possibilità di studiarne la tipologia, lo schema costruttivo e le eventuali decorazioni, ci fornisce un'ampia gamma di informazioni di carattere costruttivo-architettonico (metodologia di costruzione, maestranze ecc.) strettamente collegate all'ambito sociale di appartenenza (Felici 2006).
- 4) *Apparati decorativi*: gli apparati decorativi sono generalmente elementi unici e perciò possono essere facilmente caratterizzati e confrontati, costituendo di conseguenza indicatori cronologici di essenziale valore.
- 5) *Intonaci/pellicole*: la caratterizzazione mineralogico-petrografica e tecnica degli intonaci, così come quella della malta, è un'operazione micro-distruttiva (il campione prelevato può essere utilizzato per differenti tipi di analisi) e ci fornisce informazioni importanti di ordine costruttivo (le tecniche di produzione, la sua composizione, le dimensioni e i rapporti dei suoi componenti ecc.), di ordine storico (la provenienza dei materiali impiegati, l'approvvigionamento delle materie prime, la presenza in cantiere di maestranze specializzate ecc.) e di ordine conservativo (Pecchioni et al. 2008).

<sup>20</sup> Contributi specifici sulle cronotipologie in: Bianchi 2003a-b; Mannoni 1994, 1997; Parenti 1988a-b.

- 6) *Malte*: vengono intese in questo caso come elementi presenti in tutte le murature non a secco come materiali di allettamento. Le malte sono considerate il fossile guida per eccellenza nello studio di un edificio poiché devono essere preparate al momento del loro utilizzo, cioè la costruzione della muratura, e non possono essere più reimpiegate dopo il loro indurimento e presa (Parenti 2002: 78). Un'analisi macroscopica della malta ci fornisce lo stesso tipo di informazioni citate in precedenza per lo studio dell'intonaco ed inoltre risulta di fondamentale importanza sia per la sua funzione primaria nella determinazione dei contorni delle Unità Stratigrafiche, che come elemento cardine nell'elaborazione delle tipologie costruttive.

Il processo di indagine quindi, successivamente alla scomposizione stratigrafica degli edifici, prevede una determinazione tipologica degli elementi costruttivi che, una volta integrati ai dati ricavati dallo spoglio delle fonti dirette e indirette, permettono di proporre crono-tipologie di riferimento.

Fig. 9 – I sistemi costruttivi ed il loro rapporto con il sistema di riferimento utilizzato per la lettura archeologica di un edificio (Fonte: Arrighetti 2014).



La realizzazione di crono-tipologie riferite ad aree geografiche specifiche permette la successiva costituzione di Atlanti Crono-tipologici, strumenti che raccolgono la totalità dei sistemi costruttivi caratterizzanti un contesto di studio per archi cronologici di riferimento.

In ambito archeosismologico la caratterizzazione dei sistemi costruttivi e dei restauri non si limita all'identificazione degli elementi architettonici citati in precedenza, ma comprende all'interno della casistica di riferimento, anche tutti quegli elementi messi in opera per mitigare, prevenire o contrastare gli effetti dei terremoti, annoverabili sotto il nome di 'presidi antisismici'. Con questo termine vengono inseriti tutti quegli elementi che, sebbene svolgano una funzione antisismica in caso di terremoti, in alcuni casi si presentano come fenomenologie di interventi messi in atto a seguito di dissesti occorsi all'edilizia storica per cause diverse dai movimenti tellu-

rici, quali: carichi verticali; cedimenti di fondazione; variazioni termiche; carichi orizzontali dati da elementi spingenti come archi, volte, coperture ecc. In accordo con i Cataloghi dei Presidi Antisismici, trattati nel primo capitolo, al paragrafo 4.2, dall'esperienza diretta maturata in Mugello ed in altri contesti terremotati, è possibile inserire in questo gruppo<sup>21</sup>:

- le catene (fig. 10);
- i contrafforti e i muri scarpato (fig. 11);
- gli archi di contrasto (fig. 12);
- gli archi di scarico (fig. 13);
- le murature che presentano elementi specifici (ad esempio diatoni, cantonali con elementi sovra-dimensionati rispetto al resto della struttura, radiciamenti lignei, apparecchiature a regola d'arte ecc.) (fig. 14).

La lettura stratigrafica della struttura materiale degli edifici permette di caratterizzare e datare in cronologia relativa i 'presidi antisismici' ed inoltre aiuta in modo determinante a comprendere il rapporto fra questi ed il resto dell'edificio, un processo indispensabile per determinare il ruolo antisismico di tali elementi<sup>22</sup>. La costruzione di crono-tipologie dei sistemi costruttivi antisismici deve perciò prevedere un'attenta analisi dell'edificio con particolare riferimento ai danni presenti sulla struttura, distinguendo quelli manifestatisi a seguito dei terremoti storici, da quelli dovuti ad altre cause. Molto spesso tale processo prevede l'utilizzo di analisi eseguibili in laboratorio<sup>23</sup>.

Dalla caratterizzazione dei 'presidi antisismici' è dunque possibile:

- effettuare valutazioni sull'efficacia dei modi di costruire e degli interventi post-sisma, nell'ottica di proporre una base per comprendere dove restaurare e di valutare i materiali più compatibili ed idonei per queste operazioni;
- proporre atlanti cronotipologici di tali elementi utili a comprendere i saperi costruttivi delle maestranze e delle committenze in uno o più periodi storici in un determinato contesto in rapporto alla sismicità che interessava l'area di riferimento.

<sup>21</sup> Il gruppo, facendo riferimento ad un numero limitato di progetti effettuati e pubblicati in Italia, è ovviamente sottostimato rispetto alla totalità dei presidi utilizzati nel corso della storia con funzione antisismica.

<sup>22</sup> Non sempre gli elementi architettonici inseriti nella casistica dei presidi antisismici svolgono tale funzione. Un esempio sono i contrafforti e i muri scarpato utilizzati spesso anche in connessione a problemi strutturali o collegati alle mutate caratteristiche geomorfologiche dell'area.

<sup>23</sup> In tal senso rappresenta un valido esempio la possibilità di caratterizzare le malte in base ai loro componenti chimico-fisici attraverso le analisi archeometriche. In questo caso non avremmo solo una serie di dati che potrebbero essere utili per capire se gli elementi analizzati contribuiscono o meno alla stabilità di una struttura, ma potremmo anche arrivare a replicare tecniche costruttive antiche nell'ottica di proporre restauri utilizzando materiali più possibile compatibili a quelli originari.

*Fig. 10 – Alcuni esempi di catene (in legno, in pietra ed in ferro) inserite nelle murature con funzione di presidi antisismici. Le prime due immagini provengono dalla Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI); la terza fotografia ritrae un particolare della Pieve di San Gavino Adimari (FI).*



## 104 L'archeosismologia in architettura

*Fig. 11 – Barbacani e muri scarpati messi in opera come forma di presidio antisismico. Le due immagini riguardano il Palazzo dei Vicari di Scarperia (FI) dove una scarpa che corre lungo tutto il perimetro dell'edificio ed un Corpo di Fabbrica addossato al prospetto ovest della torre furono costruiti agli inizi del Seicento a seguito dei terremoti di metà e fine XVI secolo.*



*Fig. 12 – Arco di contrasto ubicato all'interno del borgo di Ronta in Mugello (FI).*



*Fig. 13 – Arco di scarico in laterizi costruito sopra l'architrave della porta di ingresso alla Pieve di San Gavino Adimari (FI).*



Fig. 14 – Esempi di radiciamenti lignei posti all'altezza dell'imposta degli archi della cella campanaria della Pieve di San Gavino Adimari (FI).



## 2.4 La registrazione grafica e su scheda dei dati

Una corretta analisi archeologica del costruito prevede che i dati ottenuti dall'analisi sul campo ed in laboratorio vengano registrati attraverso una documentazione cartacea e digitale precisa, univoca e puntuale. Dato che gli edifici sono elementi tridimensionali appare dunque indispensabile dotarsi di strumenti idonei alla registrazione dei sistemi costruttivi e degli 'eventi' (crolli, trasformazioni, ampliamenti ecc.) che hanno caratterizzato e definito nel corso del tempo la loro struttura materiale, cercando di rappresentare e restituire in modo corretto e completo tutte le caratteristiche reputate di interesse per la ricerca. Risulta quindi indispensabile valutare l'utilizzo di tecniche e tecnologie che producano *output* conformi alle esigenze richieste dagli obiettivi impostati in fase di costituzione del progetto, siano esse prettamente archeologiche o di altro tipo.

### 2.4.1 La schedatura del record archeosismologico

La registrazione delle caratteristiche costruttive e stratigrafiche di edifici ubicati in aree a rischio sismico dovrebbe prevedere una prima carat-

terizzazione degli elementi riferibili ai terremoti attraverso una schedatura archeosismologica. Ad esempio, nel caso di un'analisi di un prospetto di un edificio operata per Unità Stratigrafiche, tutte le azioni negative individuate come meccanismi di danno dovuti all'azione di un sisma dovrebbero poter essere registrate in modo completo e seguendo criteri univoci, che integrino le evidenze riscontrate dalla lettura archeologica con la caratterizzazione dei meccanismi di danno per macro-elementi.

Al momento in archeologia non esiste un modello di schedatura che possa rispondere a questo tipo di esigenze<sup>24</sup>. Sono invece presenti molte tipologie di sistemi per la registrazione della struttura materiale dal punto di vista stratigrafico e tipologico. L'operazione necessaria è quindi quella di elaborare una scheda che permetta di essere integrata (e non sostituita) a quelle in uso ed edite dai gruppi di ricerca archeologica che operano in Italia e che permetta di soddisfare la necessità di introdurre alcuni campi relativi alla registrazione dei danni riscontrati nell'analisi sul campo e ad una loro prima interpretazione in chiave archeosismologica. In questo senso viene quindi proposta la Scheda Registrazione Danno da Sisma (RDS), un apparato schedografico composto da alcuni campi numericamente limitati per registrare e collocare stratigraficamente i danni da terremoto individuati su un edificio durante la lettura archeologica dello stesso. La scheda RDS si vede composta dai seguenti campi.

- Codice danno: si tratta di un campo libero composto da un codice alfanumerico che viene dedotto dal tipo di danno riscontrato sull'edificio. Le tipologie di danno (figg. 19, 20 e 21 del capitolo 1), e quindi i relativi codici, sono tratti dalla Scheda per il rilievo del danno ai Beni Culturali – Chiese elaborata dal MIBAC e dalla Protezione Civile per la registrazione degli edifici de L'Aquila colpiti dal sisma del 2009.
- Corpo di Fabbrica: numero del CF di riferimento.
- Prospetto: denominazione e localizzazione del danno nel/i prospetto/i di riferimento.
- Cronologia relativa ed assoluta del danno: la prima determinabile dalla lettura stratigrafica dei paramenti e la seconda da altri indicatori cronologici eventualmente presenti sul manufatto (epigrafi, iscrizioni, stemmi ecc.).
- Descrizione: descrizione oggettiva del danno.
- Interpretazione: interpretazione soggettiva da parte dell'operatore del danno.
- Schizzo: disegno del danno e di altri elementi significativi che ne esemplifichino la tipologia e le dinamiche attivate.

<sup>24</sup> Esistono invece molte tipologie di rilievo del danno sismico elaborate e modificate nel corso degli anni (Binda 1999; Doglioni *et al.* 1994; Lagomarsino 1999, 2000). Inoltre a livello teorico alcune proposte di documentazione dell'edilizia storica in aree a rischio sismico sono state elaborate anche da Brogiolo 2008.

Come è possibile notare dalle figg. 15 e 16 la scheda si presenta strutturalmente molto semplice, con campi numericamente molto limitati. Tale scelta è stata effettuata per far fronte alle innumerevoli casistiche riscontrabili durante un'analisi archeosismologica di un manufatto e, allo stesso tempo, per rendere la scheda utilizzabile in una ricerca che sia operata ad un qualsiasi livello di approfondimento. In questo caso infatti, sia che si stia operando una lettura stratigrafica per Fasi Costruttive, per Attività o per Unità Stratigrafiche, la registrazione del danno potrebbe essere effettuata sulla scheda RDS senza che questa debba essere modificata. Saranno solo i parametri inseriti dall'operatore a modificarne i contenuti, calibrandoli alle finalità imposte dal progetto stesso.

Fig. 15 – Scheda RDS: la sezione relativa alla descrizione del danno.

SCHEDA REGISTRAZIONE DANNO DA SISMA			
COD. DANNO		Corpo di Fabbrica	Prospetto
CRONOLOGIA	Relativa:		
	Assoluta:		
Descrizione:		Interpretazione:	
Schizzo:			

Per quanto concerne la registrazione schedografica dei 'presidi antisismici', proporre elaborati cartacei in grado di caratterizzare la pluralità degli elementi che potrebbero appartenere a questo gruppo, appare un processo molto complesso. La varietà dei contesti ed in particolar modo dei sistemi costruttivi impiegati nella prevenzione, mitigazione e riparazione degli edifici dai terremoti, porterebbe ad elaborare schede troppo generiche o, al contrario, troppo ricche di particolari per essere utilizzate in modo univoco nei diversi contesti di studio. Per questo motivo per la caratterizzazione delle 'tecniche costruttive antisismiche' è indispensabile rimandare alle schede per la registrazione dei sistemi costruttivi tradizionali elaborate ed

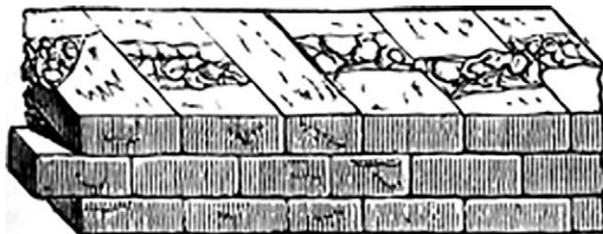
Fig. 16 – Scheda RDS: le tipologie di danno per gli edifici religiosi con i codici di riferimento.

TIPOLOGIA DEL DANNO	
1 - Ribaltamento della facciata	A. Distacco della facciata dalle pareti o evidenti fuoripiombo
2 - Meccanismi nella sommità della facciata	A. Ribaltamento del timpano, con lesione orizzontale o a V
	B. Disgregazione della muratura o scorrimento del cordolo
	C. Rotazione delle capriate
3 - Meccanismi nel piano della facciata	A. Lesioni inclinate (taglio)
	B. Lesioni verticali o arcuate (rotazione)
	C. Altre fessurazioni o spancamenti
4 - Protiro - Nartece	A. Lesioni negli archi o nella trabeazione per rotazione delle colonne
	B. Distacco dalla facciata
	C. Martellamento
5 - Risposta trasversale dell'aula	A. Lesioni negli archi
	B. Rotazioni delle pareti laterali
	C. Lesioni a taglio nelle volte
	D. Fuori piombo e schiacciamento nelle colonne
6 - Meccanismi di taglio nelle pareti laterali	A. Lesioni inclinate
	B. Lesioni in corrispondenza di discontinuità nella muratura
7 - Risposta longitudinale del colonnato nelle chiese a più navate	A. Lesioni negli archi o negli architravi longitudinali
	B. Schiacciamento e/o lesioni alla base dei pilastri
	C. Lesioni a taglio nelle volte delle navate laterali
	D. Fuori piombo e schiacciamento nelle colonne
8 - Volte della navata centrale	A. Lesioni nelle volte dell'aula centrale
	B. Sconnessioni delle volte degli archi
9 - Volte delle navate laterali	A. Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli archi o dalle pareti laterali
10 – Ribaltamento delle pareti di estremità del transetto	A. Distacco della parete frontale dalle pareti laterali
	B. Ribaltamento o disgregazioni del timpano in sommità
11 – Meccanismi di taglio nelle pareti laterali del transetto	A. Lesioni inclinate (singole o incrociate)
	B. Lesioni attraverso discontinuità
12 – Volte del transetto	A. Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli archi e dalle pareti laterali
13 – Archi trionfali	A. Lesioni nell'arco
	B. Scorrimento di conci
	C. Schiacciamento o lesioni orizzontali alla base dei piedritti
14 – Cupola - Tamburo	A. Lesioni nella cupola con eventuale prosecuzione nel tamburo
15 - Lanterna	A. Lesioni nel cupolino della lanterna
	B. Rotazioni o scorrimenti dei piedritti
16 – Ribaltamento dell'abside	A. Lesioni verticali o arcuate nelle pareti dell'abside
	B. Lesioni verticali negli absidi poligonali
	C. Lesione a U negli absidi semicirculari
17 – Meccanismi di taglio nel presbiterio o nell'abside	A. Lesioni inclinate
	B. Lesioni in corrispondenza di discontinuità murarie
18 – Volte del presbiterio o dell'abside	A. Lesioni nelle volte o sconnessioni dagli archi o dalle pareti laterali
19 – Meccanismi negli elementi di copertura – pareti laterali dell'aula	A. Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse
	B. Sconnessioni tra cordoli e muratura
	C. Movimenti significativi del manto di copertura
20 - Meccanismi negli elementi di copertura – transetto	A. Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse
	B. Sconnessioni tra cordoli e muratura
	C. Movimenti significativi del manto di copertura
21 - Meccanismi negli elementi di copertura – abside e presbiterio	A. Lesioni vicine alle teste delle travi lignee, scorrimento delle stesse
	B. Sconnessioni tra cordoli e muratura
	C. Movimenti significativi del manto di copertura
22 – Ribaltamento delle cappelle	A. Distacco della parete frontale dalle pareti laterali
23 – Meccanismi di taglio nelle pareti delle cappelle	A. Lesioni inclinate
	B. Lesioni in corrispondenza di discontinuità nella muratura
24 – Volte delle cappelle	A. Lesioni nelle volte o sconnessioni dalle pareti laterali
25 – Interazioni in prossimità di irregolarità piano-altimetriche	A. Movimento in corrispondenza di discontinuità costruttive
	B. Lesioni nella muratura per martellamento
26 – Aggetti	A. Evidenza di rotazioni permanenti o scorrimento
	B. Lesioni
27 – Torre Campanaria	A. Lesioni vicino allo stacco dal corpo della chiesa
	B. Lesioni a taglio o scorrimento
	C. Lesioni verticali o arcuate (espulsione di uno o più angoli)
28 – Cella Campanaria	A. Lesioni negli archi
	B. Rotazioni o scorrimenti dei piedritti

utilizzate dai singoli gruppi di ricerca archeologica<sup>25</sup>. Tali strumenti sono in grado di registrare una notevole quantità di dati e perciò potrebbero costituire un'ottima base alla quale allegare alcuni campi strettamente correlati alle analisi sul rischio sismico. Le schede per la registrazione delle murature, ad esempio, potrebbero prevedere l'individuazione di alcune caratteristiche che, se correttamente interpretate, permetterebbero di identificare e registrare specifici elementi messi in opera dalle maestranze con l'intento di 'proteggere' l'edificio dai movimenti tellurici, quali:

- I diatoni: elementi inseriti ortogonalmente all'andamento della muratura, solitamente blocchi squadrati o sbozzati di medio-grandi dimensioni, messi in opera con l'intento di collegare perpendicolarmente il paramento murario esterno con quello interno, evitando distaccamenti di uno o di entrambi i prospetti dal nucleo centrale (fig. 17).

*Fig. 17 – Esempificazione della messa in opera di diatoni all'interno di una porzione di una muratura (McGraw-Hill Dictionary of Architecture and Construction).*



- I radiciamenti lignei: elementi in legno inseriti nel nucleo della muratura al momento della sua costruzione, parallelamente all'andamento della stessa, per conferirle elasticità ed uniformità.

Oltre a questi specifici presidi, esistono altre caratteristiche, strettamente correlate alla caratterizzazione delle murature in zona sismica<sup>26</sup>, che potrebbero essere inserite nelle schede per la caratterizzazione delle 'tecniche costruttive antisismiche', con l'obiettivo di fornire dati a future analisi di vulnerabilità (Giovinazzi, Lagomarsino 2001; Marino, Moretti 2007). In tal senso, le discontinuità presenti nelle murature (aperture, buche pontai e ecc.) sono fattori da tenere in considerazione durante la registrazione delle tecniche costruttive.

<sup>25</sup> Un esempio di scheda per la caratterizzazione delle tecniche costruttive è la Scheda per la Registrazione della Struttura Materiale elaborata ed utilizzata all'interno del Laboratorio di Archeologia dell'Architettura dell'Università degli Studi di Siena (Arrighetti 2014).

<sup>26</sup> Una definizione dei criteri di registrazione delle murature in zone a rischio sismico è stata proposta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti a seguito dei terremoti del 1997/98 che colpirono l'Umbria e le Marche (Binda 1999; Lagomarsino 1999).

### 2.4.2 Il rilievo in aree ad alto rischio sismico: esigenze e sicurezza

Un buon intervento di documentazione e registrazione del Patrimonio Culturale è la base con cui affrontare cantieri di restauro, progetti di ricerca archeologici e storico/artistici ed attività di tutela, come ad esempio la prevenzione del rischio sismico o il monitoraggio dello stato di conservazione di siti archeologici complessi, non solo per preservare il bene, ma per renderlo fruibile al pubblico. La possibilità di integrare le tecnologie oggi a nostra disposizione, insieme alla necessità di utilizzare nel migliore dei modi i prodotti digitali creati da queste stesse tecnologie, risulta il passo fondamentale per arrivare ad un obiettivo comune: conoscere ciò che stiamo registrando per conservarlo e promuoverlo, seguendo l'idea che oggi un monumento non è più solo un oggetto da conoscere in se stesso, ma diventa parte attiva della società, trasformandosi in un generatore, non solo di risorse culturali, ma anche economiche e sociali.

Lavorare in contesti nei quali il terremoto è ancora una ferita aperta impone una serie di precauzioni in riferimento al livello di emergenza stabilito dalla Protezione Civile. In questi casi, dove monitoraggio e messa in sicurezza rappresentano le esigenze primarie, risulta indispensabile impiegare una metodologia di rilievo che abbinì velocità ed affidabilità del dato restituito. Le varianti riscontrabili su questo tipo di contesti sono le più disparate, anche se in tutti i casi le specifiche richieste dalla committenza si focalizzano su un rilievo speditivo, ad una distanza di sicurezza dal manufatto (per evidenti pericoli di crollo) e che restituisca elaborati in grado di soddisfare esigenze e finalità completamente diversificate tra di loro (dalle analisi di vulnerabilità, ai progetti di restauro, ai calcoli volumetrici di rimozione delle macerie ecc.). In questi contesti quindi parametri come la facile trasportabilità, la versatilità e l'ampio raggio di azione, senza escludere ovviamente l'alta precisione e l'affidabilità del dato restituito, rappresentano i maggiori punti di forza nella scelta di una tecnologia di rilievo (Parenti *et al.* 2010; Gilento 2012).

In aree dove il rischio sismico è alto ma i terremoti rappresentano un ricordo più o meno lontano, la prevenzione rappresenta il punto focale delle analisi e degli interventi sull'edilizia storica e perciò le specifiche richieste ai prodotti generati da una metodologia di rilievo vengono stabilite in rapporto alle esigenze che mostrano i singoli contesti. In questi casi il lavoro può essere svolto con maggiore libertà, avvicinandosi adeguatamente e muovendosi attorno alle strutture e registrando da tutti i punti a disposizione la tridimensionalità degli edifici da rilevare. La tecnologia impiegata deve comunque rispettare i parametri di affidabilità e di precisione esaminati in precedenza.

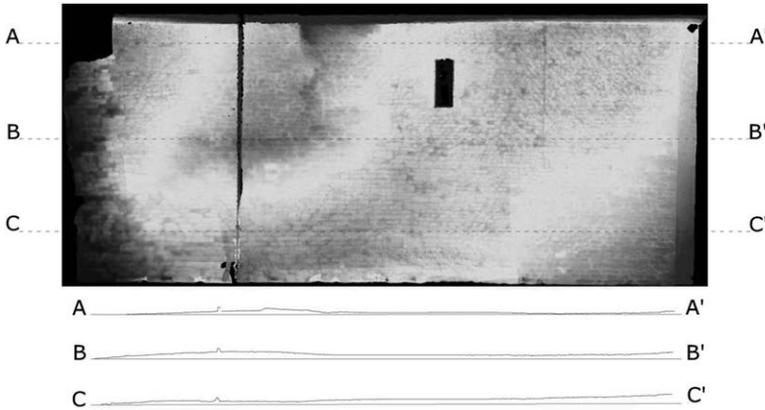
In entrambi i casi, contesti terremotati ed aree a rischio sismico non colpite da un recente sisma, è quindi auspicabile l'utilizzo di strumentazioni

in grado di lavorare in contesti eterogenei, con una versatilità che risponda in modo ottimale a difficoltà ambientali delle più disparate e che riesca ad integrare a quanto detto precisione ed affidabilità metrica e geometrica dei prodotti restituiti.

Dal punto di vista delle tecnologie di rilievo, il mercato attuale offre molte possibilità, prime fra tutte gli strumenti che restituiscono modelli tridimensionali in nuvola di punti degli oggetti rilevati, ovvero laser scanner e strumenti fotogrammetrici (sia basati sulla stereo-fotogrammetria che sulla tecnica *Structure from Motion*). In entrambi i casi, al momento sembrano essere le strumentazioni di tipo professionale a garantire il rispetto delle specifiche di alta precisione ed affidabilità metrica e geometrica del dato restituito attraverso la restituzione di prodotti di diversa natura (nuvole di punti, modelli tridimensionali, *Digital Elevation Models*, sezioni di superficie ecc.). In questa sede non saranno affrontati gli aspetti positivi e negativi legati all'utilizzo delle strumentazioni di rilievo nei diversi contesti di studio, per i quali si rimanda ad apposita bibliografia specialistica (Bertocci, Bini 2012; Bianchini 2008; De Luca 2011; Docci, Maestri 2009), ma è utile sottolineare come ogni tipologia di strumento permetta, in relazione alle proprie caratteristiche, di realizzare prodotti più o meno in linea con le esigenze imposte dai diversi progetti di ricerca. Per l'analisi archeologica, ad esempio, la condizione ottimale viene rappresentata dalla possibilità di elaborare le proprie considerazioni, in un primo momento effettuate a diretto contatto con la struttura materiale di un sito o di un Complesso Architettonico (dalla lettura stratigrafica alla caratterizzazione dei sistemi costruttivi), su un modello tridimensionale con texture fotografica ad alta restituzione, che permetta quindi di individuare e caratterizzare ogni singolo elemento di interesse con precisione ed accuratezza. Per i progetti legati alle analisi su edifici in aree a rischio sismico la possibilità invece di disporre di strumenti di rilievo che permettano di valutare con elevate precisioni le deformazioni delle superfici dei manufatti, ad esempio gli spancamenti o i fuoripiombo, rappresenta un punto di forza di non trascurabile importanza. Risulta quindi indispensabile conoscere le caratteristiche dei prodotti elaborati dalle diverse tecnologie in commercio per meglio comprendere quelle che si conformano alle esigenze di ogni singolo progetto di ricerca. Gli obiettivi, le risorse a disposizione (*in primis* quelle economiche), le caratteristiche delle tecnologie e le condizioni oggettive del manufatto da documentare diroteranno la scelta del migliore strumento di rilievo o, nella migliore delle ipotesi, dell'integrazione di due o più di queste tecnologie<sup>27</sup>.

<sup>27</sup> L'integrazione fra tecnologie diverse molto spesso rappresenta il miglior modo di rilevare, restituire e rappresentare un manufatto architettonico (Arrighetti 2012b).

Fig. 18 – Caratterizzazione del quadro deformativo del prospetto nord della chiesa vecchia di San Michele a Ronta (FI) attraverso un Digital Elevation Model e tre sezioni di superficie ottenute mediante la tecnologia Menci Software Zscan<sup>28</sup>.



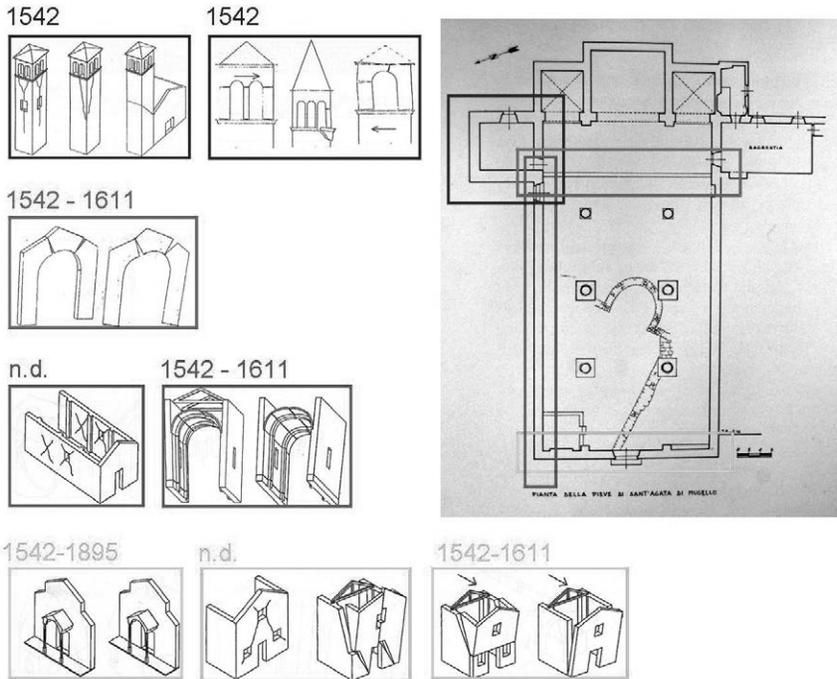
Dal punto di vista archeosismologico, e non solo, risulta indispensabile partire dal concetto che l'edificio è un oggetto tridimensionale e, di conseguenza, tutte le tracce che lo caratterizzano si sviluppano sulle tre dimensioni. Un cinematismo, ad esempio, difficilmente si limita a coinvolgere soltanto un paramento murario esterno; molto spesso vengono interessati il nucleo della muratura e il suo corrispettivo interno, oppure si riscontrano meccanismi di danno su più prospetti (ad esempio il crollo di un angolata). Lo stesso vale ovviamente per la stratigrafia; interventi messi in opera in determinati periodi possono coinvolgere uno, due o tre paramenti, così come prospetti diversi. La rappresentazione di un manufatto sottoposto ad analisi archeosismologica non può dunque limitarsi alla produzione di modelli in nuvola di punti dai quali ricavare elaborati bidimensionali (piane, prospetti, sezioni ecc.) da utilizzare in un secondo momento come base per le riflessioni scaturite sul campo. È indispensabile utilizzare prodotti tridimensionali per restituire le interpretazioni stratigrafiche ed il record archeosismologico, sia quest'ultimo collegato ai danni da terremoto o ai presidi antisismici. Per riuscire ad inserire questa mole di dati all'interno di un unico prodotto è possibile utilizzare una serie di accorgimenti e di softwares che permettono sia di registrare le informazioni acquisite, che di restituirle nel modo più semplice e diretto possibile. In un primo momento il dato elaborato potrebbe essere rappresentato, ad esempio, attraverso la pianta dell'edificio analizzato con l'individuazione dei meccanismi di danno<sup>29</sup> attivati dai terremoti nel corso del tempo e, quando possibile, il riferimento cronologico di ognuno di questi (fig. 19).

<sup>28</sup> Per maggiori informazioni vedere il terzo capitolo e le tavole a colori.

<sup>29</sup> I modelli dei meccanismi di danno sono tratti dall'*Abaco dei meccanismi di danno delle chiese* elaborato dal MIBAC e dalla Protezione Civile in occasione del rilievo post-sisma de L'Aquila del 2009.

## 114 L'archeosismologia in architettura

Fig. 19 – Periodizzazione dei meccanismi di danno per macro-elementi individuati nella Pieve di Sant'Agata di Mugello (FI). La datazione dei cinematismi, quando possibile, è stata determinata dall'integrazione fra la lettura stratigrafica dell'edificio e l'analisi delle fonti storiche (TAVOLA 4).

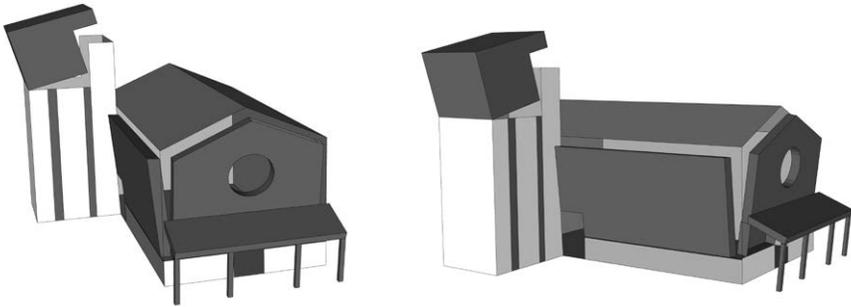


Utilizzando l'elaborato appena descritto come base iniziale, il passo successivo potrebbe essere costituito dalla rappresentazione di ognuno di questi meccanismi attraverso modelli tridimensionali di riferimento accumulando, se possibile, la caratterizzazione dei danni con i modelli evolutivi della chiesa nei momenti storici interessati dai terremoti. Attraverso questo processo la visione del danno risulterebbe molto più completa e sarebbe possibile comprendere nel dettaglio le porzioni di edificio coinvolte dai movimenti sismici. Modelli di questo tipo, che coniugano l'interpretazione archeologica con la ricostruzione dei danni occorsi da un determinato terremoto, permettono inoltre di comprendere anche la messa in opera di alcuni accorgimenti o trasformazioni avvenute sulla fabbrica nei periodi storici successivi all'evento sismico.

In alcuni casi è infine possibile mettere in connessione la stratigrafia alla manifestazione di specifici meccanismi di danno. Nel caso del quadro fessurativo ad esempio risulta molto difficile andare a ricostruire il momento di manifestazione di questo tipo di cinematismo, a meno che le lesioni non vengano messe in relazione a specifici accorgimenti o vengano 'sigillate' da

fasi costruttive ben datate. In questi casi è possibile ipotizzare una cronologia più precisa per questo tipo di danno che, collegata alla sismicità storica dell'area, potrebbe essere collegata ad uno specifico terremoto.

*Fig. 20 – Schematizzazione dei meccanismi di danno attivati dal terremoto del 1542 sulla Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI) in rapporto alla probabile configurazione della chiesa in quel periodo storico. In particolare i danni riscontrati sono i seguenti: ribaltamento della facciata; distacco del portico; ribaltamento del prospetto laterale; crollo delle angolate e di parte del tetto; crollo della cella campanaria; lesioni verticali su un prospetto della torre campanaria (TAVOLA 4).*



*Fig. 21 – Nell'immagine viene mostrata una porzione del prospetto sud della Pieve di Sant'Agata di Mugello (FI) dove il mancato rapporto fisico fra il quadro fessurativo e i vuoti 'tagliati' nella muratura (le finestre) permette di ipotizzare una sequenza cronologica di manifestazione del danno in oggetto. In particolare, la figura mostra come le finestre, messe in opera all'inizio del XVII secolo, furono costruite successivamente al comparire delle lesioni. Queste ultime, in accordo con la sismicità storica dell'area, possono dunque essere messe in relazione con il terremoto del 1542 o della metà del XIII secolo.*



*Fig. 22 – Il prospetto sud della chiesa di San Francesco a Borgo San Lorenzo (FI) permette di correlare la stratigrafia operata per fasi costruttive al quadro fessurativo. In particolare, attraverso la comparazione fra la cronologia relativa delle fasi, gli elementi architettonici interessati dai danni e la caratterizzazione delle lesioni, è possibile proporre tre diversi momenti di manifestazione di questo tipo di danno: le lesioni oblique ai margini del prospetto sono riferibili ad un periodo anteriore al 1542; quelle verticali nel centro del paramento si riferiscono al terremoto del 1542; quelle nei pressi del tetto in relazione ai finestroni appartengono al terremoto del 1919. A margine dell'analisi delle fonti scritte e dei confronti effettuati dall'analisi territoriale operata in Mugello, è possibile inoltre proporre per le lesioni del primo periodo una cronologia collocabile alla metà del XIII secolo (TAVOLA 3).*



### **3. La prassi operativa archeosismologica per lo studio di contesti a rischio sismico**

L'integrazione fra i dati prodotti dai professionisti che operano nel campo del rischio sismico in Italia introdotti nel capitolo 1 ed il processo archeologico di analisi dell'edilizia storica, trattato in questo capitolo, risulta un passo di essenziale importanza nella definizione di un iter operativo di tipo archeosismologico. Tale processo porta con sé un doppio vantaggio: introdurre nella prassi operativa archeologica alcuni elementi utili all'analisi del territorio e dei contesti di studio; produrre una serie di dati archeosismologici da utilizzare in ottica multidisciplinare per il 'corretto intervento' durante le fasi di analisi, restauro e messa in sicurezza degli edifici.

Facendo seguito a quanto detto, un progetto archeosismologico potrebbe configurarsi secondo la seguente prassi operativa<sup>30</sup>:

<sup>30</sup> Fra le fasi del lavoro elencate sono stati inseriti in corsivo gli strumenti e i processi di indagine innovativi rispetto alla prassi operativa archeologica.

- Redazione del Progetto Conoscitivo.
- Definizione del contesto di studio e ricognizione:
- Analisi delle fonti indirette (letterature antiche e moderne, iscrizioni, cartografia storica e moderna, toponomastica, iconografia ecc.);
  - analisi bibliografica;
  - *analisi delle mappe del rischio sismico*;
  - *analisi delle basi di dati sismologici*;
  - analisi d'archivio.
- Individuazione dei campioni rappresentativi.
- Scelta della scala dell'intervento.
- Analisi del campione (lettura stratigrafica; *individuazione dei meccanismi di danno per macroelementi; caratterizzazione del quadro fessurativo; individuazione dei sistemi di riparazione, prevenzione e mitigazione*).
- Registrazione grafica e su scheda dei dati (schede archeologiche e *archeosismologiche*).
- Redazione del diagramma stratigrafico.
- Caratterizzazione delle tecniche costruttive tradizionali.
- *Individuazione e caratterizzazione del quadro deformativo*.
- *Caratterizzazione dei presidi antisismici*.
- *Caratterizzazione dei meccanismi di danno*.
- Periodizzazione (attraverso l'analisi delle fonti storiche, le cronotologie e i *confronti mirati con le datazioni inserite nei cataloghi sismologici*).
- Interpretazione dell'evidenza ed utilizzo delle informazioni.

Focalizzando l'attenzione sui contesti di studio, una riflessione particolare merita il rapporto fra il progetto archeosismologico e la scala di riferimento richiesta per l'analisi del contesto (puntuale, comprensoriale, regionale, nazionale ecc.). In questo caso gli interventi potrebbero infatti essere impostati sull'analisi dei singoli edifici, andando quindi a valutare le cinematiche di dissesto in rapporto alla stratificazione degli elementi presenti per le operazioni di restauro o di messa in sicurezza, oppure sulla valutazione della vulnerabilità dell'edilizia storica presente in centri urbani o comprensori<sup>31</sup>.

In base alla scala dell'intervento più o meno dettagliata richiesta dal progetto, l'iter operativo può essere differenziato seguendo due step:

- Una prima fase più generale caratterizzata da una ricognizione sistematica delle aree a rischio sismico, dove le evidenze riscontrate possono essere registrate e preliminarmente monitorate nell'ottica di un loro

<sup>31</sup> Ad esempio per quanto riguarda le analisi sulla vulnerabilità dei centri storici le valutazioni sulle connessioni e gli appoggi fra i Corpi di Fabbrica che compongono un fronte stradale rappresentano elementi indispensabili nella redazione di piani d'emergenza o nelle verifiche strutturali.

censimento e di una conoscenza del loro stato di fatto. In questo modo verrebbe messa in luce la quantità di patrimonio edilizio storico esposto al rischio sismico (esposizione) e la qualità delle strutture in esso comprese, delineando a sua volta un primo studio storico della struttura materiale degli edifici presenti.

- Un secondo grado di analisi, maggiormente dettagliata della precedente ma da effettuarsi successivamente a questa, riguarda invece la lettura archeosismologica dei manufatti architettonici, una metodologia d'indagine che permette di documentare e registrare una quantità notevole di dati, restituibili attraverso prodotti bi- e tridimensionali. Il lavoro viene effettuato con un grado di approfondimento predefinito, dato dalla redazione di un Progetto Conoscitivo preliminare e con strumenti archeologici già sperimentati e tarati per questo tipo di analisi. Fra i risultati di maggior rilievo ottenibili da questo tipo di analisi occupano un posto preminente gli *Atlanti delle Tecniche Costruttive Tradizionali e Antisismiche* a micro- e macroscale territoriale. Accanto a questi potrebbero essere citate le carte di micro-zonazione sismica riguardanti i singoli terremoti che hanno interessato un'area nel corso del tempo, che andrebbero ad aggiungere materiale inedito alle mappe di Pericolosità Sismica e ai Cataloghi Sismologici editi ed in continuo aggiornamento dai diversi Enti preposti.

I diversi gradi di approccio alla questione sismologica potrebbero essere quindi integrati fra di loro in un processo diacronico di analisi del Patrimonio Culturale edificato presente in una o più aree a rischio sismico o potrebbero a loro volta essere utilizzati separatamente, andando cioè ad effettuare prime valutazioni delle strutture esposte al rischio, attraverso ricognizioni e schedature preliminari e valutando caso per caso in quale area approfondire la ricerca nell'ottica della migliore conoscenza delle architetture storiche conservate.

PARTE SECONDA

APPLICAZIONE SUL CAMPO



## **Il progetto *Archeologia dell'architettura e rischio sismico in Mugello***

### **I. Introduzione a un'area a medio-alto rischio sismico**

#### **I.1 Inquadramento storico**

L'inquadramento storico brevemente presentato in questo paragrafo viene strutturato in modo da analizzare i punti salienti della storia del Mugello in relazione ai periodi caratterizzati dai principali eventi sismici riportati dalle basi di dati sismologici. Particolare risalto viene conferito al Medioevo, età in cui si strutturano e si sviluppano gli insediamenti e le evidenze trattate dal progetto.

Il Mugello nel Medioevo era probabilmente caratterizzato da numerosi insediamenti posti su ripiani alluvionali degradanti dalle pendici dell'Appennino e lungo le dorsali che si staccano dai monti che circondano la valle sia a Nord che a Sud del fiume Sieve. Molti meno erano probabilmente gli insediamenti posti nella bassa pianura, poco attestati dalle fonti, forse a causa del grave disordine idrografico del suolo testimoniato ancora oggi da diversi toponimi (Lago, Padule, Pantano ecc.) (Francovich 1974). Fra gli insediamenti si riscontra una netta prevalenza di castelli, che rappresentavano le unità più densamente popolate, ai quali si aggiunsero, dai secoli centrali del Medioevo, le Pievi, intorno alle quali si strutturavano abitati di medio-piccole proporzioni. La presenza di una grande quantità di centri abitati si può imputare da un lato alle proprietà del suolo, esposto a Mezzogiorno e caratterizzato da terreni fertili e facilmente lavorabili, e dall'altro alla sua posizione topografica in relazione alle numerose vie di comunicazione che congiungevano Firenze e la Toscana con Bologna e la Romagna (Plesner 1938; Ciampi 1987; Sterpos 1961).

In questo panorama, caratterizzato dalla presenza di importanti famiglie feudali, prime fra tutte in Mugello quella degli Ubaldini, tra la fine del Due-

cento ed il primo decennio del Trecento si attua l'espansione del Comune di Firenze, attraverso l'edificazione e la trasformazione di una rete di centri nel contado. La conquista fiorentina permette alla città un'organizzazione o una ri-definizione del territorio in funzione di un migliore sfruttamento delle risorse e delle strutture presenti. In Mugello, fra le diverse realtà che nascono e si trasformano in questo periodo, due tipologie di centri sembrano trovare maggiore fortuna: le 'terre nuove' ed i borghi fortificati. Nel primo caso si tratta di centri cittadini costruiti ex-novo con una finalità ben precisa: indebolire le famiglie feudali presenti sul territorio nell'ottica di una conquista dei loro possedimenti (Romby 2006; Romby, Diana 1985). L'esempio che meglio si colloca nel territorio e che fa capo al progetto qui presentato è Scarperia, terra nuova nata agli inizi del XIV secolo in opposizione al castello di Montaccianico degli Ubaldini (Magna 1982; Monti, Pruno 2012; Pirillo 2004; Zagnoni 2004), quest'ultimo conquistato e distrutto dalla Dominante nel 1306. Accanto a questi nuovi centri si assiste all'ampliamento e alla fortificazione da parte di Firenze di ulteriori punti nevralgici del Mugello. È questo il caso di Borgo San Lorenzo antico *castrum* trasformato nel corso del Trecento in borgo fortificato (Romby 1995).

Il Quattrocento ed il Cinquecento rappresentarono per il Mugello i secoli dell'espansione medicea. La fondazione della fortezza di San Martino a San Piero a Sieve, delle ville del Trebbio e di Cafaggiolo nonché il patronato di numerose chiese e l'amministrazione dei centri cittadini attraverso una struttura vicariale e podestarile, rappresentarono i capisaldi della presenza della famiglia Medici in questa parte del contado. Il Mugello alla metà del Cinquecento era quindi un Vicariato del Principato mediceo di Toscana, dipendente da Firenze. Il Vicario, di provenienza fiorentina, amministrava la giustizia civile e penale e rappresentava l'autorità centrale. Il Vicariato era diviso in Podesterie rette da Podestà locali con competenze limitate alla giurisdizione civile. Le singole comunità facevano poi riferimento a tre magistrature cittadine: i 'Cinque Conservatori del dominio fiorentino', affiancati dal 1532 dagli 'Otto di Pratica', incaricati di risolvere le controversie riguardanti le comunità; e i 'Capitani di Parte Guelfa' che sotto il principato mediceo si occupavano prevalentemente di lavori pubblici e della manutenzione delle strade e delle fortezze del dominio, fra cui gli interventi post-sisma. Tutti gli ufficiali erano eletti dal 'Senato dei Quarantotto' un consiglio ristretto con competenze finanziarie. Dal punto di vista ecclesiastico il Mugello faceva parte della Diocesi di Firenze.

Sul finire del XVI secolo il Mugello faceva parte del Granducato di Toscana, governato all'epoca del terremoto del 1597 dal duca Ferdinando I (1587-1609). Il ducato estendeva il suo dominio circa su tutta l'odierna regione Toscana, con l'eccezione di Lucca, dell'alta Garfagnana, della Lunigiana e di pochi altri territori.

Dal Seicento all'Ottocento il territorio del Mugello continuava a fare parte del Granducato di Toscana e presentava un paesaggio sostanzial-

mente immutato nella sua fisionomia, con un'economia essenzialmente a vocazione agricola. Nel Settecento, in particolare, si assiste ad un momento di fervente attività costruttiva. In questo periodo vengono infatti attestati numerosi lavori di rifacimento che interessarono in particolare gli edifici religiosi, trasformati dalle linee medievali a quelle più sfarzose del Barocco.

Dopo l'Unità d'Italia ed in particolar modo nella prima metà del Novecento, a seguito della fine della prima guerra mondiale, il Mugello appariva una regione provata dalla fortissima crisi sociale ed economica, un periodo caratterizzato da una crescente inflazione dei prezzi, che ebbe effetti devastanti sulle economie locali e sulle condizioni finanziarie dello Stato, nonché da aspre lotte politiche, acuite dal duro confronto tra classe operaia e datori di lavoro, sia pubblici che privati. Nel primo decennio del Novecento, nel Mugello si erano sviluppate ed ampliate le antiche attività artigianali, alcune delle quali erano divenute aziende di tipo industriale; infine le imprese pubbliche del Genio Civile, nonché l'edilizia privata, si erano sviluppate su tutto il territorio.

L'ultima grande evoluzione urbanistica del Mugello, caratterizzata da estese costruzioni a carattere abitativo e industriale, è avvenuta in tempi recenti, dagli anni Sessanta ad oggi. Questo periodo ha trasformato la fisionomia di gran parte del paesaggio, portando inoltre alla cancellazione di molti aspetti che costituivano l'identità originaria degli insediamenti e degli edifici storici.

## **1.2 Geologia, geomorfologia e sismotettonica dell'area del Mugello**

La vallata del Mugello coincide col bacino idrografico del fiume Sieve, affluente dell'Arno, e forma una vasta conca limitata all'intorno dai rilievi montuosi dell'Appennino Tosco-Romagnolo. Essa ha un contorno sub-ellittico, con asse maggiore diretto secondo il corso della Sieve (da ovest-nord-ovest a est-sud-est) ed è limitata a nord dalle alture del Citerna, della Futa, del Monte Gazzaro, del Giogo e del Colle di Casaglia che raggiungono una quota media di circa 950 m.s.l.m.; ad est dalle pendici del Giogo di Villore e del Monte Falterona; a sud dal Monte Giovi e Monte Senario; ad ovest dai monti della Calvana e dalle alture di Poggio Montecuccoli, Poggio Mezzano e Monte Tronale. Scendendo verso il fondovalle il rilievo si fa più dolce, essendo quasi esclusivamente costituito da collinette con altezza variabile fra 500 metri nella parte settentrionale e 200-300 metri in quella meridionale, fino a divenire pianeggiante in vicinanza della Sieve.

Dal punto di vista geologico il bacino del Mugello è una conca la cui ossatura eocenica appare evidente nelle due catene di monti che la circoscrivono, cioè l'Appennino a nord e la catena di Monte Morello e Monte Giovi a sud. Il riempimento del bacino è fatto da una formazione pliocenica lacustre che alla base presenta potenti banconi di argille con lignite e superiormente marne, ghiaie e sabbioni ricoperti da un mantello quaternario (figg. 1 e 3).

Fig. 1 – Mappa e sezione geologica del bacino del Mugello riportata nel DISS 3.1.1. (Fonte: <http://diss.rm.ingv.it/dissHTML/ITIS087INF.html>)

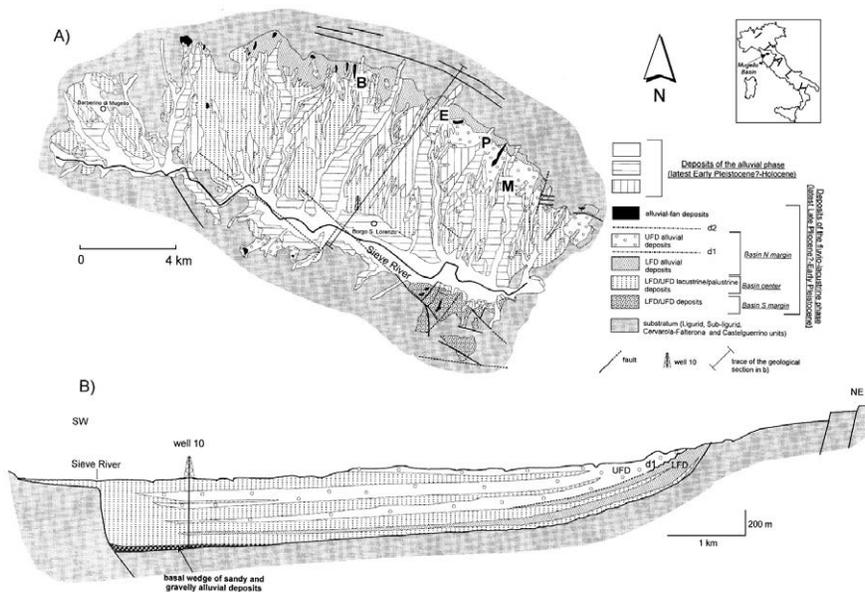
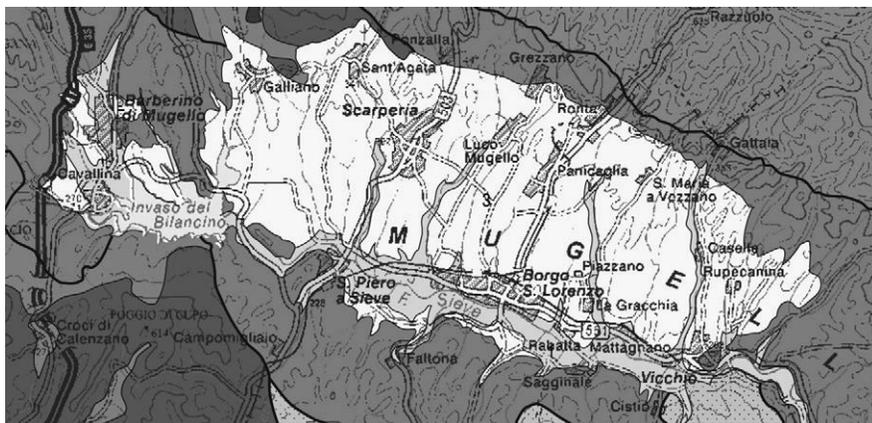


Fig. 2 – Particolare relativo al Mugello della Carta Geologica della Toscana.



L'aspetto morfologico del Mugello è quindi quello di un largo bacino tettonico racchiuso tra i monti che, tra le quote altimetriche approssimative di 200 e 1100 metri, presenta ambienti naturali e paesaggi antropizzati distinti in rapporto alle altezze, alle forme e alla natura dei terreni. Si trovano quindi nella parte centrale solcata dal fiume Sieve una breve striscia

Fig. 3 – Mappa geomorfologica del bacino del Mugello riportata all'interno del DISS 3.1.1. (Fonte: <http://diss.rm.ingv.it/dissHTML/ITIS087INF.html>)

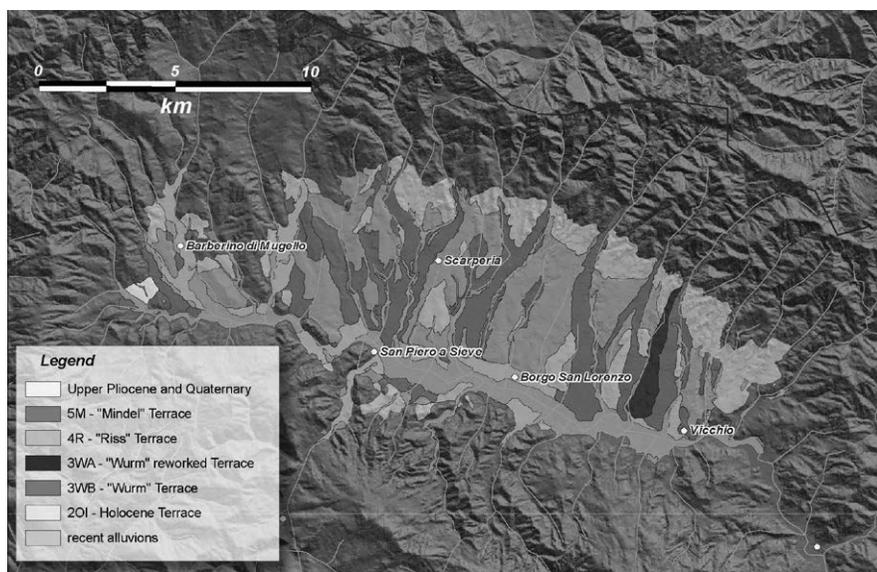
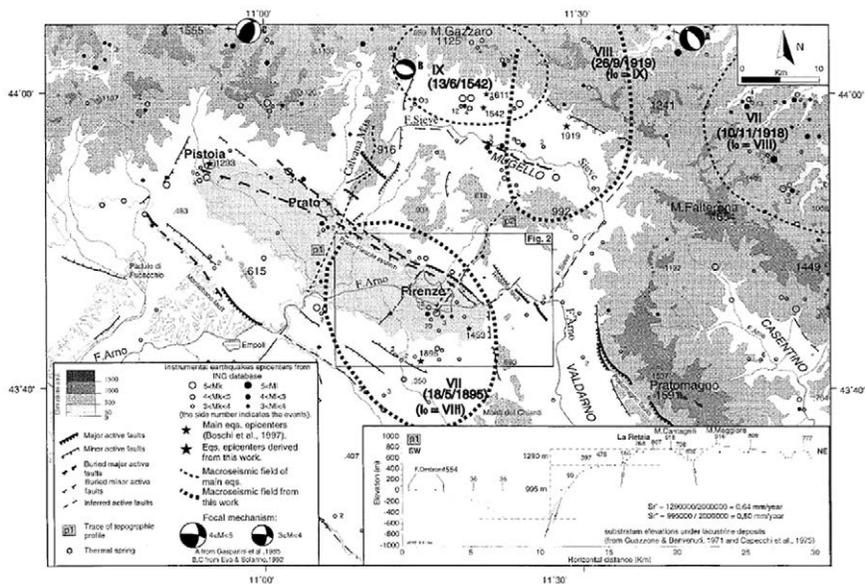


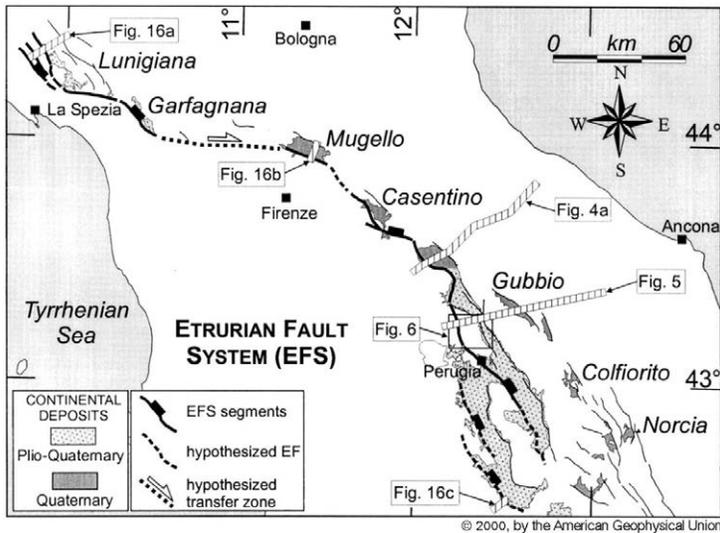
Fig. 4 – Mappa sismo-tettonica dell'area intorno a Firenze. (Fonte: Boccaletti et al. 2001: 2315)



depressa di pianura alluvionale e sui due lati una vasta regione centrale di più alti terrazzi o ripiani fluviali e specialmente lacustri e di colline petrose; infine una zona montuosa si estende tutta attorno, formata da rocce sedimentarie come in primo luogo le arenarie, e poi le marne, gli argilloscisti e i calcari. In particolare gli affioramenti litologici nell'area del Mugello sembrano caratterizzabili nel modo seguente.

- Nord: affioramenti di arenarie stratificate alternate a marne (da Rostolena a Cerliano). Verso nord-est, oltre Galliano, compaiono le 'argille scagliose' costituite da calcare alberese molto fratturato e, nei dintorni di Marcoiano, conglobanti masse di rocce eruttive (ofioliti).
- Ovest: affioramenti di arenarie (Dogana, Montecuccoli, Camoggiano), calcari (monti della Calvana) e arenarie fini e marne siltose (Monte Caroso e Monte Rinaldi).
- Est: affioramenti di arenarie (zona di Vicchio) e argille che costituiscono le Balze di Dicomano.

Fig. 5 – La faglia che interessa il territorio del Mugello riportata all'interno del DISS 3.1.1. (Fonte: <http://diss.rm.ingv.it/dissHTML/ITIS087INF.html>).



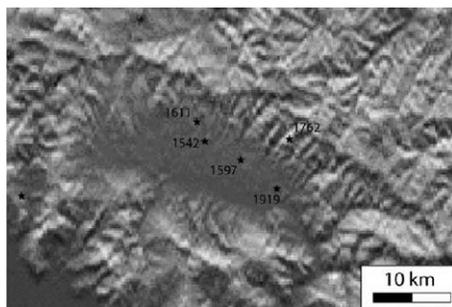
La sismotettonica dell'area deve essere inquadrata nell'ambito più generale delle caratteristiche dell'Appennino settentrionale. Dalle fonti vagliate è possibile ricostruire che lo stress tettonico dell'area viene rilasciato da una serie continua di piccoli-moderati terremoti, talvolta con le caratteristiche tipiche di uno sciame, con una distribuzione della sismicità particolarmente concentrata in prossimità della massima elevazione della catena

e con profondità ipocentrali per lo più entro i primi 20 km di crosta. Le magnitudo massime registrate, anche storicamente, non eccedono i valori intorno a 6.2 (Molin *et al.* 2008). Secondo il *Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M 5.5 in Italy* (DISS 3.1.1)<sup>1</sup> gli eventi maggiormente importanti accaduti nell'area, ovvero quelli del 1542 e del 1919, vengono associati ad una faglia normale orientata NW-SE (figura 5) che segue parallelamente l'andamento del bacino intra-montano del Mugello e ad un segmento adiacente a questa.

### 1.3 Effetti di danneggiamento e composizione dei suoli

Gli epicentri dei terremoti più forti registrati nella storia del Mugello, con magnitudo superiore a 5<sup>2</sup>, sono collocati tutti all'interno del bacino, mentre quelli di minore intensità si dispongono prevalentemente nella zona di catena nella parte settentrionale di questo (figura 6).

Fig. 6 – Il bacino del Mugello e gli epicentri dei forti terremoti dal 1542 al 1919.



Mettendo a confronto gli effetti distruttivi dei sismi, con particolare attenzione per quelli del 1542 e del 1919, con le condizioni del suolo, troviamo che le zone epicentrali corrispondono a terreni pliocenici di resistenza minima, con intercalati banche di ghiaie che costituiscono linee di discontinuità, con l'aggravante che tali terreni sono solcati da una fitta rete di torrenti e fossati quasi paralleli diretti sensibilmente Nord-Sud; questi ultimi incidono profondamente i terreni, riducendoli schematicamente nella forma di esili sproni indipendenti fra loro. Le forti scosse ondulatorie dirette ovest-est (come è possibile notare dall'andamento della faglia mostrata in figura 5) impattano contro questi sproni esponendoli di conseguenza ad un forte grado di influenza. Le distruzioni operate sui contesti nel corso del

<sup>1</sup> Riportato in una pubblicazione curata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e dall'Istituto Geofisico Toscano (Molin *et al.* 2008) e reperibile all'indirizzo: <http://diss.rm.ingv.it/dissHTML/ITIS087INF.html>.

<sup>2</sup> Ovvero quelli del 1542, 1597, 1611 e 1919.

tempo sono state quindi in parte condizionate dalle condizioni di giacitura e forma del terreno, unite ovviamente alla vulnerabilità dell'edificato presente in quei territori.

Le zone di minore resistenza sono quelle corrispondenti ai lembi perimetrali in cui i terreni pliocenici appoggiano sulla ossatura eocenica. Lungo tali confini la trasmissione delle onde sismiche avviene con ritmi diversi, giacché mentre nelle rocce solide e compatte le onde sono fitte e corte, in quelle di poca resistenza ed elastiche divengono lunghe e lente, con effetto naturalmente disastroso (Castenetto, Sebastiano 2004: 194).

Andando nel dettaglio nella valutazione dell'amplificazione sismica del territorio del Mugello, un interessante contributo viene offerto da alcuni geologi del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Firenze che hanno condotto nel periodo luglio-novembre 2001 uno studio sul rumore sismico dell'intero territorio attraverso l'utilizzo di 85 punti di misura (Marchetti *et al.* 2003). I risultati dell'analisi sono andati a puntualizzare quanto detto in precedenza. Il Mugello appare infatti caratterizzato da un'amplificazione sismica mediamente elevata ai margini del bacino mentre si denota un'attenuazione verso il centro dove si ha un aumento dello spessore dei terreni di copertura. Un'amplificazione mediamente più elevata si riscontra inoltre nei pressi di Borgo San Lorenzo e Vicchio, mentre appare mediamente inferiore a San Piero a Sieve e Scarperia. Inoltre un'elevata amplificazione viene calcolata in corrispondenza di valli fluviali secondarie in cui è plausibile ipotizzare la presenza di terreni di copertura scadenti e con spessore sottile. Infine, si possono intuire su tutta l'area allineamenti di fattori di amplificazione più elevati con direzione nord-sud, che sembrano coincidere con le numerose dorsali che caratterizzano tutto il bacino e sono forse legati ad effetti di amplificazione morfologica o alla distribuzione di sedimenti fluvio-lacustri a differente competenza.

#### **1.4 Inquadramento normativo regionale dei comuni del Mugello in materia di rischio sismico**

Nel 1982 la Regione Toscana, come gran parte del territorio italiano, fu interessata da una classificazione che portò alla catalogazione di 182 comuni a rischio sismico (sui 287 in totale) rispetto ai circa cinquanta comuni classificati negli anni 1927-1936. Furono interessati quasi tutti i capoluoghi di provincia tra cui Firenze, Siena, Arezzo, Pisa, Livorno, Massa Carrara, Pistoia e Prato.

Nel 2006 la Regione Toscana, con Delibera di Giunta Regionale n. 431 del 19.06.2006 (in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006) ha ri-classificato gran parte del territorio, approvando la nuova mappa di classificazione che introduce 4 zone sismiche (2, 3S, 3 e 4), così distinte nelle figure 7 e 8.

La Toscana, nelle analisi compiute dai tecnici della Regione, ha previsto una suddivisione del suo territorio in alcune zone geograficamente e amministrativamente definite. In questo modo i comuni che compongono oggi il Mugello, sono stati raggruppati in un comprensorio definito Area del Mugello e Montagna Fiorentina (figura 7).

I comuni a maggior rischio sismico dell'area del Mugello sono 12 (classificati in zona 2 e di seguito evidenziati), più 1 comune in zona 2 ma non a maggior rischio sismico, e 3 comuni limitrofi (classificati in zona 3S), per un totale di 16 comuni dell'Area del Mugello e Montagna Fiorentina interessati da potenziali attività sismiche future. Analizzando la tabella 1, è interessante notare come già dal 1982 i 12 comuni suddetti risultavano classificati come sismici.

Fig. 7 – Classificazione sismica della Regione Toscana (Delibera di Giunta Regionale n. 431 del 19.06.2006) e classificazione delle aree a rischio sismico inserite all'interno della regione Toscana.

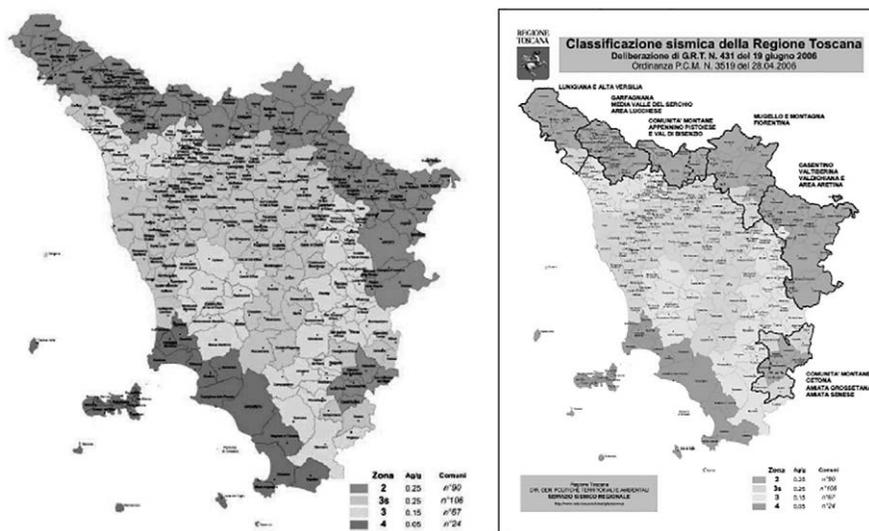


Fig. 8 – Zone sismiche (dati ISTAT: popolazione 2007, abitazioni 2001).

Zona Sismica	N° Comuni	% popolazione residente	% abitazioni occupate
2	90	21,0	21,8
3S	106	53,3	39,8
3	67	19,0	19,8
4	24	6,7	8,6
<b>totale</b>	<b>287</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

## 130 L'archeosismologia in architettura

Tab. 1 – Elenco dei comuni del Mugello classificati a maggior rischio sismico (Delibera della G.R. n. 841 del 26.11.2007).

PROVINCIA	COMUNE	Classificazione D.M. 19.3.1982	Classificazione Del. GRT 604/03	Classificazione Del. GRT 431/06
FIRENZE	BARBERINO DI MUGELLO	2	2	2
	BORGO SAN LORENZO	2	2	2
	DICOMANO	2	2	2
	FIRENZUOLA	2	2	2
	LONDA	2	2	2
	MARRADI	2	2	2
	PALAZZUOLO SUL SENIO	2	2	2
	RUFINA	2	2	2
	SAN GODENZO	2	2	2
	SAN PIERO A SIEVE	2	2	2
	SCARPERIA	2	2	2
	VICCHIO	2	2	2

Dal 2006 inoltre alcuni comuni (già classificati in zona 2), sono poi passati in zona 3S.

Fig. 9 – Classificazione dei Comuni toscani a Rischio sismico (giugno 2006).

Provincia	Comune	Classificazioni precedenti						Attuale (Ord.P.C.M. n°3519 28 aprile 2006) Del. G.R.T. n°431 19 giugno 2006 **
		Regio Decreto 13 marzo 1927 n°431	Regio Decreto 25 marzo 1935 n°640	Regio Decreto 22 novembre 1937 n°2105	Legge 25 novembre 1962 n°1684	Decreto Ministeriale 19 marzo 1982	Ord. P.C.M. 20 Marzo 2003 Del. G.R.T. n°604 16 giugno 2003 *	
FIRENZE	BARBERINO DI MUGELLO	2	2	2	2	2	2	2
	BORGO SAN LORENZO	2	2	2	2	2	2	2
	DICOMANO	2	2	2	2	2	2	2
	FIRENZUOLA	2	2	2	2	2	2	2
	LONDA	2	2	2	2	2	2	2
	MARRADI	2	2	2	2	2	2	2
	PALAZZUOLO SUL SENIO	2	2	2	2	2	2	2
	PELAGO	n c	n c	n c	n c	2	2	3 S
	PONTASSIEVE	2 escluso capoluogo, Sieci, Molin del Piano	2	2	3 S			
	REGGELLO	n c	n c	n c	n c	2	2	3 S
	RUFINA	2	2	2	2	2	2	2
	SAN GODENZO	2	2	2	2	2	2	2
	SAN PIERO A SIEVE	2	2	2	2	2	2	2
	SCARPERIA	2	2	2	2	2	2	2
	VAGLIA	n c	n c	n c	n c	2	2	2
VICCHIO	2	2	2	2	2	2	2	

Legenda

Comuni zona 3 e 3S

n.c. non classificato

Comuni zona 2

Comuni zona 2

a maggior rischio sismico

Comuni zona 2

#### **I.4 Inquadramento sismologico dell'area del Mugello e principali terremoti documentati dalle fonti**

Il Mugello, così come il settore dell'Appennino nel quale si situa, è caratterizzato da una sismicità frequente ma con terremoti generalmente di moderata energia (Molin *et al.* 2008). Secondo le più recenti versioni del catalogo sismico e della banca dati macrosismica nazionali (Rovida *et al.* 2011; Locati *et al.* 2011) il Mugello è, insieme alla Garfagnana, l'unica sub-regione toscana in cui sia stato raggiunto il grado d'intensità macrosismica X MCS (assegnato a una località in presenza di un quadro di effetti che comprenda il crollo totale o parziale del 50% e l'irrecuperabilità del 75% degli edifici; Molin *et al.* 2008: Introduzione). Al momento la storia sismica del Mugello (ricostruita attraverso l'analisi delle fonti storiche reperibili in archivi, biblioteche ecc.) comprende dodici terremoti di origine locale al di sopra della soglia di danno, verificatisi tra il 1542 e il 1960, tra cui alcuni con intensità massime molto elevate (IX e X grado MCS); il più energetico in assoluto sembra attualmente essere quello del 29 giugno 1919 (intensità massima X grado MCS e una magnitudo stimata pari a 6.2). Recenti ricerche hanno inoltre individuato tre terremoti locali 'sconosciuti' moderatamente dannosi (1727, 1739, 1771) (Camassi *et al.* 2011).

Da un primo spoglio dei cataloghi sismologici editi è possibile individuare numerosi sismi (con intensità stimata uguale o superiore al VI grado MCS) che hanno caratterizzato l'area nel corso del tempo.

- 1) Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980 (Postpschil 1985):
  - 1542 – Scarperia – X grado
- 2) Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980 (Boschi *et al.* 1995):
  - 1542 – Mugello – IX grado
  - 1611 – Scarperia – VII-VIII grado
  - 1919 – Mugello – IX grado
- 3) Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990 (Boschi *et al.* 1997):
  - 1542 – Mugello – IX grado
  - 1597 – Borgo San Lorenzo – VII-VIII grado
  - 1611 – Scarperia – VII grado
  - 1919 – Mugello – IX grado
- 4) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2011 (Rovida *et al.* 2011):
  - 1542 – Mugello – IX grado
  - 1597 – Mugello – VII-VIII grado
  - 1611 – Scarperia – VII grado



Nei paragrafi successivi vengono presentati attraverso l'analisi della bibliografia e delle fonti, i principali terremoti che interessarono il Mugello dal 1542 al 1919 e i loro effetti sui contesti colpiti. Non sono stati trattati i terremoti del XVIII e XIX secolo a causa delle esigue fonti e dell'assenza di materiale bibliografico che fornisca informazioni specifiche riguardanti tali eventi. Tale lacuna potrebbe essere interpretabile da un lato dalla loro recente 'scoperta' ed inserimento nei cataloghi sismologici e dall'altro lato probabilmente a causa della loro medio-bassa intensità.

#### **1.4.1 Il terremoto del 13 giugno 1542<sup>3</sup>**

Il terremoto del 1542 ebbe una scossa principale alle ore 6.40, preceduta a breve distanza da una o forse due scosse leggere e seguita nello stesso giorno e nei giorni successivi da numerose repliche di minore intensità, che non causarono ulteriori danni<sup>4</sup>.

Il terremoto causò crolli diffusi ed inagibilità di gran parte del patrimonio edilizio in circa 20 località del Mugello. Il numero complessivo delle case distrutte o rese inabitabili varia notevolmente, secondo le fonti analizzate, da 3.000 a 1.200. I centri maggiori dell'area colpita furono Scarperia, che contava 400 fuochi ed era sede del Vicariato del Mugello, e Borgo San Lorenzo, sede di Podesteria. Complessivamente gli abitanti del Mugello erano circa 12.000. Il numero dei morti varia molto secondo le fonti: da 500 a 120-150. Riportati con preoccupazione da alcune fonti, data la vocazione essenzialmente agricola dell'area, anche un gran numero di animali da lavoro e bestiame ucciso dalle scosse o dagli effetti di queste. In alcune fonti vengono poi ipotizzate le spese previste per la ricostruzione o restauro dei danni patiti in Mugello in 300.000 scudi.

In merito alla popolazione, le fonti riportano scenari post-sisma piuttosto dettagliati. In generale è possibile affermare dagli autori analizzati che gli abitanti abbandonarono le case e dormirono in miserevoli condizioni per 2 mesi all'aperto costruendo capanne e tende di fortuna<sup>5</sup>.

#### **1.4.2 I terremoti del 3-4 agosto 1597 e dell'8 settembre 1611<sup>6</sup>**

*3-4 agosto 1597*

Il terremoto del 1597 avvenne la notte del 3 agosto a Scarperia e nel suo circondario con due scosse non molto violente seguite da una di maggiore entità che nel giro di otto miglia arrecò danni a molti edifici (Baccini 1902a:

<sup>3</sup> Informazioni reperite da: Boschi *et al.* 1995; Baccini 1902a; Baratta 1901; Bonito 1691; Ferrari, Molin 1985; Giovannozzi 1895 e fonti inedite provenienti dall'Archivio di Stato di Firenze e da alcune biblioteche di Firenze e provincia.

<sup>4</sup> Alcune fonti parlano di più di un mese mentre altri di 53 giorni di scosse (Baccini 1902b).

<sup>5</sup> I monaci del Convento del Bosco ai Frati, ad esempio, rimasero all'aperto per tre mesi.

<sup>6</sup> Informazioni reperite da: Boschi *et al.* 1995; Baccini 1902a; Baratta 1901; Giovannozzi 1895 e fonti inedite provenienti dall'Archivio di Stato di Firenze e da alcune biblioteche di Firenze e provincia.

223). I centri più importanti dell'area colpita furono i paesi di Borgo San Lorenzo, Scarperia e Vicchio, sedi di Podesteria. Gli altri centri colpiti erano villaggi di poche abitazioni padronali e contadine, raggruppate generalmente attorno alla chiesa parrocchiale o alla pieve. Come attestato dalle fonti d'archivio, la ricostruzione dei danni fu gestita privatamente e localmente. Gli interventi riguardarono soprattutto il rifacimento delle coperture, il riassetto o la parziale demolizione e ricostruzione di pareti lesionate, l'incatenatura delle murature per ripristinare l'equilibrio statico compromesso. I lavori iniziarono già pochi giorni dopo il terremoto e si protrassero, in alcuni luoghi, per oltre sei anni. Ciò testimonia il notevole impatto del terremoto sull'economia locale e la lentezza con cui ne furono riassorbiti gli effetti.

*8 settembre 1611*

Il terremoto del 1611 ebbe i suoi massimi effetti nei paesi di Scarperia e Cerliano nel Mugello, dove furono segnalate gravi lesioni agli edifici e crolli di comignoli; non ci furono vittime o feriti gravi. Alcune fonti riportano un preventivo ipotizzato delle spese per riparare i danni causati dal terremoto calcolati in 1.000 scudi. Le scosse causarono grande panico tra gli abitanti delle valli del Mugello, che fuggirono nelle campagne e pernottarono all'aria aperta per diverse settimane.

Del terremoto del 1611 c'è il seguente ricordo scolpito in una pietra nell'atrio del Palazzo Pretorio di Scarperia:

L'ANNO DEL GRAN TERREMOTO / NEL MDCXI A DÌ IIII DI MARZO  
/ LA COMPAGNIA DE' DISUNTI PAZZI / RECITÒ L'ACRIPANDA /  
TRAGEDIA CON INTERMEDI APPARENTI / A DISPETTO DI MORTE  
(Baccini 1902a: 170)

#### **1.4.3 Il terremoto del 29 giugno 1919<sup>7</sup>**

Il periodo sismico iniziato nel 1919 causò gravi danni nell'area del Mugello dove 12 paesi subirono estese distruzioni e numerosissime abitazioni rurali crollarono completamente. La sequenza sismica accentuò inoltre i danni causati dal precedente terremoto del 10 novembre 1918 in Alta Romagna e causò danni minori nell'alto Casentino e nel Valdarno. L'area di risentimento fu molto vasta: la scossa fu avvertita a nord fino a Venezia, a est fino a Jesi, a sud fino a Perugia. Il terremoto causò 100 morti e 400 feriti.

Lo sciame sismico sembra iniziare alle 4.52 e alle 8.44 con due leggere scosse, seguite da una più forte alle 9.15. Dopo altre leggere scosse si verificò quella principale alle 16.06 che causò importanti danni in tutto il territorio colpito. La sequenza sismica continuò a lungo con numerose repliche, la più forte delle quali l'8 luglio, aggravando i danni già presenti.

<sup>7</sup> Informazioni reperite da: Boschi *et al.* 1995; Castenetto, Sebastiano 2004 e fonti inedite provenienti dall'Archivio di Stato di Firenze e da alcune biblioteche di Firenze e provincia.

Nel Mugello complessivamente una trentina tra centri abitati maggiori, tra i quali Vicchio e Borgo San Lorenzo e frazioni, subirono crolli estesi a gran parte del patrimonio edilizio. In particolare nel comune di Vicchio, le frazioni di Mirandola, Rupecanina, Frascale e Casole subirono il crollo totale degli edifici. A Borgo San Lorenzo cadde uno stemma dal palazzo delle Carceri; la vecchia facciata della Pieve di San Lorenzo Martire subì un distacco, mentre la sua antica torre campanaria presentava una profonda lesione fino alla sommità. All'interno la chiesa era interessata da crepe e grosse screpolature. Il santuario del SS. Crocifisso invece non resistette alla scossa: gli archi e la cupola affrescata in gran parte crollarono o divennero pericolanti. Vicchio e le sue frazioni subirono danni gravissimi: la Pieve romanica di San Cassiano in Padule crollò e rimasero in piedi solo porzioni di muri laterali e dell'abside. Nel capoluogo rimasero lesionate torri castellane, peraltro già in cattive condizioni di conservazione, e la cinta muraria castellana.

Negli altri comuni i danni subiti dal patrimonio architettonico e dalle opere d'arte a causa del terremoto sembrano però meno gravi di quanto temuto in un primo tempo. A Scarperia la chiesa di Sant'Agata subì qualche lesione come pure la pieve interessata da qualche fessura e qualche screpolatura. Nel Palazzo Pretorio caddero alcuni stemmi e la torre al fianco dell'edificio rimase lievemente lesionata. Qualche danno subì anche la chiesa dei SS. Jacopo e Filippo, che fu in seguito restaurata ed il campanile ricostruito. Nel contesto generale della ricostruzione è evidente la profonda crisi economica e sociale che seguì la prima guerra mondiale che pose in secondo piano l'effetto devastante del terremoto.

## **2. Analisi archeologica dei siti e del contesto**

A seguito della raccolta e dello studio del materiale utilizzato per l'inquadramento generale dell'area del Mugello, il progetto si è incentrato sull'analisi diretta del contesto di studio. Il primo passo è stato la redazione del Progetto Conoscitivo attraverso la determinazione del livello di approfondimento utilizzato nelle singole fasi della ricerca. Sono stati quindi attentamente valutati gli obiettivi di partenza, le tempistiche, le risorse economiche e logistiche a disposizione cercando di conferire un'adeguata importanza ed approfondimento a tutti i livelli ritenuti necessari per la realizzazione del progetto<sup>8</sup>.

La prima fase operativa svolta sul campo è stata la ricognizione sistematica dell'area tesa a determinare i confini del contesto di studio e la scelta del campione da analizzare. Questa operazione ha permesso di catalogare tredici siti successivamente analizzati attraverso uno studio delle fonti storiche, un'anamnesi della loro struttura materiale ed una interpretazione in chiave archeosismologica dei risultati ottenuti. La successiva comparazione fra la lettura stratigrafica e la classificazione delle casistiche di danno per

<sup>8</sup> Per maggiori dettagli sul Progetto Conoscitivo e sulla fasi della ricerca archeosismologia si rimanda al capitolo 2 del libro.

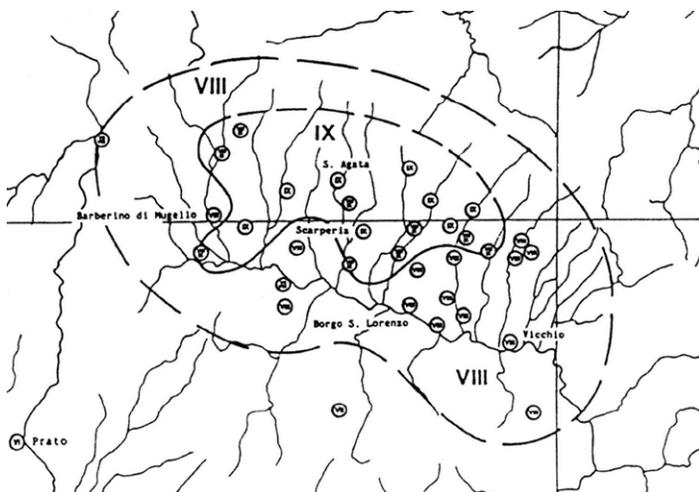
macroelementi ha permesso di proporre una caratterizzazione e periodizzazione dei meccanismi di danno e dei restauri correlati ai movimenti sismici.

## 2.1 Ricognizione e definizione dell'area campione

Il primo passo nella ricerca si è incentrato nell'individuazione dei siti di interesse attraverso una ricognizione sistematica del territorio. I punti di partenza per definire i limiti geografici dell'area da sottoporre ad analisi sono stati dettati dall'integrazione fra i dati relativi a studi specialistici e le caratteristiche dell'edilizia storica presente nel territorio. In particolare sono stati valutati di interesse:

- la possibile presenza di edilizia storica, in particolare medievale, nel contesto di studio desunta da un'indagine bibliografica e archivistica su numerosi testi editi ed inediti. Sono stati quindi utilizzati sia dati relativi a materiale scientifico (ad esempio i siti inseriti nell'Atlante dei Tipi Costruttivi Murari dell'Italia Centrale – Settore Mugello, le pubblicazioni di Francovich su Ascianello e sui castelli del contado fiorentino ecc.) che i siti nominati all'interno delle pubblicazioni divulgative (ad esempio i libri del Pinelli, del Campidori, del Calzolari, del Giovannini, ecc.) e delle guide più o meno recenti sul territorio (ad esempio Baccini, Niccolai ecc.);
- gli studi macrosismici effettuati dall'INGV sull'area del Mugello (figura 11);
- i luoghi nominati all'interno dei cataloghi sismologici relativi al terremoto più antico documentato nelle fonti, ovvero quello del 1542, che presentassero una Intensità Stimata maggiore o uguale all'VIII grado.

Fig. 11 – Campo macrosismico del terremoto del 13 giugno 1542 con specifica delle aree di danneggiamenti e delle probabili aree di intensità del IX e VIII grado MCS. (Fonte: Ferrari, Molin 1985).



Tab. 2 – La tabella mostra le località colpite dal terremoto del 1542 e ne riporta da sinistra a destra: toponimo, latitudine, longitudine e Intensità Stimata dell'evento in quel contesto. I luoghi inseriti nella lista sono stati ricavati dal Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (Boschi et al. 1997) ed hanno contribuito a determinare i limiti geografici della ricognizione.

<b>Località</b>	<b>Lat</b>	<b>Lon</b>	<b>Is</b>
Galliano	44.016	11.291	90
Villanova	44.013	11.406	90
Grezzano	44.013	11.406	90
Marzano	44.022	11.392	90
Pulicciano	44.001	11.421	90
Ronta	44.006	11.433	90
Sant'Agata	44.021	11.334	90
Scarperia	43.995	11.355	90
Cavallina	43.984	11.233	85
Montecarelli	44.048	11.261	85
San Gavino	44.038	11.251	85
Figliano	43.983	11.383	85
Liprafatta	43.983	11.433	85
Luco Mugello	43.999	11.394	85
Fagna	43.983	11.350	85
Ferrone	44.000	11.333	85
Santa Maria a Vezzano	43.985	11.449	85
Barberino di Mugello	44.002	11.238	80
Borgo San Lorenzo	43.953	11.388	80
Mucciano	43.983	11.417	80
Rabatta	43.944	11.412	80
San Giovanni Maggiore	43.975	11.398	80
Bosco ai frati	43.985	11.304	80
Spugnole	43.950	11.300	80
Bricciana	43.900	11.483	80
Gattaia	43.990	11.472	80
Molezzano	43.976	11.463	80
Pagliericcio	43.983	11.467	80
Piazzano	43.957	11.421	80
Vespignano	43.949	11.465	80
Vicchio	43.933	11.465	80

Una volta determinati i confini del contesto di studio (figura 12), il lavoro si è spostato sul campo dove, attraverso una ricognizione sistematica del territorio, sono stati individuati, censiti e catalogati i siti storici pre-

senti. L'economia della ricerca, in vista di un'analisi storico-archivistica, un'anamnesi della struttura materiale degli edifici e una caratterizzazione archeosismologica delle evidenze riscontrate, non avrebbe potuto prevedere lo studio di un numero elevato di strutture. Sono stati perciò scelti i Complessi Architettonici che presentavano possibili danni da sisma e che meglio testimoniavano gli effetti dei terremoti nell'area in esame.

In questo modo su un totale di 57 edifici storici inizialmente censiti, sono stati individuati 13 edifici di interesse per la ricerca:

1. Pieve di Sant'Agata del Mugello;
2. Pieve di San Giovanni Maggiore;
3. Pieve di San Cassiano in Padule;
4. Chiesa Vecchia di San Michele a Ronta;
5. Pieve di San Lorenzo a Borgo;
6. Pieve di San Pietro a San Piero a Sieve;
7. Pieve di San Gavino Adimari;
8. Chiesa di San Bonaventura del Bosco ai Frati;
9. Pieve di San Cresci in Valcava;
10. Chiesa di San Francesco a Borgo;
11. Palazzo dei Vicari di Scarperia;
12. Chiesa di Santa Maria a Fabbrica;
13. Chiesa Parrocchiale di Scarperia.

Ogni sito è stato quindi georeferenziato all'interno di una Carta Tecnica Regionale e documentato mediante fotografie, rilievo ed apposita schedatura.

La scelta è ricaduta in dodici casi su edifici religiosi; i motivi di questa decisione sono stati sostanzialmente tre:

- il Mugello dagli anni Sessanta del Novecento in poi è stato interessato da un'intensa urbanizzazione che ha portato in molti casi a restauri e/o intonacatura degli edifici civili storici. Gli edifici religiosi presentano invece ancora oggi una struttura materiale ben conservata, parzialmente o in alcuni casi totalmente leggibile dal punto di vista stratigrafico;
- le chiese, a differenza degli edifici civili, presentano numerose attestazioni scritte, sia archivistiche che bibliografiche, sullo stato di fatto e sui restauri eseguiti dal Medioevo ad oggi;
- gli edifici religiosi, per le loro caratteristiche architettoniche e strutturali, sono maggiormente inclini a subire danni dai terremoti attraverso meccanismi di danno caratteristici. Per questo motivo tali strutture risultano trattate in modo approfondito da molte pubblicazioni edite (Doglioni *et al.* 1994; Lagomarsino 1998, 1999; Lagomarsino, Podestà 1999) e permettono un confronto continuo con i risultati ottenuti in altri contesti e una comparazione fra i danni catalogati negli abachi dei meccanismi di danno.

Fig. 12 – La Carta Tecnica Regionale con i confini del contesto di studio (tratteggio) ed i siti individuati nella ricognizione.

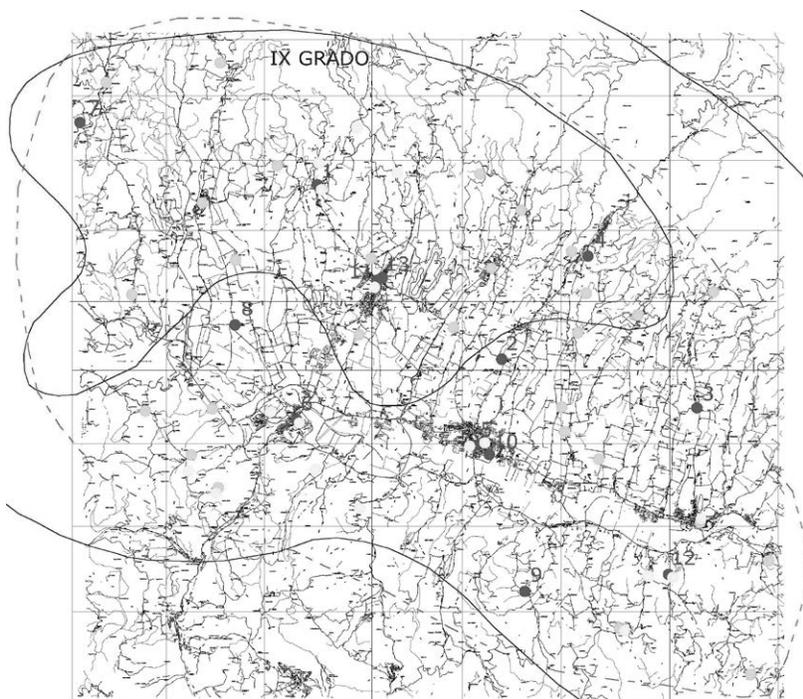
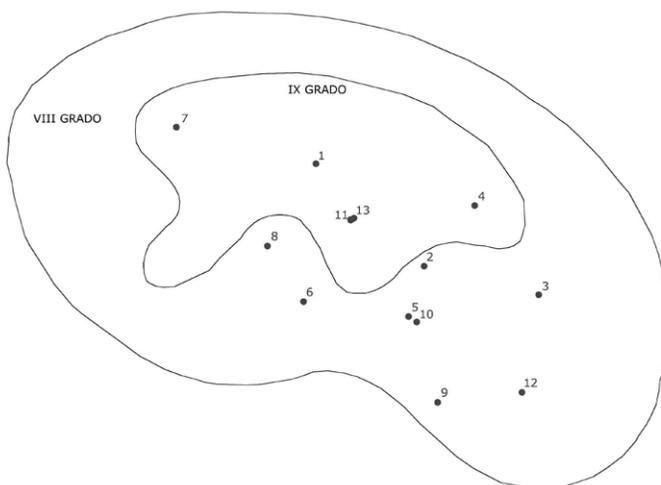


Fig. 13 – I 13 siti analizzati nella presente ricerca in rapporto alle aree del IX grado (linea interna) e dell'VIII grado (linea esterna) di Intensità Stimata del sisma del 1542. (Fonte: Ferrari, Molin 1985)



## 2.1 Registrazione su scheda del dato archeosismologico

Per la documentazione delle strutture architettoniche presenti in Mugello sono state utilizzate due tipologie di schedatura che permettono una registrazione efficace della lettura stratigrafica degli edifici e dei sistemi costruttivi che compongono la loro struttura materiale:

- la scheda Registrazione Struttura Materiale (*Scheda RSM*)<sup>9</sup> accompagnata dalla Scheda per la Registrazione dei Danni da Sisma (*Scheda RDS*)<sup>10</sup>;
- la Scheda Tecniche Costruttive Murarie (*Scheda TCM*), un metodo di registrazione elaborato dalla trasposizione su carta di campi tratti da pubblicazioni archeologiche e dati relativi a studi ingegneristici e architettonici, al fine di caratterizzare nel modo più completo possibile le murature individuate nel contesto di studio.

### 2.1.1 La Scheda Tecniche Costruttive Murarie

La scelta di analizzare e caratterizzare le murature presenti sugli edifici medievali del Mugello è stata dettata dal fatto che tali elementi rappresentano parti considerate essenziali per le analisi di vulnerabilità dell'edilizia storica in aree a rischio sismico<sup>11</sup>. La scelta è stata condizionata inoltre dalle risorse economiche, logistiche, tecnologiche e di tempo a disposizione, comparate con le caratteristiche dell'edilizia storica presente nel contesto di studio. In quest'ultimo caso, ad esempio, non avendo incontrato edifici allo stato di rudere e/o per questioni di economia della ricerca, non è stato possibile caratterizzare nessuna sezione muraria o effettuare prelievi di malta; inoltre l'analisi dei paramenti si è spesso concentrata alla lettura del prospetto esterno, scartando quello interno intonacato o non agibile. Quando invece il paramento murario era visibile e leggibile sia internamente che esternamente, i dati sono stati integrati nell'ottica non solo di caratterizzare la tecnica muraria, ma anche di individuare alcuni elementi essenziali per l'individuazione di caratteristiche specifiche che potevano permettere di ipotizzare la presenza di tecniche costruttive antisismiche, come ad esempio i diatoni.

La trasposizione su carta dei dati rilevati è avvenuta mediante la Scheda Tecniche Costruttive Murarie utilizzata sia sul campo che in laboratorio e composta da schede in formato cartaceo A4 con campi predefiniti elaborati

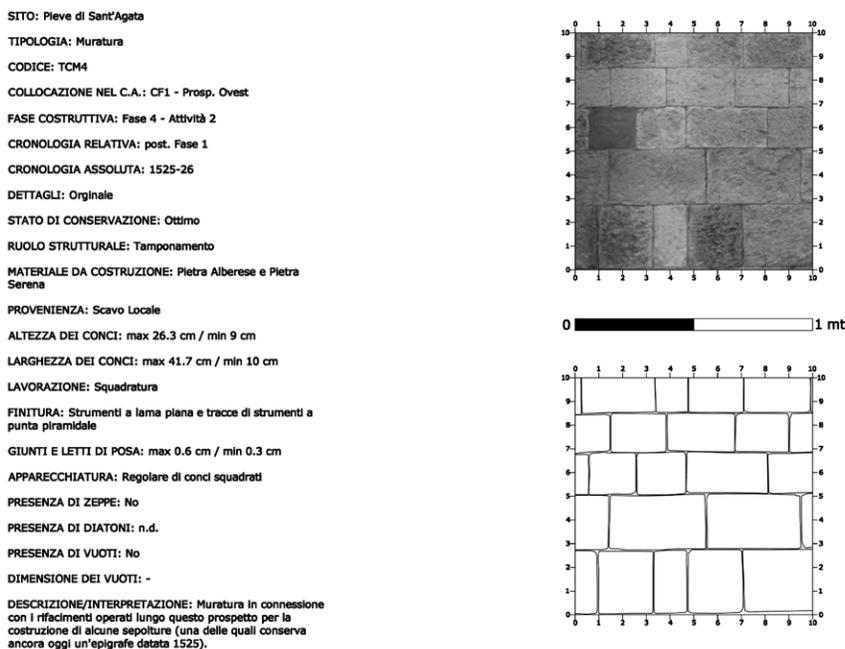
<sup>9</sup> Per maggiori dettagli sulla Scheda Registrazione Struttura Materiale fare riferimento ad Arrighetti 2014.

<sup>10</sup> La Scheda Registrazione Danni da Sisma è stata trattata all'interno del paragrafo 2.4.1 del manuale.

<sup>11</sup> In particolare: Luigia Binda, Sergio Lagomarsino, Francesco Doglioni, Adalgisa Donatelli ecc.

per caratterizzare le diverse peculiarità delle murature presenti in Mugello. L'impostazione dell'apparato grafico prevede una presentazione della muratura analizzata attraverso un ortofotopiano e un fil-di-ferro di porzioni della stessa di grandezza 1 x 1 metro. La caratterizzazione delle singole tecniche murarie avviene quindi compilando una serie di campi predeterminati. Le voci presenti sulla scheda sono frutto di un lavoro sistematico di analisi fra l'esperienza maturata sul campo dallo scrivente e i risultati di lavori editi da studiosi italiani che si sono occupati di murature in archeologia, architettura e ingegneria in rapporto ai Beni Culturali (sia in aree a rischio sismico che in altri tipi di contesti)<sup>12</sup>.

Fig. 14 – La Scheda Tecniche Costruttive Murarie utilizzata per la registrazione di una muratura della Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI).



<sup>12</sup> In particolare: Fiorani 1996a-b per la lavorazione dei materiali, Parenti 1987; Mannoni 2005 e Donatelli 2010 per la classificazione delle apparecchiature murarie e per la loro caratterizzazione; Bessac 1986 per la finitura degli elementi lapidei. Sono poi stati integrati alcuni campi tratti dalle schede dell'Atlante dei Tipi Costruttivi Murari d'Italia (Peduto, Saccone 1998 e Mannoni, Cicirello 1998), dalle schede proposte dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (Binda 1999; Binda *et al.* 1999), dalla schedatura utilizzata dalla Protezione Civile per la registrazione dei danni successivi al terremoto dell'Aquila del 2009 e dalle specifiche inserite all'interno delle *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale* (MIBAC 2010, 2011).

## 2.2 Il rilievo dei siti

Una volta individuati, censiti e catalogati attraverso fotografie e schede i singoli contesti di studio, la ricerca si è spostata sulla registrazione digitale della struttura materiale dei tredici edifici sottoposti ad analisi. Il primo passo è stato quindi l'individuazione degli strumenti più idonei per registrare e restituire graficamente le evidenze riscontrate durante le letture archeologiche e più in generale le analisi archeologiche ed archeosismologiche. La scelta è ricaduta sulla tecnologia Menci Software ZScan combinata alla micro-fotogrammetria della stessa casa produttrice di Arezzo. I punti essenziali nella scelta della strumentazioni sono stati principalmente due: da un lato le caratteristiche offerte dai prodotti restituiti dai softwares in relazione agli obiettivi imposti dal progetto; dall'altro lato, avendo già a disposizione questa tecnologia, da ragioni prettamente economiche e organizzative. Mediante l'utilizzo di questi strumenti è stato possibile caratterizzare la maggior parte dei prospetti di interesse attraverso ortofotopiani, dove sono state riportate le letture stratigrafiche effettuate sul campo, e *Digital Elevation Models* e sezioni di superficie, con i quali sono state caratterizzate le deformazioni superficiali dei paramenti e monitorate le lesioni presenti sulle strutture. Il rilievo è stato eseguito senza l'ausilio di *Ground Control Points* (punti topografici battuti da stazione totale); questo ha portato ad un allungamento dei tempi di restituzione dei modelli ma al contempo ad una maggiore velocità nell'acquisizione dei dati sul campo. I modelli restituiti da foto complanari ai prospetti da rilevare, come è stato più volte sperimentato dal Laboratorio di Archeologia dell'Architettura dell'Università degli Studi di Siena (Arrighetti *et al.* 2011; Arrighetti, Gilento 2012), non risentono in termini di accuratezza, orientamento ed affidabilità dell'assenza di punti topografici di appoggio, anche se in fase di mosaicatura dei modelli il residuale di errore può arrivare anche al centimetro. Da sottolineare infine che non in tutti i casi è stato possibile rilevare attraverso queste tecnologie le porzioni di edificio di interesse. Quando lo spazio non era sufficientemente ampio da permettere fotografie complanari ai prospetti (ad esempio nel rilievo di campanili o strutture molto alte nei centri cittadini) o quando le strutture erano ubicate in proprietà private non accessibili, la tecnologia ZScan è stata sostituita da fotopiani o fotografie più o meno attuali.

### 2.2.1 Zscan/Zmap: la fotogrammetria per nuvola di punti RGB<sup>13</sup>

Per ottenere una base grafica adeguata alle esigenze archeologiche di studio dei manufatti architettonici in Mugello si è scelto di dotarsi della

<sup>13</sup> Informazioni specifiche sulla tecnica di rilievo si trovano in: Arrighetti *et al.* 2011; Arrighetti, Cavaliere 2012; Arrighetti 2012b; Parenti *et al.* 2010 e relativa bibliografia.

metodologia di rilievo ZScan/ZMap, una tecnologia attraverso la quale è possibile generare modelli tridimensionali che non solo offrono la possibilità di rappresentare fotograficamente, con una definizione elevata, le superfici visibili, ma risultano anche corretti geometricamente nelle tre dimensioni. Si tratta di una tecnica di registrazione che utilizza tre immagini fotografiche digitali ed un programma di elaborazione fotogrammetrico che genera nuvole di punti RGB, a cui è collegata la *texture* fotografica tridimensionale.

La restituzione fotografica delle superfici offre il grande vantaggio di permettere all'operatore una lettura oggettiva delle caratteristiche materiche del manufatto, portando così ad una registrazione che meglio risponde alle necessità di una puntuale conoscenza delle strutture murarie. Inoltre, a livello logistico ed operativo, l'esperienza maturata attraverso questa tecnologia in numerosi rilievi sul campo ed elaborazioni in laboratorio ha permesso di valutare alcuni aspetti positivi che hanno apportato un sensibile miglioramento nei diversi momenti del lavoro: l'estrema portabilità della strumentazione (scarso peso ed ingombro); la praticità d'uso; la velocità nel lavoro sul campo e nella restituzione dei modelli; la possibilità di creare una serie di prodotti utili alle analisi archeologiche della struttura materiale (ortofotopiani, DEM, sezioni ecc.). Il processo operativo della tecnologia ZScan è suddivisibile in tre parti che fanno capo a tre distinti momenti di lavoro: il progetto di presa fotografica (da effettuarsi prima che il rilievo venga eseguito); il rilievo sul campo (ovvero l'acquisizione dei dati, fotografie e dati materici); il lavoro in laboratorio (la restituzione dei modelli tridimensionali dei manufatti rilevati e la generazione di una serie di output ad essi collegati). Di seguito vengono spiegate nel dettaglio queste operazioni e le loro ricadute nel processo di analisi archeologica dei diversi contesti.

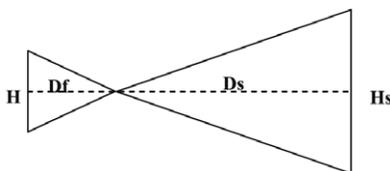
#### *a. Il progetto di presa fotografica*

Il primo passo nella strutturazione di un rilievo (sia per la tecnologia Zscan che per qualsiasi altro tipo di strumento) è la strutturazione di un progetto di presa fotografica, ovvero l'elaborazione di un modello operativo di lavoro che tenga conto dei risultati che vogliamo ottenere e dei fattori oggettivi, soggettivi e ambientali che possono influire nella corretta restituzione dei modelli. In linea generale, i fattori che incidono maggiormente sul progetto di presa sono legati alle dimensioni dell'oggetto da rilevare, alle condizioni di illuminazione (da evitare zone d'ombra e riflessi), alle condizioni generali dove il sito è collocato (ambiente urbano, area isolata, presenza della vegetazione) e alle modalità di presa (sensore complanare o fortemente incidente alla superficie dell'edificio). Altro fattore che può influenzare fortemente il lavoro sul campo è la scala di risoluzione richiesta per il rilievo. In tal senso è possibile prendere come punto di riferimento le specifiche elaborate dall'English Heritage che raccomandano valori di

distanza (*Ground Sample Distance – GSD*)<sup>14</sup> per le nuvole di punti, mostrati in tabella 1 (*METRIC SURVEY SPECIFICATION 2009*). Come è possibile notare in tabella 3, per creare un modello a risoluzione elevata (pixel della superficie reale intorno ad 1 mm), la camera fotografica deve essere posta vicina all'oggetto da rilevare, ad una distanza compresa tra 0,50 e 3-4 metri, a seconda dell'obiettivo impiegato. La definizione ottenibile con l'obiettivo 28 mm ad una distanza di 4 metri dalla superficie da rilevare, confrontata con le richieste dell'English Heritage, non è in grado però di restituire prodotti a scale inferiori ad 1:50. Per poter ottenere delle scale maggiori è necessario avvicinare la macchina fotografica alla superficie del manufatto. L'elevata quantità di fotografie richieste da un progetto di questo tipo, porteranno però ad un modello finale di dimensioni elevate e quindi di difficile gestione da parte del software.

Tab. 3 – Caratteristiche del progetto di presa fotografica in riferimento alle specifiche dell'English Heritage (tabella in alto a sx). I dati fanno riferimento ad una situazione ideale, in cui il sensore della camera risulta perfettamente parallelo alla superficie da rilevare (Arrighetti, Cavalieri 2012).

Output scale	GSD
1:50	2 mm
1:20	1 mm
1:10	0.5 mm



Camera	Altezza del sensore H mm	Ottiche Mm/Df	Distanza camera/ manufatto Ds mm	Altezza superficie rilevata Hs mm	Risoluzione geometrica mm
Nikon D700 12 M	23,9	20	4000	4780	1,59
		28		3414,29	1,14
		60		1593,33	0,53
		20	2000	2390	0,80
		28		1707,14	0,57
		60		796,67	0,27

<sup>14</sup> Nel telerilevamento il GSD è la dimensione nel mondo reale di quella parte del soggetto rappresentato da un pixel di un'immagine digitale. Nelle specifiche dell'English Heritage si raccomandano dei valori puntuali per la fotogrammetria su scale architettoniche tipiche (*Metric Survey Specifications for Cultural Heritage 2009*).

*b. Il lavoro sul campo*

La registrazione della struttura materiale avviene attraverso una campagna fotografica delle superfici e delle strutture architettoniche che compongono l'edificio, accompagnata da un rilievo topografico, con cui vengono determinate le coordinate delle marche fiduciali (*targets*) posizionate precedentemente sulle superfici da rilevare.

Nello specifico, l'acquisizione dei dati prevede la realizzazione triplete fotografiche con una camera digitale Nikon D700 posizionata su una barra metrica, utilizzando da una a tre ottiche calibrate (20 mm, 28 mm e 60 mm) in base alla definizione richiesta e alle condizioni oggettive di ripresa. Devono essere pertanto studiate le migliori soluzioni per evitare forti distorsioni, zone d'ombra ed elevata disomogeneità cromatica.

*Fig. 15 – Un momento di lavoro sul campo. L'acquisizione delle triplete fotografiche.*



La realizzazione di un rilievo topografico, anche se non obbligatorio<sup>15</sup>, aiuta in modo determinante tutto il lavoro di elaborazione e restituzione ed è lo strumento di controllo esterno al programma. Durante il rilievo sul campo è molto importante pensare che non si tratta di realizzare delle fotografie per la generazione di ortofotopiani o per un più classico progetto di

<sup>15</sup> Laddove non sia possibile abbinare il rilievo topografico a quello fotogrammetrico, come è successo nel caso del Mugello, la metodologia ZScan è comunque in grado di elaborare il modello tridimensionale del manufatto, purché le triplete fotografiche vengano effettuate in maniera complanare alla superficie. Benché l'orientamento delle triplete non venga in questo caso sempre garantito, la precisione del modello è comunque conferita dalla calibrazione dell'obiettivo e della macchina fotografica e dai parametri (distanza dell'obiettivo dalla superficie fotografata, a cui corrisponde una determinata posizione lungo la barra metrica) che vengono inseriti nel software al momento della restituzione.

fotogrammetria monoscopica, ma si tratta di fotogrammetria stereoscopica, per cui risulta basilare la posizione dell'operatore, e quindi della camera, nel cogliere tutte le parti della struttura necessarie alla costruzione del modello tridimensionale. Bisogna pertanto saper cogliere la tridimensionalità dell'oggetto e fotografare tutte le parti necessarie.

*c. Il lavoro in laboratorio*

La restituzione dei rilievi in laboratorio può essere suddivisa in due fasi, corrispondenti ai software utilizzati per la generazione (ZScan) e per la gestione e digitalizzazione (ZMap) dei modelli 3D. La prima fase, effettuata attraverso il software ZScan, riguarda l'elaborazione dei dati per la generazione di nuvole di punti RGB. Il programma dopo una prima rettificazione automatica delle tre foto, utilizza le coordinate geometriche (punti di controllo) per orientare le singole triplette; a questo processo segue l'individuazione sulla foto dell'area da generare e l'impostazione del passo di ricostruzione della nuvola di punti in funzione del valore del GSD (*Ground Sample Distance*). Al decrescere del GSD la risoluzione aumenta e di conseguenza anche il tempo di generazione della nuvola di punti e quindi del lavoro in laboratorio (tabella 4).

Tab. 4 – Utilizzando un obiettivo 28 mm, la stretta correlazione fra il GSD impostato nel programma dall'operatore al momento della generazione dei modelli e i possibili risultati (le nuvole di punti generate).

GSD impostato nel programma ZScan	GSD reale sulla nuvola di punti	Numero di punti della nuvola	Tempo impiegato nella generazione
9 mm	12 mm	142.211	8 min
3 mm	4 mm	1.247.293	35 min

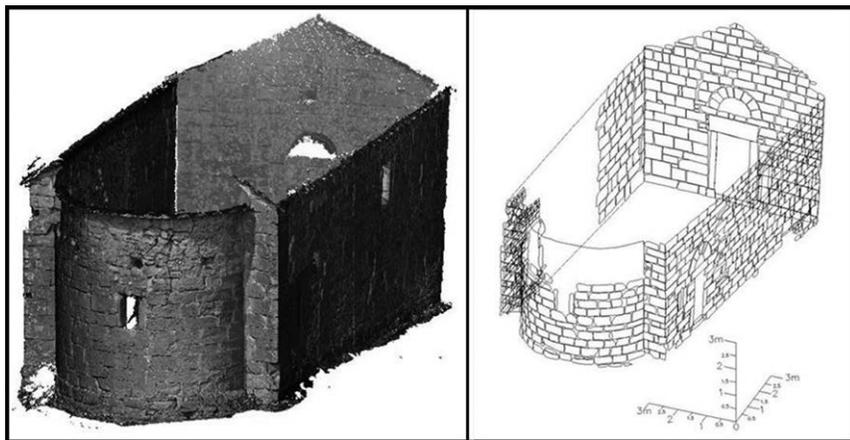
Le nuvole di punti così create, vengono salvate in formato \*.vtp. È inoltre possibile salvare i singoli modelli in formato \*Ascii XYZ ed \*Ascii XYZ RGB; in questo caso l'estensione permette l'esportabilità dei file in altri programmi per la gestione di nuvole di punti o in semplici visualizzatori.

Una volta generati i modelli, la loro gestione e digitalizzazione avviene attraverso il software ZMap. Il primo prodotto realizzabile con questo programma, dal quale si ottengono tutti gli altri elaborati di seguito descritti, è il *modello tridimensionale* a restituzione fotografica dell'intero oggetto rilevato. Tale modello, creato semplicemente importando i singoli modelli georeferenziati all'interno del software ZMap, offre la possibilità di effettuare elaborazioni su una nuvola di punti con texture, sfruttando quindi la tridimensionalità a diversi gradi di visualizzazione e la cromia dell'oggetto, al fine di registrarne e mapparne le caratteristiche. Il modello tridimensionale

è inoltre esportabile dal software ZMap in diversi formati (\*.ply, \*.obj, \*.wrl, \*.stl ecc.), molti dei quali visualizzabili ed interrogabili attraverso *software open source* liberamente disponibili in rete. Ciò permette da un lato la possibilità di un libero scambio dei prodotti realizzati da soggetti diversi, e dall'altro fornisce un concreto apporto a livello comunicativo del risultato finale. La possibilità di disporre del modello tridimensionale in diversi formati, offre inoltre la possibilità di integrazione dello stesso con altri prodotti derivati da rilievi effettuati in momenti e con strumentazioni diverse (ad esempio con nuvole di punti generate da *laser scanner*).

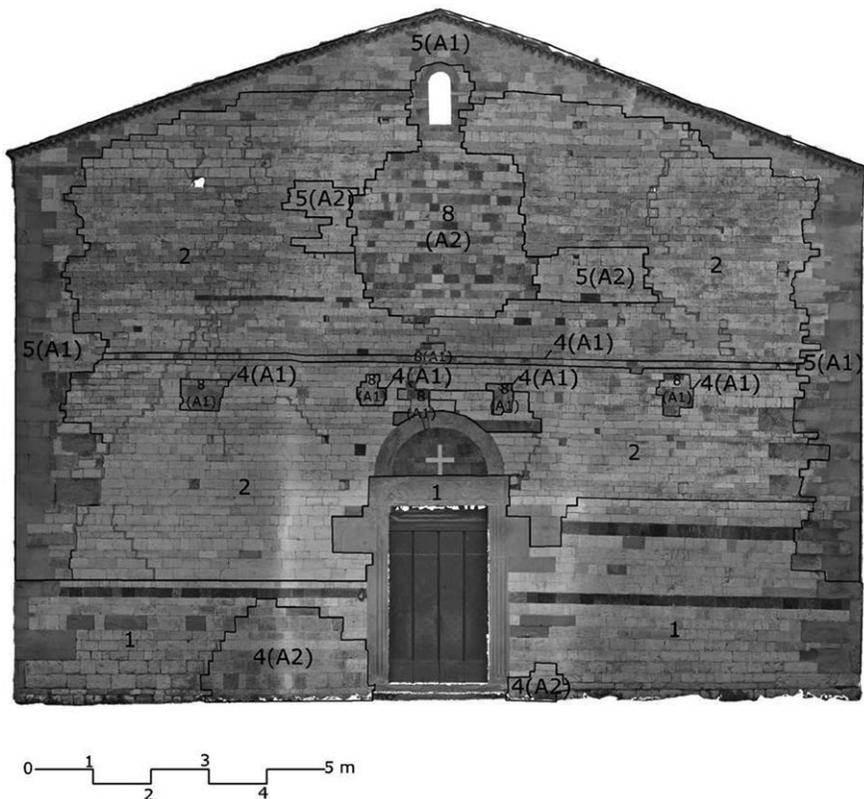
Mediante l'interfaccia di ZMap, che si avvicina molto a quelle dei software CAD, è possibile inoltre digitalizzare i modelli *texturizzati*, creando disegni *wireframe* 3D. Si tratta di modelli 3D vettoriali 'reali', cioè disegnati direttamente sul modello tridimensionale e quindi basati sulla reale disposizione nello spazio degli elementi da rilevare. I modelli *wireframe* così creati vengono esportati dal software in formato \*.dxf e \*.dwg.

Fig. 16 – Esempio di modello tridimensionale e digitalizzazione della Chiesa di Santa Maria a Fabbrica (Vicchio) per la restituzione di un modello *wireframe* 3D dell'intero manufatto.



Prodotto derivato direttamente dal modello tridimensionale è l'*ortofotopiano*. Esso viene realizzato all'interno del software ZMap mediante la trasformazione dei singoli modelli 3D in ortofotopiani, successivamente mosaicati tra loro per comporre un unico ortofotopiano in formato TIFF dell'intera superficie rilevata. Sebbene il processo risulti in gran parte automatico, al fine di ottenere un elaborato a qualità desiderata, due fasi, eseguite direttamente dall'operatore, risultano fondamentali: il momento della generazione dei singoli fotopiani, quando si effettua la scelta della grandezza del GSD dell'immagine e, successivamente, il momento della mosaicatura con l'inserimento di un valore strettamente correlato alla qualità e all'equalizzazione dell'immagine finale.

Fig. 17 – Ortofotopiano della facciata della Pieve di Sant'Agata del Mugello ottenuto dalla mosaicatura di 9 modelli 3D. Sul prospetto è stata successivamente effettuata una lettura stratigrafica in fasi costruttive e una caratterizzazione del quadro fessurativo (TAVOLA 3).



In quest'ultima fase, la scelta dei valori varia da 1 a 6: il numero più basso crea un fotomosaico in pochissimo tempo (circa 5 minuti per 2 ortofotopiani) ma con un risultato qualitativamente molto scarso; utilizzando il numero più alto, la qualità del fotomosaico è ottima ma i tempi aumentano sensibilmente (circa 30 minuti per una coppia di ortofotopiani). Ovviamente il tempo di creazione del mosaico è strettamente correlato sia alla quantità degli ortofotopiani da mosaicare, che alle dimensioni degli ortofotopiani stessi.

Un altro prodotto strettamente collegato al modello tridimensionale è il *Digital Elevation Model*, ossia la rappresentazione della distribuzione delle quote della superficie rilevata in formato digitale.

Il DEM viene prodotto in formato raster associando a ciascun pixel l'attributo relativo alla quota assoluta, creando così una sorta di mappatura delle quote (rappresentate da diversi colori) presenti sulla superficie. Per

ottenere un prodotto di questo tipo nel software ZMap, è sufficiente identificare un UCS relativa al piano di riferimento per la creazione del modello e indicare lo step (rappresentato dal GSD) con il quale vogliamo trasformare i singoli modelli 3D in DEM. La scelta della grandezza del pixel viene poi ripetuta una seconda volta al momento della mosaicatura dei singoli DEM, ottenendo così il modello finale.

Il modello viene poi utilizzato come base per ottenere *sezioni di superficie* dai rilievi. Queste ultime vengono create attraverso una polilinea (orizzontale, verticale o obliqua) tracciata dall'operatore sul DEM, che viene automaticamente 'spalmata' dal software sulla superficie tridimensionale dell'oggetto. Il processo, in gran parte automatico, avviene impostando semplicemente uno step che indica la distanza di una serie di punti che il software crea lungo la polilinea indicata. I punti vengono poi automaticamente uniti fra di loro attraverso linee, creando così una polilinea unica che rappresenta in modo fedele il profilo esterno dell'oggetto. Ogni sezione può essere esportata da ZMap in formato \*.dxf e \*.dwg.

### **2.2.2 Micro-Zscan: la micro-fotogrammetria per il monitoraggio delle lesioni<sup>16</sup>**

Il metodo micro-fotogrammetrico, messo a punto dall'Istituto per la Catalogazione e Valorizzazione dei Beni Culturali del CNR di Firenze in collaborazione con la ditta Menci Software di Arezzo, è una tecnologia di rilievo basata sui principi della fotogrammetria classica che permette di generare una nuvola di punti RGB semplicemente acquisendo tre immagini (definite 'tripletta'), riprese da angolazioni diverse, della stessa porzione di superficie utilizzando una comune fotocamera digitale opportunamente calibrata.

Il sistema è costituito da una barra motorizzata lunga 260 mm, lungo la quale, opportunamente agganciata ad una slitta mobile, scorre una reflex digitale Canon EOS 400D (10M pixel) equipaggiata con obiettivo macro Canon EFS 60 mm; il sistema micro-fotogrammetrico è completato da una terna di software appositamente realizzati che permettano l'acquisizione dell'area di interesse (ZScan Micro), la generazione della nuvola di punti (ZScan), e l'elaborazione dei modelli (Z-Map). Il software ZScan Micro permette la gestione in remoto del sistema (posizione della camera lungo la barra motorizzata e controllo dell'acquisizione); una volta individuata l'area di indagine, il programma permette di effettuare una valutazione automatica della distanza tra il sensore della camera e l'area da acquisire,

<sup>16</sup> Rilievo eseguito in collaborazione con l'Arch. Rachele Manganelli del Fà dell'Istituto per la Conservazione e Valorizzazione dei Beni Culturali del CNR di Firenze. Maggiori informazioni sul sistema di rilievo si trovano in: Arrighetti *et al.* 2011; Frediani *et al.* 2010; Manganelli del Fà *et al.* 2011; Tiano *et al.* 2008.

*Fig. 18 – L'attrezzatura necessaria per il rilievo sul campo presso la Pieve di San Gavino Adimari nei pressi di Barberino di Mugello (FI) ed un momento di acquisizione delle triplette fotografiche presso la Pieve di San Cassiano in Padule a Vicchio (FI).*



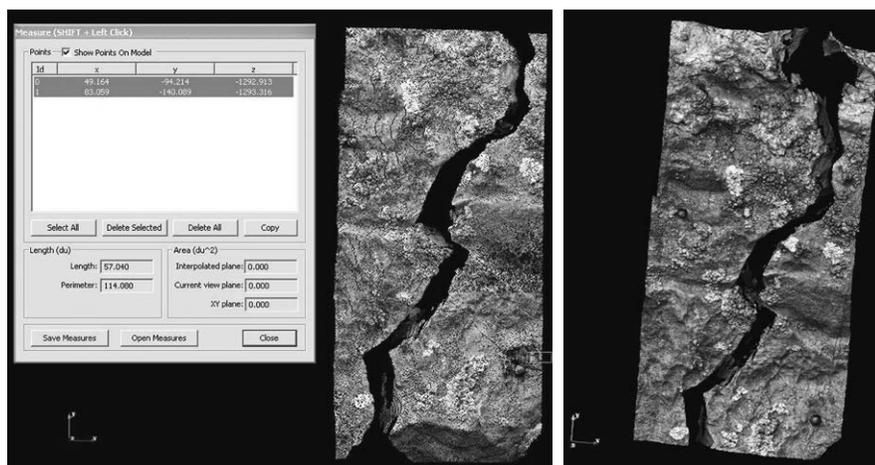
suggerendo il passo di acquisizione, cioè la distanza tra gli scatti (step), che il sistema ritiene essere il migliore. Durante la fase di acquisizione è opportuno che in ogni scatto sia presente almeno il 50% di superficie dello scatto precedente, al fine di facilitare la ricostruzione del modello, inoltre, da prove effettuate in laboratorio, risulta che la distanza di acquisizione debba essere compresa tra i 300 ed i 360 mm in modo da migliorare la precisione nella ricostruzione della nuvola di punti. Impostate le caratteristiche di acquisizione desiderate, il sistema produce tre scatti dell'area interessata, da sinistra e destra e simmetrici rispetto allo scatto centrale, le immagini così acquisite vengono esportate verso ZScan per poter essere elaborate e permettere così la generazione della nuvola di punti. Tale processo di elaborazione si basa su quattro diverse operazioni:

1. rettifica dell'immagine per eliminare le distorsioni geometriche ed ottiche;
2. selezione dell'area di interesse;
3. definizione del valore di risoluzione (ad esempio si impostiamo come valore di risoluzione 5, il programma provvederà alla ricostruzione di un punto tridimensionale ogni 5 pixel dell'immagine);
4. generazione della nuvola di punti che costituisce il modello attraverso uno specifico algoritmo.

Al modello generato viene applicata una texture che permette una chiara lettura delle informazioni relative al colore, e alle caratteristiche di rugosità superficiale dell'area indagata (stato di conservazione) con una precisione di circa  $\pm 20 \mu\text{m}$  lungo le direzioni  $x$  ed  $y$ , e di  $\pm 50 \mu\text{m}$  lungo la

direzione z. La scelta di utilizzare dispositivi commerciali per il sistema di acquisizione consente l'utilizzo di obiettivi di lunghezza focale diversa, l'impiego di un obiettivo 28 mm permette la ricostruzione di aree più grandi, che possono essere a loro volta mosaicate insieme all'interno di un unico modello. In presenza di più scatti della nostra superficie se vogliamo allineare tra loro i singoli modelli al fine di generarne uno unico si devono individuare 'almeno' 5 punti omologhi alle superfici contigue, cercando di disporli il più uniformemente possibile su l'intera area del modello, così facendo i modelli saranno roto-traslati automaticamente l'uno sull'altro e sovrapposti. Laddove non siano presenti punti facilmente riconoscibili per la sovrapposizione, ad esempio per superfici particolarmente omogenee dove non vi siano decori o segni di altro genere, sarà opportuno, quando possibile, apporre dei *marker* per facilitare le operazioni di sovrapposizione.

Fig. 19 – Il riconoscimento dei punti omologhi per la georeferenziazione delle immagini ed il modello 3D della lesione presente su un paramento della Pieve di San Gavino Adimari nei pressi di Barberino di Mugello (FI).



Il sistema può funzionare a batterie ed è facilmente trasportabile, e data la facilità di acquisizione delle immagini e la velocità di restituzione del modello 3D, rende il metodo micro-fotogrammetrico uno strumento non invasivo efficiente per la valutazione in situ dello stato di conservazione di superfici di particolare interesse storico artistico. La possibilità di sovrapporre modelli acquisiti in tempi diversi permette di valutare eventuali cambiamenti della rugosità superficiale, trasformazioni dimensionali subite nel corso del tempo a causa di fenomeni fisici e chimici e lo rende un valido sistema per il monitoraggio delle superfici permettendo di verificare l'efficacia di interventi di pulitura o di trattamenti conservativi e di pianificare una manutenzione programmata. Anche con il metodo micro-fotogrammetrico

è possibile ottenere un modello tridimensionale della superficie rilevata. A differenza del metodo 'macro', le superfici acquisite hanno dimensioni ridotte, che variano da 2 a 20 cm<sup>2</sup> in funzione della distanza di ripresa. Funzioni specifiche del software permettono la sovrapposizione delle aree acquisite: ad esempio è possibile inserire un'area indagata con l'obiettivo macro da 60 mm su un'area più ampia acquisita con il 28 mm, oppure sovrapporre la stessa zona acquisita in tempi diversi, ad esempio prima o dopo un trattamento di pulitura. Anche nel metodo micro-fotogrammetrico così come in quello 'macro', dopo la generazione del modello tridimensionale, il software Z-Map permette, individuato un piano di riferimento (UCS), di generare un Digital Elevation Model fornendo automaticamente il valore delle quote massime e minime del pattern superficiale, rappresentate in una scala cromatica che va, rispettivamente, dal rosso al blu. Sovrapponendo tra loro superfici acquisite in tempi diversi, il programma è in grado di fornire un'analisi comparativa dei DEM relativi ai singoli modelli, i grafici della frequenza delle quote distribuite sulla superficie, il DEM 'differenza' ed il grafico delle variazioni di frequenza tra le due riprese. Il DEM ottenuto con ZScan Micro viene principalmente utilizzato per la caratterizzazione della rugosità superficiale e per la valutazione dello stato di conservazione. Scelta una direzione sull'area di indagine, è possibile inoltre generare sezioni della superficie; le coordinate di tali profili possono essere facilmente esportate in file di excel per la costruzione di grafici e tabelle utilizzabili per diverse finalità. Nel caso del rischio sismico la sovrapposizione dei profili di rugosità superficiale di una stessa lesione monitorata a distanza di un anno, ci permette di valutare eventuali spostamenti della superficie dell'oggetto con precisioni molto al di sotto del millimetro.

### 2.3 La lettura archeosismologica del campione

L'analisi archeosismologica dei Complessi Architettonici ha previsto una prima fase di lettura stratigrafica del campione, operata con un livello di approfondimento basato su gruppi di attività costruttive e tarato in base alle finalità imposte dalla ricerca. Il progetto non necessitava infatti di sottoporre gli edifici ad una lettura per Unità Stratigrafiche in quanto non mirava ad un'anamnesi particolareggiata delle singole azioni costruttive, quanto più all'individuazione dei principali interventi (antropici o naturali) registrati dalla struttura materiale degli edifici nel corso del tempo. La lettura stratigrafica è stata accompagnata da un Matrix di riferimento, anch'esso per fasi costruttive, nel quale sono state inseriti i fenomeni sismici che hanno interessato l'area, in rapporto alla sequenza cronologica di riferimento.

Ogni edificio è stato inoltre corredato di un *Grafico Terremoti-Restauri*, uno strumento che permette, su un arco cronologico di riferimento (che generalmente inizia dalle prime testimonianze riferibili alla struttura analizzata e termina nel 2010), di segnalare i terremoti che hanno interessato la strut-

Fig. 20 – Esempio di lettura stratigrafica per fasi costruttive ed individuazione dei presidi anti-sismici (colore chiaro) del prospetto sud della Chiesa di San Bonaventura del Bosco ai Frati (FI).

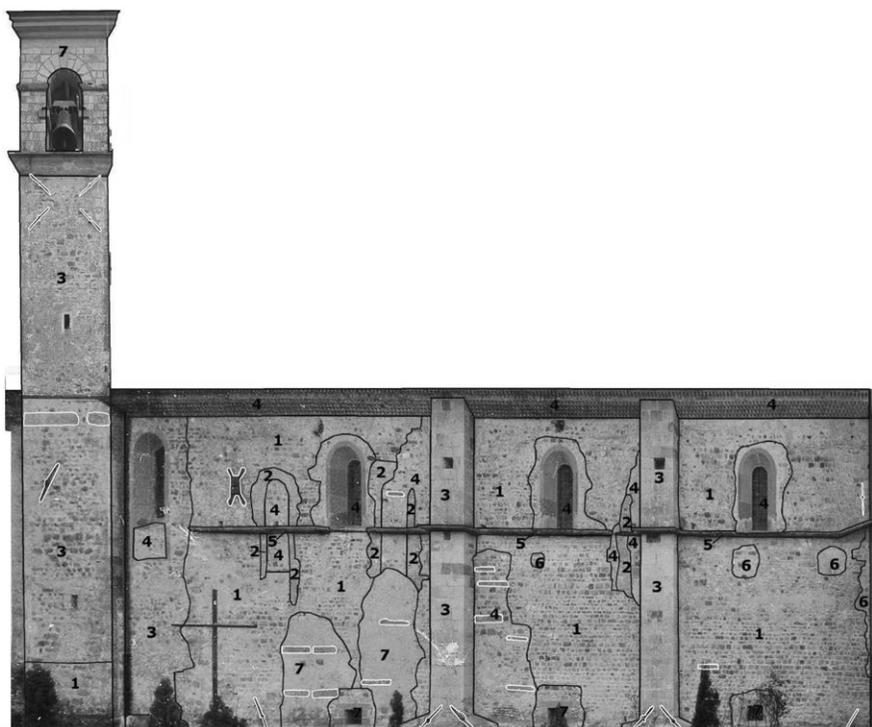
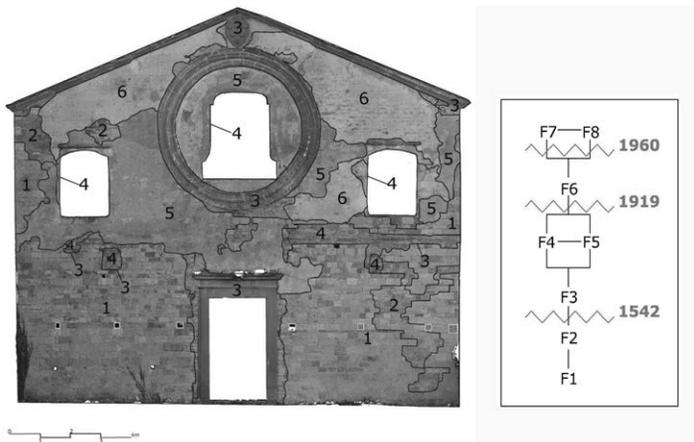
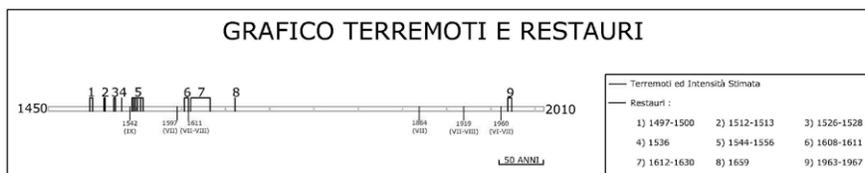


Fig. 21 – Esempio di lettura stratigrafica e Matrix per fasi costruttive del prospetto esterno ovest della Pieve di San Gavino Adimari presso Barberino di Mugello (FI).



tura (per ogni sisma vengono indicati anno ed Intensità Stimata) e i restauri eseguiti sull'edificio documentati dalle fonti scritte (con anno o periodo cronologico di riferimento). Questo strumento aiuta in modo chiaro e sintetico a proporre una possibile interazione fra gli interventi eseguiti sugli edifici documentati dalle fonti storiche ed i terremoti che hanno interessato l'area.

Fig. 22 – Grafico Terremoti-Restauri della Pieve di Sant'Agata nel Mugello (FI). Per un arco cronologico che va dal 1450 al 2010 vengono rappresentati i terremoti storici che hanno interessato l'area (in basso) e restauri eseguiti sulla struttura documentati dalle fonti scritte (in alto).



Una seconda parte di analisi degli edifici è quella propriamente archeosismologica ed ha previsto la caratterizzazione e, quando possibile, la periodizzazione degli interventi o dei fenomeni probabilmente collegati ad eventi tellurici, suddivisi nel modo seguente.

- *Danni da sisma*: ogni elemento catalogato è stato corredato di materiale grafico, fotografico e di una descrizione del danno con un ipotetico periodo cronologico di riferimento. La classificazione dei danni viene tratta da quella proposta dalla Scheda per il rilievo del danno ai beni culturali – Chiese elaborata dal MIBAC e Protezione Civile nel Post-Sisma del 2009 a L'Aquila.

Partendo dal presupposto che ogni edificio sia delineabile per caratteristiche proprie conferite da numerosi fattori intrinseci ed estrinseci allo stesso (ad esempio la geomorfologia dell'area, i modi di costruire, lo stato di conservazione ecc.), appare chiaramente un processo molto complesso, se non impossibile, il tentativo di definizione di una cronotipologia generale dei danni individuati in Mugello durante l'analisi archeosismologica. Di contro, è invece molto utile proporre un catalogo di questi meccanismi suddivisi, quando possibile, in archi cronologici più o meno definiti, analizzando i danni di ogni singolo evento sismico riscontrati negli edifici (utilizzando cioè ogni edificio come un sismometro) e collegando i dati ottenuti al contesto in esame. In questo modo è possibile ottenere informazioni inerenti il singolo evento tellurico, andando ad ipotizzare epicentro e micro-zonazione di ogni sisma e collegando questi dati a quelli ricostruiti dai cataloghi sismologici<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> L'argomento viene approfondito all'interno del paragrafo 3.4 del libro.

Fig. 23 – Esempio di meccanismo di danno 'Ribaltamento della facciata' individuato e periodizzato in base alla lettura stratigrafica al sisma del 1542 del prospetto ovest della Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI).

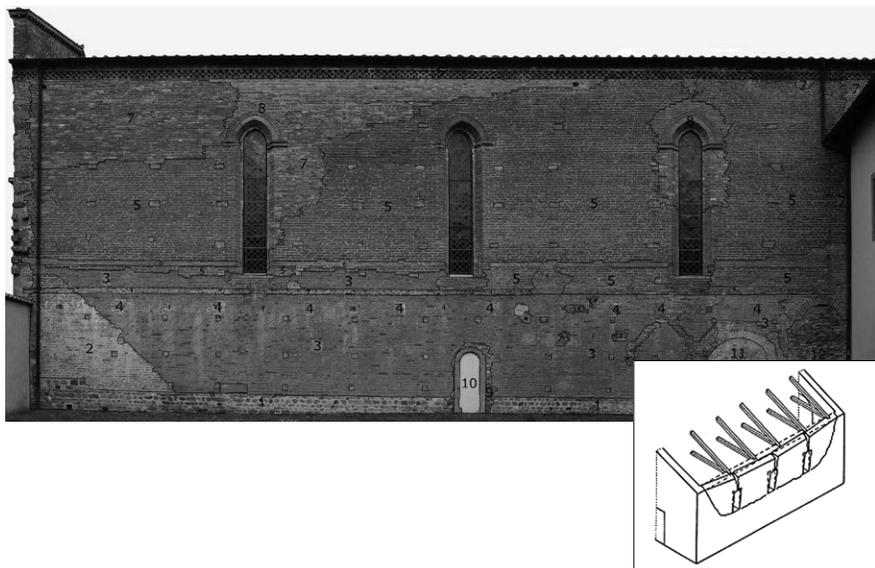
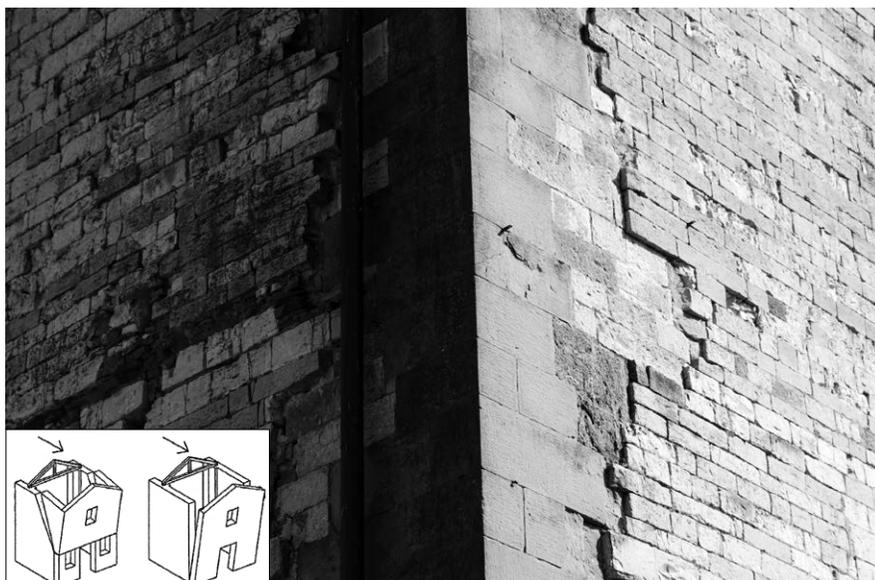


Fig. 24 – Meccanismo di danno 'Spostamento fuori piano di parete laterale' attestato sulla parete laterale della chiesa di San Francesco a Borgo San Lorenzo (FI) cronologicamente collocabile attraverso la lettura stratigrafica fra la fase 2 (probabilmente relativa alla metà del Duecento) e la fase 3 (anteriore al 1443).



## 156 L'archeosismologia in architettura

*Fig. 25 – Esempi di presidi antisismici presenti nella Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI): catene in pietra serena inserite nei cantonali e catene in legno all'altezza dell'imposta degli archi delle aperture della cella campanaria. La messa in opera di questi ultimi, in particolare, trova un'attestazione diretta della loro funzionalità come presidi antisismici nella relazione sui lavori di restauro operati dall'allora Piovano Nozzolini a seguito del terremoto del 1542 e di quelli di inizio Seicento che nel 1612 attesta l'acquisto di «due legnetti di quercia per fare le catene al pari degli archi de i finestroni [...]».*



- *Sistemi di prevenzione, mitigazione e riparazione*: interventi operati sulla struttura materiale degli edifici collegati ai meccanismi di danno individuati o facenti parte delle Culture Sismiche Locali. Rappresentano nella maggior parte dei casi azioni costruttive ben definite, cronologicamente e tipologicamente testimoniate in modo più o meno preciso dalle fonti dirette o indirette. Quando i dati in possesso risultano affidabili, la catalogazione ed analisi di queste operazioni, unita al loro periodo di utilizzo, permette quindi il riconoscimento di determinati interventi utilizzati in uno o più edifici durante precisi periodi storici. Attraverso questa operazione si vengono perciò a costituire alcune specifiche tipologie periodizzate di intervento post-sisma che rappresentano la base per la costituzione di un abaco crono-tipologico di quelli che potremmo raccogliere sotto il nome di 'presidi antisismici'. Questi ultimi costituiscono quindi la base per comprendere se in determinati periodi storici si sia formata una Cultura Sismica Locale nel *know-how* delle maestranze operanti in Mugello.

#### 2.4 Analisi delle fonti storiche e periodizzazione delle fasi costruttive

Una volta effettuata la lettura stratigrafica dei paramenti a vista e determinata una cronologia relativa di riferimento per le fasi individuate, tali azioni costruttive sono state collegate alle informazioni ricavate dall'analisi delle fonti storiche per proporre una periodizzazione in cronologia assoluta di alcuni processi di costruzione-trasformazione degli edifici.

*Fig. 26 – Una epigrafe presente in una bifora del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI) testimonia l'erezione della torre nel 1263. Questo elemento architettonico ha permesso di datare in cronologia assoluta una Fase costruttiva precedentemente individuata attraverso la lettura stratigrafica.*

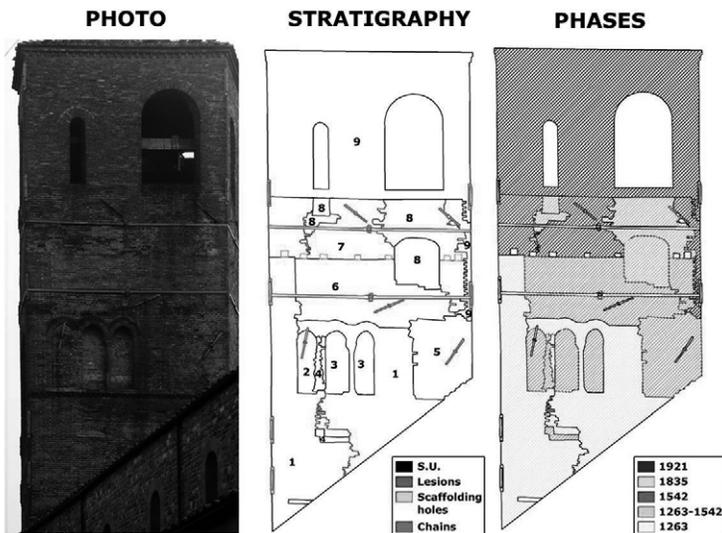


✠ · A · D · M · CCL · XIII · · 2 · ·  
T · PRĒ · PLĒBANI · PARĒVIS

Fig. 27 – Un particolare della relazione scritta dal Pevano Nozzolini durante i restauri operati sulla Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI) a seguito del terremoto del 1542 (Brunori Cianti 2011). In questa immagine viene ritratto il campanile della chiesa che secondo quanto riporta il religioso «gli uomini della Compagnia della Visitazione ricoprono a uso di capanna con un poco di tettuccio quella parte che restò in piedi tutta screpolata, e quella facciata che guarda verso la chiesa la alzarono su sopra il tetto e vi fecero le finestre delle campane e lo ridessero alla forma che di contro si vede [...]» (Brunori Cianti 2011: 88).



Fig. 28 – Fotografia, lettura stratigrafica per gruppi di Attività costruttive con caratterizzazione del quadro fessurativo, delle catene e delle buche pontai e periodizzazione delle Fasi individuate del prospetto esterno ovest della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI) (TAVOLA 5).



### 3. Risultati

#### 3.1 Atlante crono-tipologico dei 'presidi antisismici' e Cultura Sismica Locale

L'Atlante Crono-tipologico dei 'Presidi Antisismici' è uno strumento caratterizzato da gruppi tipologici di elementi utilizzati per prevenire, riparare o mitigare i danni da sisma, inseriti in un arco cronologico di riferimento. L'atlante è stato realizzato, durante l'analisi autoptica degli edifici, mediante la comparazione fra gli elementi che presentavano caratteristiche comuni in funzione della creazione di tipologie e passando successivamente ad una loro periodizzazione, mettendo quindi in relazione le cronologie assolute e relative della loro messa in opera negli edifici. In questo modo è stato possibile comprendere il periodo iniziale e finale di utilizzo dei presidi, conferendo una valenza storica al dato finale.

##### 3.1.1 Abaco periodizzato e atlante crono-tipologico dei 'presidi antisismici'

###### *Abaco periodizzato*

1) *Catene*: catene di diverse tipologie di materiale (legno, pietra e ferro) sono state messe in opera per mitigare gli effetti dei terremoti (principalmente fuori piombo e spancamenti) e prevenire crolli. Si tratta di 'presidi antisismici' molto utilizzati in tutto il territorio italiano, e non solo, messi in opera in diverse epoche sia in fase di realizzazione degli edifici che, nella maggior parte dei casi, successivamente ai danni correlati ad eventi sismici o ad altre cause. Un utilizzo particolare delle catene viene rappresentato dai *radiciamenti lignei*, elementi in legno inseriti orizzontalmente all'interno delle murature in fase di costruzione delle stesse<sup>18</sup>. Nel Mugello su un totale di 26 attestazioni di catene in materiale eterogeneo, delle quali 7 non hanno datazioni ben precise, ben 11 fanno riferimento ai restauri che interessarono gli edifici a seguito del periodo sismico dal 1542 al 1611. In un solo caso, quello della Pieve di Sant'Agata, viene documentato l'inserimento di due catene in legno durante la messa in opera della muratura come sistema preventivo per conferire stabilità e maggiore elasticità alla cella campanaria della chiesa.

- *Pietra Serena* (1263-post. 1611, 7 attestazioni) (fig. 29)
- *Pietra Alberese* (dal 1542, 2 attestazioni) (fig. 30)
- *Legno* (ant. 1542-1611, 3 attestazioni) (fig. 31)
- *Ferro* (ant. 1542-post. 1919, 14 attestazioni) (fig. 32)

<sup>18</sup> I radiciamenti lignei hanno avuto un riscontro di notevole portata a seguito delle analisi effettuate sui danni subiti dagli edifici colpiti dal terremoto del 2009 nel territorio aquilano (Lagomarsino 2009).

*Fig. 29 – Catena in Pietra Serena presente nel prospetto sud della pieve di San Gavino Adimari nei pressi di Barberino di Mugello (FI).*



*Fig. 30 – Catene in Pietra Alberese inserite in alcune murature interne del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI).*



*Fig. 31 – Catena in legno inserita in un cantonale interno del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI).*



*Fig. 32 – Catene in ferro inserite nella muratura esterna del Palazzo dei Vicari di Scarperia (FI).*



- 2) *Eliminazione porticati* (1606-metà XVIII secolo, 4 attestazioni): l'eliminazione dei porticati in facciata e sulla pareti laterali delle strutture religiose è uno degli elementi maggiormente distintivi dell'area del Mugello. Grazie anche al confronto con le testimonianze scritte, questo tipo di intervento si vede concentrato nel corso del XVII-XVIII secolo in stretta connessione con la volontà di prevenire i danni relativi agli effetti dei movimenti sismici sulle strutture. In particolare, delle quattro attestazioni riscontrate dall'analisi del contesto, la Pieve di Sant'Agata è quella che, attraverso le testimonianze dei suoi pievani, permette di comprendere al meglio il fenomeno. Costruiti nel corso del Quattrocento, i portici risultarono elementi che, sebbene ammorsati alla struttura degli edifici, provocavano a seguito delle scosse sismiche notevoli problemi alle murature coinvolte. La maggior parte di questi quindi sopravvisse per circa tre secoli con ricostruzioni più o meno importanti operate a seguito dei fenomeni sismici del 1542 e del 1611.
- 3) *Cerchiatura lignea della sommità dei campanili* (1542-1611, 2 attestazioni): le cerchiature lignee poste sulla sommità delle torri campanarie risultano fra gli elementi che meglio testimoniano la presenza di 'presidi antisismici' nelle culture costruttive delle maestranze del Mugello. Tali presidi sono attestati in un periodo compreso fra il 1542 e il 1611 attraverso una testimonianza scritta per il campanile della Chiesa Parrocchiale di Scarperia e mediante l'esame autoptico delle murature interne al campanile della Pieve di Borgo San Lorenzo. Tali elementi, ammorsando i vari prospetti, permettevano di conferire stabilità alla struttura e allo stesso tempo una certa elasticità in relazione ai movimenti sismici.
- 4) *Tamponatura dei vuoti* (dal 1263, 15 attestazioni): l'apertura e l'obliterazione nel corso del tempo dei vuoti (in particolare di aperture, buche pontae e alloggi per travi) presenti sulle chiese e sulle torri campanarie, rappresenta una delle operazioni di restauro maggiormente attestate in Mugello<sup>19</sup>. La messa in opera di interventi di questo tipo sulle strutture analizzate in Mugello permette di attestare una connessione fra questi ed alcuni importanti meccanismi di danno, soprattutto estesi quadri fessurativi; la motivazione del loro massiccio impiego risiede nella volontà da parte delle maestranze di dare maggiore consistenza ad elementi molto sensibili ai movimenti tellurici, come ad esempio i campanili. Le 15 attestazioni di questo sistema di prevenzione/riparazione trovano un lungo periodo di utilizzo che inizia probabilmente nel 1263 e termina con gli ultimi restauri effettuati a seguito del terremoto del 1960.

<sup>19</sup> Il presidio trova attestazioni anche in molte altre aree della Toscana (ad esempio la Lunigiana e la Garfagnana; Pierotti 2003) e dell'Italia.

*Fig. 33 – Alcune travi di legno che emergono dalla muratura interna del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI). Tali elementi cerchiano l'intera struttura architettonica e, dalle relazioni stratigrafiche con le fasi costruttive circostanti, risultano probabilmente messi in opera in riferimento ai restauri operati dopo il terremoto del 1542.*



*Fig. 34 – Alcune aperture tamponate sul campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (FI) a causa di una lesione verticale che interessa l'intero prospetto.*



- 6) *Barbacani* (ant. 1542-1611, 3 attestazioni): costruiti su murature preesistenti con la volontà di mitigare gli effetti del sisma. Viene attestato un utilizzo di questi presidi sia in territorio toscano<sup>20</sup> e più in generale in quello italiano, anche se non sempre tali elementi vengono costruiti in riferimento a danni sismici. Delle tre attestazioni documentate in Mugello dalle fonti scritte, due sono relative al periodo post-terremoti del 1542, 1597 e 1611.
- 7) *Costruzione dei pilastri nelle navate* (ant. XVII secolo, 2 attestazioni): un presidio antisismico attestato nel Mugello, ma presente in altre strutture religiose in Toscana<sup>21</sup> ed in Italia, è la costruzione dei pilastri nelle navate in sostituzione di precedenti colonne. È un fenomeno che nel Mugello sembra essere concentrato in un arco cronologico fra il 1542 ed il XVII secolo nella sola Pieve di Borgo San Lorenzo. Il sistema costruttivo purtroppo non permette una datazione più specifica in quanto molto rimaneggiato ed in parte ri-edificato nel corso di restauri Novecenteschi. Rappresenta comunque un chiaro presidio antisismico in quanto messo in opera nel periodo immediatamente successivo al terremoto per fornire maggiore stabilità agli archi e, di conseguenza, alle strutture murarie della navata centrale. Le due attestazioni di Borgo San Lorenzo si riferiscono a due momenti ben precisi di costruzione dei pilastri; dall'analisi delle fonti storiche e delle murature interne della chiesa è infatti possibile notare che i pilastri furono messi in opera una prima volta inglobando le colonne preesistenti (probabilmente in riferimento ad estesi danni che le avevano coinvolte) ed in un secondo momento andando a sostituire le colonne stesse.

*Atlante crono-tipologico dei 'presidi anti-sismici'*

La lettura dell'Atlante (figura 37) permette di operare alcune riflessioni, almeno per alcuni periodi storici, sull'utilizzo razionale da parte delle maestranze di alcuni elementi architettonici con la funzione di 'presidi antisismici'. L'esempio forse più importante è l'utilizzo delle catene. Sia le fonti storiche che l'analisi della struttura materiale degli edifici permettono un'attestazione dell'utilizzo di tali elementi pressoché continuativa a livello cronologico per l'intero periodo analizzato, portando così ad ipotizzare un loro inserimento nei caratteri costruttivi delle maestranze del Mugello. Inoltre la loro messa in opera in seguito ad eventi sismici conferisce a tali elementi una chiara connotazione antisismica. L'unico cambiamento riscontrabile nelle catene è la diversa materia prima utilizzata. La trasformazione dal legno e dalla Pietra Serena alla Pietra Alberese e al ferro appare imputabile ad alcuni fattori strettamente correlati al contesto di studio

<sup>20</sup> Ad esempio in Lunigiana e Garfagnana (Pierotti 2003).

<sup>21</sup> Ad esempio nella Pieve di Sant'Antonino a Socana in Casentino (AR).

Fig. 35 – Barbacani costruiti nel 1420 nel convento del Bosco ai Frati (FI).

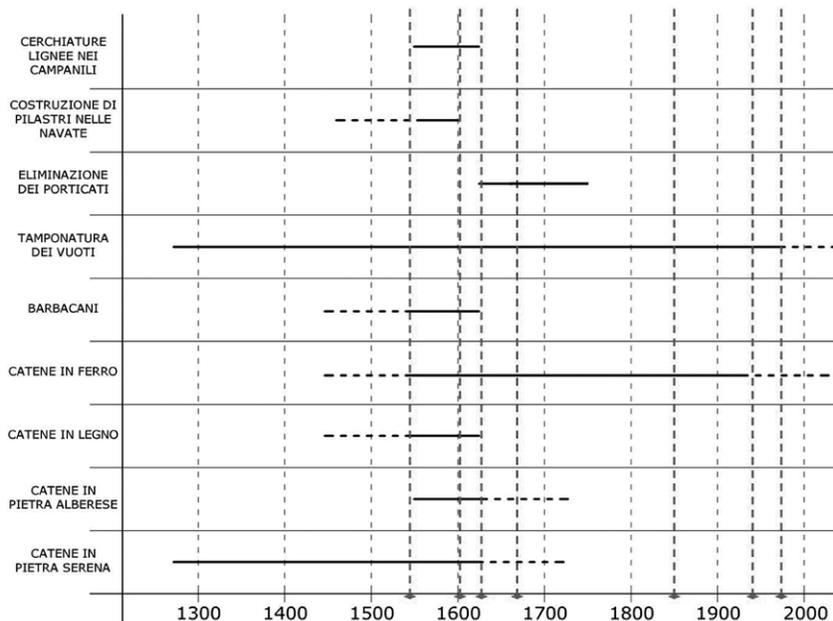


Fig. 36 – Nell'immagine vengono mostrati alcuni pilastri presenti all'interno della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo (Fi) costruiti inglobando precedenti colonne in riferimento ai danni patiti dalla chiesa dopo il sisma del 1542. Durante i lavori di restauro operati a seguito del terremoto del 1919 furono eliminati i pilastri riportando alla luce le colonne sottostanti.



e al periodo di utilizzo degli stessi, quali: le disponibilità dei materiali ed i criteri di approvvigionamento; le caratteristiche fisiche delle materie prime in riferimento ai meccanismi di danno attivati; le disponibilità economiche delle committenze; le capacità tecniche delle maestranze.

Fig. 37 – Atlante crono-tipologico dei 'presidi antisismici' del Mugello. Sull'asse delle *x* viene riportata la cronologia di riferimento, su quella delle *y* i presidi antisismici analizzati. All'interno del grafico: le linee orizzontali determinano i periodi cronologici di utilizzo dei presidi (la linea continua corrisponde ad un'attestazione cronologica sicura del presidio, quella tratteggiata ad una testimonianza in cronologia relativa); le linee verticali tratteggiate corrispondono agli eventi sismici che hanno caratterizzato la storia del Mugello.



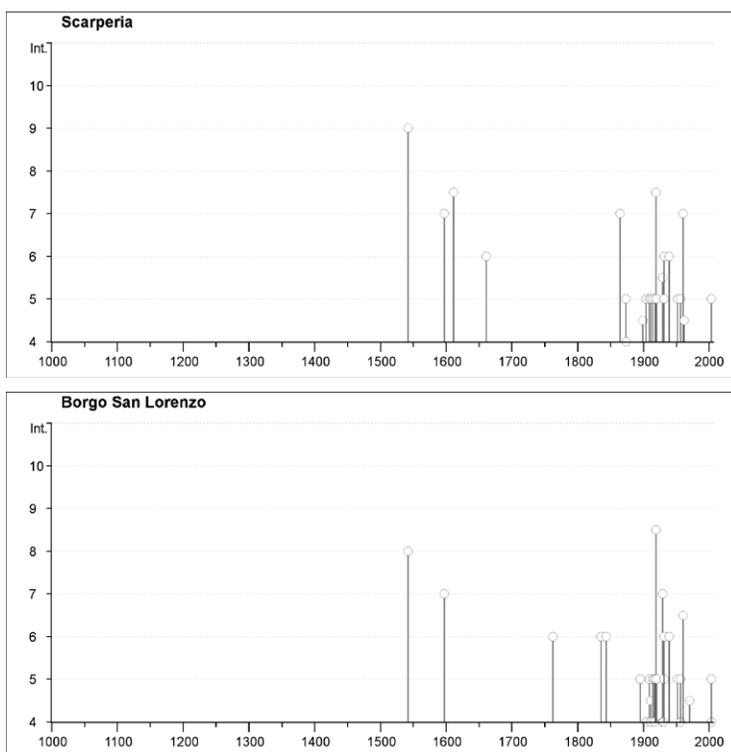
### 3.1.2 Cultura Sismica Locale in Mugello

Ipotizzare la presenza di una Cultura Sismica Locale (CSL) all'interno di un'area a rischio sismico significa esaminare e confrontare due tipologie di fonti principali: quelle indirette (desumibili dall'analisi delle basi di dati sismologici affiancati da uno studio delle fonti scritte edite ed inedite) e quelle dirette (ricostruite attraverso l'anamnesi della fabbrica dell'edificio). L'integrazione fra i dati storici e archeologici porta quindi a definire la presenza o l'assenza all'interno di un territorio di una Cultura della Prevenzione (CdP) e/o di una Cultura del Riparo (CdR) (Pierotti 2003). Per

formulare un'ipotesi plausibile sulla presenza/assenza di una CSL all'interno di un territorio non è ovviamente sufficiente l'analisi di un singolo caso studio che, seppure ricco di informazioni, non potrebbe che rappresentare una evidenza. È invece l'indagine territoriale estesa a più edifici o siti, confrontata con i dati riferiti alla sismicità dell'area, che permette di formulare ipotesi realmente plausibili.

Il primo passo nella definizione di una Cultura Sismica Locale è l'analisi delle basi di dati sismologici, una fonte che permette di comprendere quanti terremoti abbiano interessato un'area, la frequenza con cui questi fenomeni sono avvenuti e l'Intensità Stimata per ogni singolo evento. Nel caso del Mugello è possibile vedere di seguito due immagini ricavate dal DBMI11 (Data Base Macrosismico Italiano 2011) che testimoniano l'attività sismica (frequenza ed Intensità Macrosismica stimata) dei contesti di Scarperia e Borgo San Lorenzo (figura 38).

Fig. 38 – La storia sismica dei centri di Scarperia e Borgo San Lorenzo tratta dal Database macrosismico DBMI11 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>).



L'analisi dei dati mostrati in figura 38 potrebbe già essere sufficiente per ipotizzare se nel contesto di studio esista la possibilità che si sia

formata una CSL o meno nel corso del tempo. In tal senso in Mugello la frequenza molto ravvicinata dei sismi e la loro parziale caratteristica distruttiva sono dati importanti per ipotizzare che in alcuni periodi storici (ad esempio dal 1542 al post-1611) sia nata una qualche forma di CSL nelle maestranze del luogo. Tali basi di dati comunque non rappresentano che un punto di partenza nell'analisi del contesto. Risulta infatti necessario verificare la correttezza delle ipotesi appena proposte attraverso lo studio delle fonti scritte e la lettura stratigrafica degli edifici, nell'ottica di individuare spie di interventi di restauro o modifica strutturale interpretabili come la volontà di mitigare, prevenire o riparare le diverse strutture dai movimenti tellurici. Un'operazione che porta alla produzione di un'*Atlante crono-tipologico dei 'presidi antisismici'* come quello descritto in precedenza (figura 37). Sarà infine l'integrazione fra il dato archeosismologico e la storia economica, politica e sociale del contesto di studio nei diversi periodi storici che porterà ad ipotizzare la presenza o meno di una Cultura Sismica Locale nel know-how delle maestranze operanti nelle aree sottoposte ad indagine.

Per il Mugello l'analisi della struttura materiale degli edifici, accompagnata allo spoglio delle fonti d'archivio, ha permesso di ipotizzare che nei periodi immediatamente successivi ai sismi del 1542, 1597 e 1611 siano stati adottati specifici presidi con la volontà di proteggere gli edifici dai movimenti tellurici. In questo arco cronologico, caratterizzato da una frequenza ed una Intensità sismica piuttosto importante, sembrano essere le committenze religiose e le maestranze ad esse collegate a mettere in opera una sorta di Cultura della Riparazione, attestata dalla numerosa presenza di elementi (catene, barbacani, cerchiature lignee e pilastri) in risposta ai meccanismi di danno attivati dai sismi del XVI e XVII secolo. Tali interventi hanno poi ovviamente costituito elementi preventivi in relazione ai movimenti tellurici messi in atto dagli eventi posteriori (ad esempio dai terremoti Settecenteschi, per i quali al momento non vengono attestati danni di notevole rilevanza negli edifici analizzati). In quest'ultimo caso non sembra però corretto parlare di una Cultura della Prevenzione in quanto solo l'utilizzo del legno, attraverso le sue caratteristiche di rigidità ed elasticità, potrebbe portare ad ipotizzare una volontà di mitigare l'effetto dei movimenti sismici successivi alla sua messa in opera nelle strutture.

Per quanto riguarda le committenze pubbliche, prima fra tutte il Granducato di Toscana, dall'analisi delle fonti storiche e dalla lettura stratigrafica di alcune strutture (ad esempio Palazzo dei Vicari di Scaperia), gli interventi eseguiti a seguito dei terremoti cinque-seicenteschi sembrano essere caratterizzati da una forma di Cultura della Ricostruzione. I documenti riportano infatti che gli edifici danneggiati più o meno considerevolmente dai sismi, nella maggior parte dei casi furono demoliti o almeno abbassati fino ai piani non coinvolti da mecca-

nismi di danno, ri-utilizzando poi il materiale costruttivo per le nuove edificazioni<sup>22</sup>.

Appare quindi la committenza, più che le maestranze, a svolgere un ruolo di primo piano nella decisione delle forme più idonee di intervento attuate a seguito dei sismi. In particolare, la 'sensibilità' e l'intuizione dei singoli pievani, in relazione ad una qualche forma di Cultura Sismica presente nel know-how delle maestranze coinvolte, sembra essere il motore attraverso il quale vengono messi in opera gli interventi post-sismici in Mugello. La testimonianza più importante in questo senso è forse quella del Pievano Nozzolini per la Pieve di Sant'Agata (Brunori Cianti 2011) che permette di confermare quanto detto per gli interventi operati a seguito dei terremoti del 1542 e del 1611.

### **3.2 I panorami storici in riferimento ai sismi**

Nei paragrafi seguenti vengono trattati gli scenari post-sismici in Mugello relativi ai due terremoti che fino ad oggi vengono conosciuti come i maggiormente distruttivi dell'area: 24 giugno 1542 e 29 giugno 1919. In particolare sarà delineato un filo conduttore dall'integrazione fra lo studio delle fonti storiche e le evidenze riscontrate dalla lettura stratigrafica dei paramenti a vista, con l'obiettivo di ricostruire quelli che furono gli aspetti sociali, culturali e politici che fecero seguito ai due disastrosi eventi. Purtroppo per il sisma del 1919 non molte fonti storiche sono oggi reperibili; l'evento infatti accadde immediatamente dopo la Prima guerra mondiale che, con le sue distruzioni, in parte oscurò gli estesi danneggiamenti dovuti al terremoto.

#### **3.2.1 Il terremoto del 1542 ed il Granducato di Toscana**

##### *Scenario post-sismico*

Miserabile cosa era a veder le famiglie intiere sbigottite, e mezze morte, fatte lor trabacche, e tende per alloggiarli fuori allo scoperto, e sotto le rovine delle loro case cercare fra i calcinacci, chi la robba, e chi le persone mezze sepolte [...] (Adriani 1583: 262).

Il terremoto del 13 giugno 1542 ebbe effetti rilevanti sia sulla struttura materiale degli edifici presenti che sulle popolazioni dei centri colpiti, queste ultime costrette a vivere in rifugi di fortuna all'aperto per l'inagibilità di molte abitazioni e per la paura di nuovi crolli. Le fonti ci informano che gli abitanti abbandonarono le case e dormirono per 2 mesi su «prati per piazze & per li orti facendo paviglioni Trabache & coprimenti con panni meglio

<sup>22</sup> Operazioni descritte nel dettaglio nel paragrafo successivo del libro.

che fanno & possano & chi li vedessi direbbi fussino spiritati tanto sono impauriti & si attende a fare processione raccomandandosi a Dio & molti di loro si confessano & comunicano [...]»<sup>23</sup>. I monaci del Convento del Bosco ai Frati rimasero all'aperto per tre mesi.

*L'autorità centrale e gli interventi di restauro*

La risposta delle autorità centrali al disastro fu veloce, come dimostra l'invio immediato da parte di Cosimo I di una commissione per accertare l'entità dei danni ed il numero delle vittime. D'altra parte l'invio degli ingegneri granducali per «guardare, capire, descrivere e progettare [...]» (Guidoboni 2009) interventi di ripristino risulta una prassi ben attestata anche dalle fonti immediatamente successive ai terremoti toscani del 1661 e del 1688 (quindi di un secolo posteriori a quello del 1542) (Guidoboni 2009). Lo stesso Duca Cosimo I, durante una villeggiatura presso le sue ville di Cafaggiolo e del Trebbio in Mugello nell'agosto 1542, fece visita a Scarperia. Ma dalle fonti viene riportato solo una sua considerazione sulle fortificazioni della Terra nuova invitando la popolazione a «ricostruire nel luogo medesimo a lor piacere un circuito di mura gagliarde e ben finacheggiate [...]» (Bellandi, Rhodes 1987: 15; Baccini 1902: 166).

A differenza però di quanto successe per i terremoti toscani del Seicento, dove il Granduca Ferdinando II dopo aver valutato velocemente i danni mise a disposizione denaro per le ricostruzioni e avviò importanti restauri alle opere pubbliche, per il terremoto del 1542 in Mugello alla quantificazione dei danni non altrettanto celere fu il sostegno all'opera di ricostruzione; i danni del terremoto pesarono per decenni sulle popolazioni locali, che continuarono a sollecitare interventi economici ed esenzioni fiscali. Gli esempi in tal senso sono molteplici e giungono principalmente per via indiretta dalle suppliche e richieste della popolazione dei centri maggiori (Borgo San Lorenzo, Scarperia e Vicchio) indirizzate all'autorità centrale<sup>24</sup>.

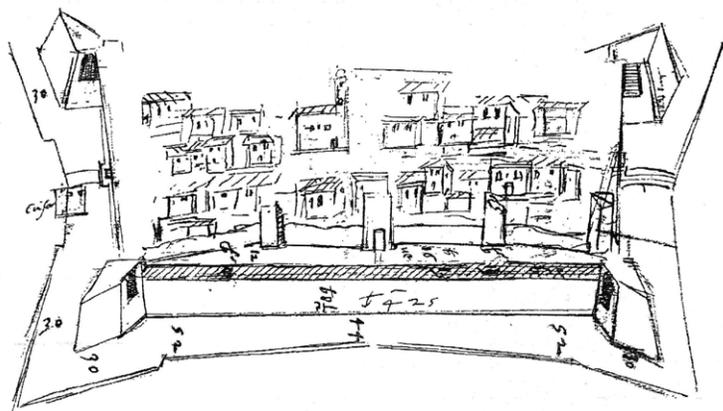
Gli abitanti di Borgo San Lorenzo ad esempio chiesero fondi a più riprese dal 19 gennaio 1542 al 20 marzo 1549 al Senato dei Quarantotto di Firenze per riparare la casa del locale podestà rovinata dal terremoto. Le risposte da parte del Granduca arrivarono abbastanza celermente e principalmente si concretizzarono in un abbassamento del salario del Podestà stesso; i soldi in tal modo risparmiati dovevano andare a coprire le spese per il restauro delle strutture pubbliche (ad esempio per ricostruire il ponte sulla Sieve e il palazzo podestarile).

<sup>23</sup> Anonimo, *Una letra de la discriptione del terremoto che e stato in Toschana la qual narra particolarmente tutte le terre che son ruinate & le persone morte & li fochi aparsi in aere & la terra aperta & de vn lago fatto di acqua spuzolente di solfere la quantita e il numero de le case ruinate le qualcoso furno adi 13 zugno 1542.*

<sup>24</sup> I riferimenti archivistici sulle suppliche e sulle richieste degli abitanti di Scarperia, Borgo e Vicchio si possono consultare nella sezione Fonti Inedite provenienti dall'Archivio di Stato di Firenze contenute nella sezione *Fonti e bibliografia* al termine del presente manuale.

A Scarperia, il centro maggiormente danneggiato, una torre della vecchia cinta, detta 'Torre del Mirabello' era ancora rovinata nel 1597, come attestano le molteplici lettere di supplica indirizzate alla magistratura dei Capitani di Parte Guelfa dagli abitanti della zona che chiedevano l'esenzione dalle tasse per l'inagibilità del luogo (i documenti in questione portano le date del 1552, 1554, 1559, 1563 e 1597). Le fonti provenienti dall'Archivio di Stato di Firenze<sup>25</sup> sembrano attestare una prima forma di restauro operata nel corso del 1554-1555 sotto il controllo dei Capitani di Parte Guelfa, che si adoperarono per spianare alcune torri che minacciavano rovina e utilizzare il materiale da costruzione di queste per le nuove fortificazioni di Scarperia. Un secondo restauro, effettuato sempre con le stesse modalità, sembra essere stato messo in opera nel corso del 1597 quando in una supplica viene attestato l'utilizzo del materiale da costruzione della Torre del Mirabello, crollata per i terremoti del 1542 e del 1597, per la costruzione delle nuove fortificazioni. Le fonti sembrano dunque riportare che le nuove mura di Scarperia furono costruite a più riprese per un tempo che va dal 1554 al 1597 (probabilmente interrotte dal terremoto del 1597) utilizzando per quanto possibile il materiale da costruzione degli edifici crollati per gli eventi sismici. Le fonti cartografiche relative a Scarperia successive al terremoto del 1542, come quella dei Capitani di Parte Guelfa della fine del XVI secolo (figura 38) o quelle presenti in Palazzo Vecchio di Vasari del 1563-1565 (figura 40) e di Stradano del 1557-1558 (figura 39), tendono a confermare la presenza di alcune strutture della cinta muraria che, dopo decenni dal terremoto, ancora presentavano evidenti crolli.

*Fig. 39 – Una pianta redatta dai Capitani di Parte Guelfa che ritrae Scarperia alla fine del XVI secolo. È possibile notare le ferite del terremoto (o forse dei terremoti contando anche quello del 1597) ancora visibili sulle torri della cinta muraria. (Fonte: Romby 2006)*



<sup>25</sup> In particolare la perizia effettuata da Amerigo Medici sui danni ad una torre di Scarperia.

Fig. 40 – Particolare relativo a Scarperia di un affresco di Giovanni Stradano presente nel Palazzo Vecchio di Firenze e datato al 1557-1558. Nell'immagine sono visibili alcune torri della cinta muraria della Terra nuova crollate o parzialmente danneggiate ([http://www.google.com/culturalinstitute/asset-viewer/allegory-of-borgo-san-sepolcro-to-the-bottom-view-of-scarperia/XAFh-24\\_UZeju\\_g?hl=it&projectId=art-project](http://www.google.com/culturalinstitute/asset-viewer/allegory-of-borgo-san-sepolcro-to-the-bottom-view-of-scarperia/XAFh-24_UZeju_g?hl=it&projectId=art-project)).

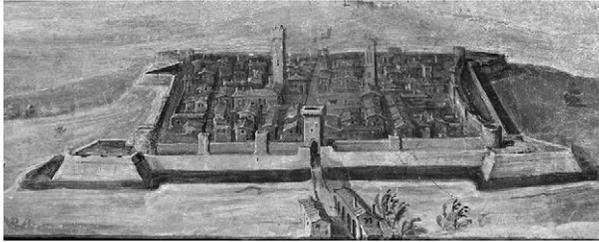


Fig. 41 – Particolare dell'affresco denominato 'Allegoria del Mugello' presente nel Palazzo Vecchio di Firenze. L'immagine dipinta da Giorgio Vasari e Giovanni Stradano nel 1563-65, ritrae Scarperia; nell'affresco sono facilmente visibili i danni ancora presenti nella parte alta della porta fiorentina (<http://www.google.com/culturalinstitute/asset-viewer/allegory-of-mugello/bw-FGQF4vEN8tXw?projectId=art-project&hl=it>).



Ricostruzioni sono inoltre accertate ad opera di enti ecclesiastici sui loro stessi beni. Per il convento del Bosco ai Frati, ad esempio viene attestata una spesa totale di 120 scudi effettuata dagli stessi frati per il rifacimento della volta della chiesa del convento, che si era aperta senza crollare, e di altre fessurazioni causate dal sisma. La lettura stratigrafica riesce a mettere in luce le numerose lesioni che interessarono la struttura e gli interventi sulla sommità del campanile. Per il convento di Scarperia nelle note di debito del convento di San Barnaba si ha notizia di opere di muratura e di ricopertura dei tetti del chiostro ad opera di maestranze pagate dai monaci presenti. Un altro esempio ci è poi fornito dalla Pieve di Sant'Agata del Mugello, restaurata ed in parte ricostruita dal 1542 al 1630 prima dagli abitanti del borgo (in modo molto parziale) e poi dal Pievano Nozzolini. Quest'ultimo si occupa di una vera e propria ricostruzione della chiesa, testimoniata sia dalla relazione dei

lavori eseguiti che dall'analisi stratigrafica della struttura materiale del Complesso Architettonico, appuntando ogni singola voce di spesa all'interno di una relazione giunta fino ai nostri giorni. L'unica eccezione che sembra discostarsi da questo panorama di ricostruzioni dei privati sui loro stessi beni è rappresentato dalla Chiesa di San Gavino Adimari, presso Montecarelli. La struttura, fortemente danneggiata dal sisma del 1542, fu totalmente ricostruita dal Granduca Cosimo I (a testimonianza rimangono gli stemmi della famiglia Medici sul campanile e in facciata) patrono della chiesa stessa.

La lettura archeologica della struttura materiale degli edifici appare delineare e confermare lo stesso scenario proposto dalle fonti storiche, anche se talvolta aggiunge elementi innovativi a quelli proposti. Ad esempio l'utilizzo nelle ri-costruzioni di maestranze specializzate o locali appare un indice di sostanziale importanza nel definire la committenza che si è occupata di pagare gli interventi eseguiti sugli edifici. In particolare, mentre in un solo caso, quello della Pieve di San Gavino Adimari, i restauri medicei cinque-seicenteschi si caratterizzano per l'utilizzo di pietre squadrate con apparecchiature regolari, per le altre Pievi e Chiese del Mugello sembrano essere impiegate maestranze locali finanziate dagli stessi parroci o dalla comunità, che operarono utilizzando materiali di spoglio con apparecchiature irregolari o parzialmente regolari. In altri casi, come ad esempio per il centro cittadino di Scarperia o per quello di Borgo San Lorenzo, dove la lettura archeologica a causa dei restauri non fornisce informazioni sostanziali (ad eccezione del Palazzo dei Vicari e della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo) per ricostruire gli scenari post-sismici del XVI e XVII secolo, le fonti storiche funzionano da filo conduttore per l'interpretazione dell'evoluzione del contesto.

Infine un episodio molto curioso riportato dalle fonti che risulta utile a comprendere il panorama di totale assenza di finanziamenti o aiuti alla popolazione da parte dell'autorità centrale. Secondo alcune fonti riportate successivamente da altri autori (Baccini 1902; Bellandi, Rhodes 1987; Ughi 1849), nel 1542 fu istituito un balzello per tutto il Dominio fiorentino, tanto che la popolazione del Mugello chiese di essere esentata dal pagamento di quest'ultimo gravando già sulla loro testa, oltre alle spese relative ai rifacimenti delle abitazioni a seguito del terremoto, anche una serie di angherie e l'aumento del prezzo del sale. L'autorità centrale, dopo una prima rassicurazione in merito che esentava la popolazione mugellana da questa tassa, ad ottobre dello stesso anno impose anche a loro il pagamento del balzello.

#### *Aspetti culturali e credenze popolari*

Di seguito vengono riportate alcune notizie testimoniate dalle fonti scritte a seguito del sisma del 1542 legate alle credenze tardo-medievali sui terremoti.

1. La popolazione reagì al sisma facendo penitenza, processioni, digiuni ed elemosine, facendo comunione e confessandosi con grandissimi

segni di contrizione. Ad esempio alcune fonti riportano compagnie di contadini che regolarmente scendevano dal Mugello (e da altri luoghi della Toscana dove era stato avvertito il terremoto come a Pistoia) per visitare la Chiesa della Santissima Annunziata o altre chiese di Firenze.

In questa sì fatta tribolazione, si ricorse, come è dovere e come si costuma, all'invocazione dell'aiuto divino. Onde si fecero orazioni di 40 ore e processioni insino alla Santissima Nunziata di Firenze non solamente per impetrar grazia della liberazione de' pericoli, ma anche per render grazie dello scampo dal pericolo passato [...] (Lapucci, Pacciani 1997).

Tali processioni di penitenza, effettuate per placare l'ira di Dio contro i territori colpiti e per ringraziare dello scampo dal pericolo passato, durarono molti anni dopo il terremoto del 1542 e si legarono anche agli eventi sismici che interessarono l'area nei decenni successivi (Lapini 1900; Baccini 1902).

2. A seguito dei terremoti nel Tardo Medioevo i governi erano soliti emanare quelli che potrebbero essere definiti 'mandati di buon costume', ovvero una serie di leggi che le autorità centrali, nella loro qualità di 'buon governo', emettevano per punire e perseguire atteggiamenti peccaminosi ritenuti cause dei disastri naturali (come il terremoto) (Schenk 2010). E proprio in seguito al terremoto del 1542 il Senato dei Quarantotto di Firenze promulgò un bando nel quale si dichiaravano vizi punibili la bestemmia e la sodomia. Il Granduca a tal proposito diede parere favorevole a pene piuttosto dure per chi bestemmiasse o fosse trovato nello «sporco vizio contro natura [...]» (Baccini 1902: 166). Solitamente tali provvedimenti rimanevano in vigore per pochissimo tempo venendo molto presto invalidati, mitigati o del tutto ignorati.
3. Legati al terremoto del 1542 sono ancora presenti alcune leggende e rituali che fanno parte della cultura delle popolazioni che vivono in quei luoghi. Fra tutte la più importante e conosciuta sembra riguardare la devozione alla 'Madonna dei Terremoti' di Scarperia (figura 42), una raffigurazione sacra che ancora oggi si situa in un tabernacolo immediatamente fuori la Porta Fiorentina della Terra nuova. L'affresco, secondo le leggende orali e scritte<sup>26</sup>, nel corso della scossa avrebbe posto sulle ginocchia il bambino che allattava, rivolgendo lo sguardo non più verso l'ingresso al tabernacolo ma verso il proprio figlio, congiungendo le mani per invocare Dio ad arrestare il flagello del terremoto. Il tabernacolo con la raffigurazione della Madonna dei Terremoti, così come testimoniano le fonti del XVII secolo (Baccini 1902: 192-193), rima-

<sup>26</sup> L'attestazione scritta viene trascritta da Padre Giovannozzi nel 1895 da una lettera del 1613 a sua volta raccontata all'autore da un testimone immediatamente dopo l'evento del 1542 (Baccini 1902: 167-170).

se un simbolo per gli abitanti del paese di Scarperia anche successivamente al 1542. A tal proposito vengono riportate numerose processioni, suppliche, devozioni e offerte a seguito dello sciame sismico del 1660-1661 che, sebbene non causò vittime o danni di una certa rilevanza a Scarperia e nel circondario, portò preoccupazione e sgomento fra la popolazione che ricorse a questi espedienti per proteggersi.

Fig. 42 – *La Madonna dei Terremoti di Scarperia.*



4. Di grande interesse risultano infine le spiegazioni che vengono date al terremoto del 1542. Nella maggior parte delle fonti analizzate, il principale indiziato dei danni così ingenti al Mugello era riconducibile all'assenza di pozzi, laghi o corsi d'acqua che permettessero di far fuoriuscire i vapori intrappolati nel sottosuolo. Tali vapori, causati dalle estati calde e dagli inverni asciutti degli anni precedenti a quello del sisma, erano invece riusciti a fuoriuscire a Firenze grazie all'Arno e ai numerosi pozzi presenti in città, limitando gli effetti del terremoto. A tal proposito se ne riportano alcuni esempi scritti da autori contemporanei al sisma del 1542:

Credettero i periti di queste cose, nella città (Firenze) il male essere stato molto minore per cagion del fiume, & per i molti pozzi, de quali ella è ripiena, che porgendo tutti larga uscita al vento, diche la terra s'era impregnata, facevan che ella meno si commovesse (Ammirato 1600: 465).

E fu cosa più maravigliosa tenuta, che il paese del Mugello è più lontano dal mare, che la città e buona parte dell'altro contado di Firenze; le quali parti, cioè le più vicine al mare, sogliono dai tremuoti più gravemente essere offese. Furono alcuni, che crederono che il fiume d'Arno, e la moltitudine de' pozzi facesse grande sfogamento al pericolo della città, del quale ajuto mancando il Mugello, ne sentisse il danno maggiore (Adriani 1583: 262-263).

Tratto dallo Zibaldone del P. Matteo Pinelli Priore di Cerliano del 1647:

Dicevasi comunalmente che il non esser mai piovuto da calen di marzo insino allora e l'esser stati caldi grandissimi tutta la state, s'era racchiusa di modo la terra, che i molti vapori riserrati nelle sue caverne avevano, nel tentar l'uscita, dato sì fatte scosse. Pure a Dio solo è manifesta la cagion vera; poichè il filosofo tante e sì varie ce ne propongono (Lapucci, Pacciani 1997: 92-93).

Tratto da un documento dell'Archivio di Stato di Firenze, *Mediceo del Principato*, Filza 4299, f. 253r:

Pur con la gratia di nostro Signore Iddio non ha rovinato nessun ediftii né persona di questa città. Il che si giudica sia dovuto per esser [...] Arno [...] et avere assai po (zz) i [...] et Chianti per le quali potette exalare l'impeto di detti terremoti; ma non ha fatto così nel Mugello dove come [...] ono luoghi di collina senza tali esalationi o almeno con poche, però alla Scarperia et in altri castelli e ville di esso Mugello, son' rovinate la maggior parte delle case et in Scarperia si può dire che sieno rovinate tutte (Schenk 2010: 40-41).

### 3.3.2 Il terremoto del 1919 e il Governo Italiano

Gli scenari post-sismici del 1919 furono pesantemente condizionati dalla Prima guerra mondiale terminata da solo un anno. Sebbene i due eventi vengano spesso trattati nelle fonti come due casi isolati, nel caso dei danni alla struttura materiale degli edifici è molto complesso capire cosa sia attribuibile ad un evento e cosa ad un altro.

Per quanto concerne il terremoto del 29 giugno le fonti riportano che in tutto il Mugello fu organizzato un attendamento (Calzolari 1974: 171-172). Da Firenze giungevano i viveri da distribuire alla famiglie.

Estesi danneggiamenti sono mostrati sia dalle fotografie scattate i giorni successivi al tragico evento, che dalle 'ferite' ancora oggi visibili sulla struttura materiale degli edifici. Le cittadine collocate nei pressi dell'epicentro del sisma, in particolare Vicchio e Borgo San Lorenzo, riportarono danni notevoli all'edilizia residenziale e a quella storica. Alcuni edifici religiosi, come la Pieve di San Cassiano in Padule, la Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo e la Pieve di San Cresci in Valcava, furono danneggiati dal terremoto in modo tale che l'unico intervento possibile fu la loro ricostruzione.

Fig. 43 – Un'immagine che ritrae una via del centro di Borgo San Lorenzo alcuni giorni dopo il sisma del 1919. (Fonte: Castenetto, Sebastiano 2004)



Fig. 44 – La Pieve di San Cassiano in Padule dopo il terremoto del 1919. (Castenetto, Sebastiano 2004)



*Fig. 45 – Nelle due immagini una via del centro di Barberino del Mugello e una porzione delle mura castellane di Vicchio alcuni giorni dopo il sisma del 1919. (Castenetto, Sebastiano 2004).*



Nei giorni immediatamente successivi al terremoto i primi soccorsi furono privi di un coordinamento unico e procedettero in modo caotico, ma fu d'altro canto rilevato che, a fronte della disorganizzazione iniziale, istituzioni e iniziativa privata avevano fin dall'inizio partecipato ai soccorsi con mezzi adeguati: il ministero degli Interni mobilitò l'esercito, inviando in Mugello tutte le forze disponibili. I lavori di restauro iniziarono molto velocemente anche se chi possedeva le case maggiormente colpite rimase nelle tende fino all'inizio dell'inverno. Il Genio Civile cercò di restituire a tutti più velocemente possibile un tetto dove abitare. Un esempio delle operazioni eseguite subito dopo il sisma viene dal restauro delle torri castellane di Vicchio, paese prossimo all'epicentro del sisma del 1919. Qui, il Genio Civile riconobbe subito la necessità di parziali demolizioni di sgombri e di puntellamenti, nell'interesse della pubblica utilità. Lo sgombero e in particolare le demolizioni avvennero in accordo con la Soprintendenza per la Conservazione dei Monumenti di Firenze, che cercò di limitare le operazioni distruttive dove ne fosse veramente necessario. I lavori si protrassero fino al 1924 con numerose interruzioni date dalle difficili decisioni da prendere in materia di demolizioni e ricostruzione.

### **3.3 Le tracce di un terremoto della metà del Duecento**

L'analisi delle fonti storiche riguardanti gli interventi subiti degli edifici del Mugello nei periodi successivi agli eventi sismici, messe in rapporto alle evidenze di danni e ricostruzioni riscontrati sulla loro struttura materiale

dall'analisi archeosismologica, permette talvolta di ipotizzare la presenza di terremoti più antichi di quelli presenti nelle basi di dati sismologici. Per quanto questi dati siano passibili di errore, in quanto frutto dell'interpretazione soggettiva dell'operatore a seguito dell'analisi archeologica, rappresentano comunque spie più e meno rilevanti di fenomeni che hanno interessato un'area in un determinato momento storico.

Nel caso del Mugello le analisi archeologiche hanno contribuito ad evidenziare in molti edifici, ben sette su tredici, danni, ricostruzioni o testimonianze di restauri più o meno importanti collocati nel corso del XIII secolo, con particolare concentrazione di attestazioni per la metà del Duecento. In particolare gli edifici che riportano questo tipo di informazioni sono i seguenti:

1. Pieve di Sant'Agata del Mugello: la chiesa attesta estese ricostruzioni di buona parte dei prospetti a vista, cronologicamente attribuibili, attraverso la lettura stratigrafica, ad un periodo compreso fra il 1175 e il 1497. Inoltre l'analisi stilistica dell'apparato decorativo ed i risultati ottenuti dal confronto fra la tecnica utilizzata nella lavorazione e finitura degli elementi lapidei della muratura di interesse e le altre presenti in Mugello, permettono di collocare cronologicamente la Fase costruttiva al XIII secolo. Infine la presenza di catene in pietra utilizzate come angolate presenti solo nella parte bassa della struttura, probabilmente messe in opera con la prima o la seconda fase di costruzione della chiesa, potrebbero costituire un'altra spia per rafforzare l'ipotesi correlata alla presenza di un evento sismico.
2. Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo: viene attestata nel 1263 attraverso un'epigrafe la probabile ricostruzione dell'intero campanile.
3. Pieve di San Pietro a San Piero a Sieve: attestati attraverso la lettura stratigrafica dei paramenti esterni alcuni restauri attribuibili ad un periodo compreso fra il 1018 ed il 1482. La tecnica utilizzata nella lavorazione e la finitura degli elementi costruttivi in pietra alberese, utilizzati nella muratura di questa fase, porta tipologicamente a collocare questi interventi ad un periodo fra il XII ed il XIII secolo.
4. Pieve di San Gavino Adimari: attestati attraverso una testimonianza scritta estesi restauri avvenuti nel 1267. A questi fa seguito la presenza di un danno attribuito attraverso la lettura stratigrafica dei paramenti esterni ad una cronologia anteriore al 1542 e probabilmente riferibile alla spinta delle capriate indotta da un probabile evento tellurico.
5. Chiesa di San Bonaventura del Bosco ai Frati: attestato un esteso restauro con utilizzo di laterizi per la costruzione di aperture lungo il prospetto sud della chiesa. Gli interventi risultano stratigraficamente precedenti al restauro michelozziano del Complesso Architettonico avvenuto nel 1420. Essendo questo un convento francescano, quindi collegato al convento di San Francesco a Borgo San Lorenzo, analizzato nel punto successivo, l'utilizzo del laterizio potrebbe forse essere messo in relazione alle ricostruzioni effettuate nella metà del XIII secolo nella chiesa francescana.

6. Chiesa di San Francesco a Borgo San Lorenzo: la chiesa, ricostruita in laterizio e riconsacrata dopo ingenti interventi di restauro nel 1245, subisce una riedificazione molto importante a distanza di breve tempo con mattoni di dimensioni identiche a quelli messi in opera nella prima Fase costruttiva della Pieve di Borgo San Lorenzo operata nel 1263. Tali ricostruzioni possono essere inoltre ricondotte, mediante la comparazione ai meccanismi di danno per macroelementi, ad un possibile crollo dovuto a movimenti tellurici.
7. Pieve di San Cresci in Valcava: attestati estesi restauri operati sul campanile della chiesa nel periodo fra il 1177 ed il 1542. La materia prima impiegata per tali ricostruzioni è l'alberese ma il degrado esterno degli elementi lapidei non permette di proporre confronti tipologici sulla lavorazione e finitura del materiale da costruzione utilizzato in questa fase.

Come è possibile notare dagli esempi appena proposti non tutti gli interventi risultano cronologicamente ben attestati. La presenza però di estesi interventi, in alcuni casi di notevole entità (Pieve di Sant'Agata, Pieve di Borgo San Lorenzo, Chiesa di San Francesco a Borgo e Chiesa di San Bonaventura del Bosco ai Frati), associati ad alcuni meccanismi di danno attribuibili attraverso i macroelementi a danni da sisma (Pieve di San Gavino Adimari, Chiesa di San Francesco a Borgo) e da testimonianze scritte o epigrafiche di interventi e riconsacrazioni di alcuni edifici religiosi (Pieve di Borgo San Lorenzo, Pieve di San Gavino Adimari, Chiesa di San Francesco a Borgo), potrebbero contribuire in modo piuttosto consistente all'ipotesi della presenza di un terremoto antico di medio-alta magnitudo, ad oggi sconosciuto, collocabile intorno alla metà del XIII secolo.

Esiste inoltre una testimonianza scritta relativa di un possibile evento sismico avvenuto alla metà del Duecento riportato dal Chini nella sua *Storia Antica e Moderna del Mugello*. Il sisma viene nominato in una nota in riferimento alle vicissitudini della cappella che esisteva originariamente nei pressi di Monte Senario, oggi nel comune di Vaglia:

La prima cappella edificata da' sette fondatori rovinò per i terremoti del 1250, fu rifabbricata nel 1418 dalla nobil famiglia dei Della Stufa, e stette in piedi fino al terremoto del 1542<sup>27</sup>.

Mettendo su pianta i dati appena descritti e mettendo in evidenza gli edifici che presentano danni riportati dalla lettura della struttura materiale e dalle fonti scritte, si può ricostruire che la maggior parte degli edifici

<sup>27</sup> Il Chini parlando della storia del Monastero di Monte Senario, nel comune di Vaglia, in Mugello, in un passaggio relativo ai sette fiorentini che si stabilirono per primi sul monte, riporta la presenza di un terremoto del 1250 che distrusse una prima volta la cappella che essi costruirono. Purtroppo l'autore non riporta la fonte dalla quale trae l'informazione e quindi per il momento appare difficile poter stabilire la veridicità della testimonianza. (Chini 1875: Libro IV, Vol. II, p.71).

interessati dall'ipotetico sisma del XIII secolo, ad eccezione della Pieve di Sant'Agata, si trova su un'ipotetica linea obliqua che 'taglia' l'area del Mugello da nord-ovest a sud-est. Mettendo in relazione la faglia che attraversa il territorio del Mugello proposta dal DISS 3.1.1 (figura 47) e le evidenze riscontrate dalle analisi archeosismologiche (figura 46), si può notare che la linea di danneggiamento individuata sugli edifici segue lo stesso andamento, ponendosi leggermente più a nord, della faglia stessa.

Fig. 46 – Cartografia relativa ad una porzione dei comuni presenti in Mugello con indicati i diversi contesti analizzati in riferimento alle attestazioni relative al terremoto della metà XIII secolo. In particolare sulla carta sono presenti gli edifici che probabilmente testimoniano l'evento sismico sia attraverso le fonti scritte (numeri 5 e 7) che mediante la lettura stratigrafica (numeri 1, 5, 6, 7, 8, 10 e 12). Inoltre vengono segnati gli edifici che per i restauri o per mancanza di danni non testimoniano l'attività tellurica duecentesca (2, 3 e 4). Infine vengono segnalati Monte Senario (assenza di numerazione) dove vengono attestati dalle fonti scritte danni da terremoto e Palazzo dei Vicari (numero 11) ancora non costruito alla metà del Duecento.

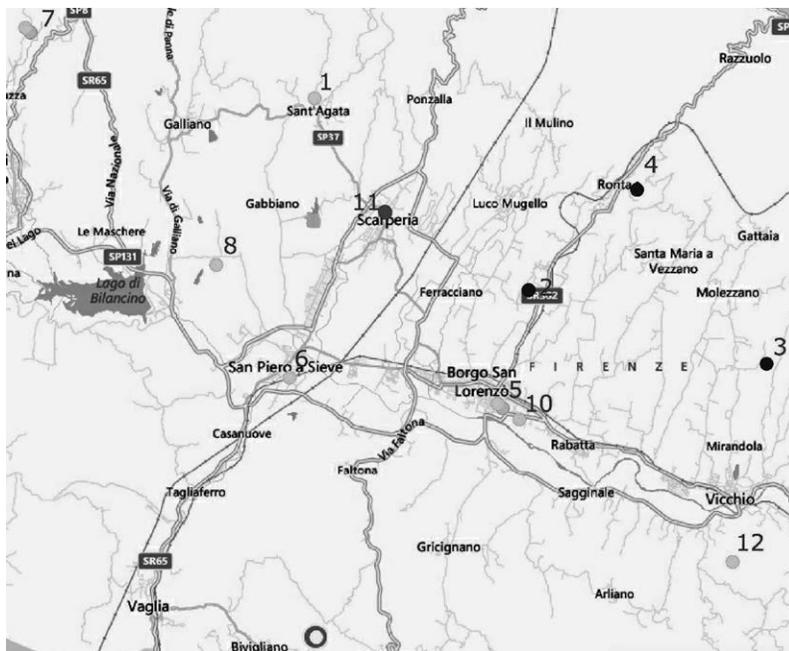


Fig. 47 – Un particolare della faglia che interessa il territorio del Mugello riportata all'interno del DISS 3.1.1 (<http://diss.rm.ingv.it/dissHTML/ITIS087INF.html>).



Concludendo, parlare di un evento sismico in un territorio a medio-alto rischio dove i terremoti appaiono frequenti e anche nei casi più recenti (ad esempio i tre eventi del 1700) risultano poco e male documentati dalle fonti scritte, appare un'ipotesi del tutto plausibile. Confrontando inoltre i dati ottenuti dalle analisi archeologiche con ingegneri strutturisti e restauratori, l'attribuzione dei danni presenti sugli edifici appena descritti a fenomeni sismici appare corretta. Il lavoro operato in Mugello rappresenta quindi un esempio di come l'archeologia, per quanto possibile, permetta di aiutare i sismologi nel complesso meccanismo di ricostruzione della storia sismica dei contesti e nell'attribuzione di fenomeni tellurici mal documentati dalle fonti scritte, quindi parzialmente utilizzabili, ad una determinata area.

### **3.4 L'edificio come sismometro: materiale per una zonazione sismica del terremoto del 1542**

La caratterizzazione periodizzata dei danni da sisma, confrontata con le proprietà del suolo dell'area di interesse, in taluni casi può contribuire a definire gli effetti e le caratteristiche di un singolo evento su una o più località analizzate<sup>28</sup>. In linea generale questo avviene analizzando la struttura materiale delle architetture storiche, valutando la presenza di danni o meno negli edifici, periodizzando i cinematismi presenti, integrando le caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area e i danni testimoniati dalle fonti storiche e riportando tutti i dati all'interno di un apparato cartografico. Questo processo in alcuni casi permette di ipotizzare la localizzazione di un epicentro di un sisma e di proporre una zonazione per l'evento analizzato. In questo caso quindi ogni singolo edificio potrebbe essere considerato un *sismometro* ed essere dunque utilizzato per implementare le conoscenze già acquisite sui singoli fenomeni sismici che hanno interessato un'area nel corso del tempo.

In Mugello, a livello sperimentale, alcune ipotesi di questo tipo sono state proposte per il terremoto del 1542, dove gli estesi danneggiamenti e la presenza di una consistente documentazione scritta hanno offerto l'opportunità di attribuire numerosi danni all'evento. In particolare gli edifici coinvolti dal sisma ed i danni da questi subiti sono i seguenti.

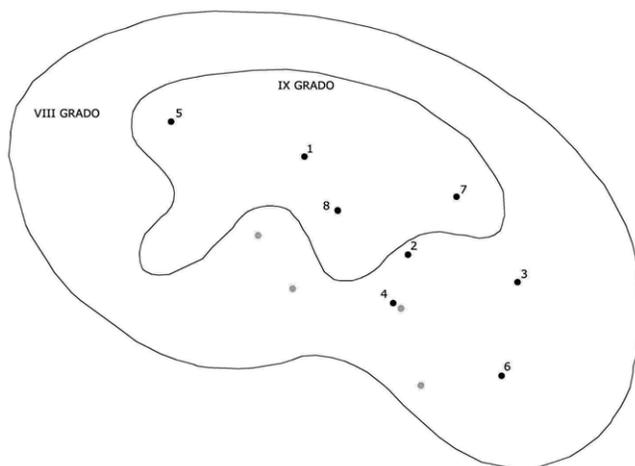
#### 1. Pieve di Sant'Agata:

- protiro-nartece – distacco dalla facciata;
- torre campanaria – lesioni verticali;
- cella campanaria – lesioni negli archi;
- ribaltamento facciata- distacco della facciata dalle pareti;

<sup>28</sup> Alcune recenti esperienze in tal senso sono state effettuate nel territorio aquilano (Andreini *et al.* 2012).

- risposta trasversale dell'aula – rotazioni delle pareti laterali;
- archi trionfali – lesioni nell'arco.
- 2. Pieve di San Giovanni Maggiore:
  - torre campanaria – lesioni verticali;
  - cella campanaria – rotazione o scorrimento dei piedritti.
- 3. Pieve di San Cassiano in Padule:
  - ribaltamento dell'abside – lesione a 'U' negli absidi semicircolari.
- 4. Pieve di San Lorenzo a Borgo:
  - ribaltamento della facciata – distacco della facciata dalle pareti laterali o evidenti fuori piombo;
  - fuoripiombo della parte sommitale del campanile.
- 5. Pieve di San Gavino Adimari:
  - ribaltamento della facciata – distacco della facciata dalle pareti.
- 6. Chiesa di Santa Maria a Fabbrica:
  - ribaltamento dell'abside – lesione a 'U' negli absidi semicircolari.
- 7. Chiesa Vecchia di San Michele a Ronta:
  - torre campanaria – rotazione del corpo della torre.
- 8. Palazzo Dei Vicari:
  - facciata – ribaltamento della facciata;
  - torre campanaria – lesioni verticali.

*Fig. 48 – Carta con le aree di IX e VIII grado di Intensità Macrosismica ricostruite dall'INGV per il terremoto del 1542 (Ferrari, Molin 1985) con la rappresentazione dei siti che riportano danni da sisma (la numerazione corrisponde a quella dell'elenco precedente) e dei siti che per restauri o mancanza di datazioni non forniscono informazioni specifiche sull'evento (assenza di numero).*



Attribuendo successivamente un valore ad ogni edificio in base alla quantità e alla tipologia dei danni che lo hanno interessato, è possibile definire una sorta di classificazione progressiva dell'Intensità Sismica dall'epicentro del terremoto alle zone più periferiche dello stesso. Ovviamente sono molti i parametri da dover tenere in considerazione prima di poter definire una suddivisione più o meno attendibile per un contesto di studio: la geologia e geomorfologia dell'area, la storia costruttiva e le caratteristiche strutturali di ogni singolo edificio, il grado di leggibilità della struttura materiale dei contesti di studio e la quantità e qualità delle fonti storiche in possesso. Valutando e confrontando tra loro tutte queste variabili, dai dati emersi dal terremoto del 1542 per il Mugello, è possibile proporre una sorta di catalogazione dagli edifici con danni più consistenti (A) a quelli che presentano meccanismi meno rilevanti (D).

- Tipo A:
  - Pieve di Sant'Agata.
- Tipo B:
  - Palazzo dei Vicari;
  - Pieve di San Lorenzo a Borgo,
  - Pieve di San Gavino Adimari.
- Tipo C:
  - Pieve di San Giovanni Maggiore;
  - Pieve di San Cassiano in Padule;
  - Chiesa di Santa Maria a Fabbrica.
- Tipo D:
  - Chiesa Vecchia di San Michele a Ronta.

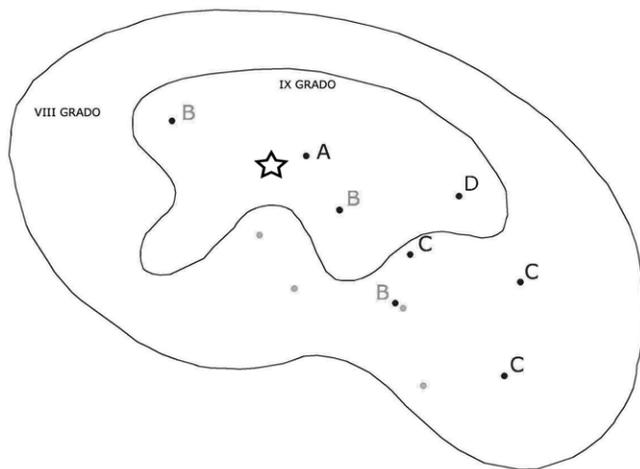
Riportando poi su pianta la suddetta classificazione è possibile proporre ipotesi sulla localizzazione dell'epicentro del sisma e sulla propagazione di quest'ultimo.

Dall'analisi della cartografia in figura 49 è possibile notare come le aree definite dall'INGV per il terremoto del 1542 corrispondano sostanzialmente a quelle ricostruite attraverso l'analisi archeologica. Gli unici edifici che sembrano discostarsi da quanto proposto dagli studi sismologici sembrano essere la Pieve di Borgo San Lorenzo e la Chiesa Vecchia di San Michele a Ronta. Nel primo caso l'edificio, trovandosi in un'area con un'amplificazione mediamente più elevata rispetto alle altre zone ha riportato più danni rispetto alla reale magnitudo del sisma, creando di conseguenza quello che potremmo definire un 'falso positivo'. La chiesa di Ronta invece, per la mancanza di leggibilità dei paramenti murari della chiesa e la scarsità di fonti riguardanti la sua storia costruttiva, riporta una casistica di danno limitata al solo campanile e quindi probabilmente sottostimata rispetto ai reali effetti del terremoto in quell'area. Calibrando quindi i risultati ottenuti da questa analisi e confrontando i dati emersi dall'analisi archeologica

con quelli proposti dai cataloghi sismologici è possibile trovare una sorta di uniformità nei risultati. In particolare i danni riscontrati sugli edifici sembrano ipotizzare un epicentro del sisma molto simile, leggermente più spostato a sud, di quello indicato dall'analisi delle fonti storiche.

In conclusione, seppur con tutte le premesse del caso date dalla vulnerabilità dell'architettura storica, dalle vicissitudini che hanno coinvolto ogni singolo edificio nel corso della sua storia costruttiva e dalle proprietà geologiche e geomorfologiche dell'area sottoposta ad indagine, da questo tipo di analisi, basata sulla lettura archeologica della struttura materiale dell'edilizia storica, è possibile, attraverso il confronto con le fonti storiche, ipotizzare la localizzazione dell'epicentro di un sisma. La prassi operativa permette quindi di confermare o aggiungere nuovi elementi alle ipotesi già edite dai sismologi ed inoltre, per i contesti dove le fonti scritte sono scarse se non del tutto assenti, apporta un significativo contributo nella definizione dei caratteri di un terremoto e dei suoi effetti sul contesto colpito dall'evento.

*Fig. 49 – La classificazione degli edifici in base ai danni relativi al terremoto del 1542 riportati dalle fonti storiche e dalla lettura archeologica. Nella carta sono rappresentati: i confini dell'VIII e del IX grado di Intensità Macrosismica proposti dall'INGV (Ferrari, Molin 1985), il possibile epicentro del sisma (stella), i siti con danni da sisma (lettera identificativa corrispondente a quella dell'elenco precedente) e i siti che per restauri o mancanza di datazioni non forniscono informazioni specifiche sull'evento (assenza di numerazione).*





## Conclusioni

L'applicazione della prassi operativa archeologica all'analisi dell'edilizia storica in aree a rischio sismico apporta un contributo significativo nella valutazione dei fattori di *pericolosità*, *vulnerabilità* ed *esposizione*, elementi indispensabili nel determinare il livello di rischio sismico di un'area<sup>1</sup>. All'interno del processo di indagine archeologica, la ricognizione rappresenta la fase operativa che permette di produrre informazioni di maggiore rilevanza sotto l'aspetto quantitativo e qualitativo riguardo all'esposizione, delineando un profilo iniziale delle presenze all'interno di un contesto di studio affiancato da un'analisi preliminare del loro stato di fatto. È questo un passo fondamentale per comprendere e registrare ogni singola evidenza di interesse, sia questa un edificio o un centro cittadino, attraverso la lettura stratigrafica della struttura materiale dei manufatti e la compilazione di un'apposita schedatura. Le mappe che ne derivano si presentano dunque composte da una combinazione fra la geolocalizzazione delle presenze, affiancate da alcune riflessioni preliminari sulla loro storia costruttiva e sismica. La ricognizione è inoltre di fondamentale importanza per la definizione di pericolosità e di vulnerabilità di un contesto di studio. Considerando ormai assodato il concetto che ogni edificio debba essere considerato un *unicum* se analizzato in relazione alla risposta alle sollecitazioni sismiche, in quanto caratterizzato da una propria storia costruttiva improntata da numerose trasformazioni avvenute nel corso del tempo, risulta altamente improbabile riuscire a proporre ipotesi reali sulla storia sismica di un territorio prendendo in considerazione solo un singolo caso di interesse. Piuttosto è dall'integrazione dei dati ricavati da molteplici evidenze in prossimità del contesto di pertinenza, che è possibile comprendeere

<sup>1</sup> <http://www.protezionecivile.gov.it/>.

re al meglio i danni riscontrati attraverso l'analisi della struttura materiale dello stesso, arrivando successivamente a delineare la sismicità dell'area di interesse. In questo senso è quindi da un'analisi territorialmente ampia, improntata sull'integrazione fra ricognizione e analisi stratigrafica, che emerge la storia sismica dei singoli contesti d'indagine e la risposta che questi hanno avuto ad ogni movimento tellurico che li ha interessati. Dalle evidenze emerse dall'analisi degli edifici, integrate alle indagini geologiche e sismologiche, è poi possibile proporre zonazioni sismiche per i singoli eventi tellurici, ovvero mappe elaborate con lo scopo di delineare le caratteristiche dei terremoti storici, utilizzate per la definizione della pericolosità delle aree indagate.

L'elaborazione di un Progetto Conoscitivo in fase preliminare di analisi del contesto di studio ha rappresentato un ulteriore punto di forza del processo archeosismologico descritto all'interno del libro. L'indagine archeologica in tal senso viene caratterizzata da una pianificazione a tavolino di ogni fase operativa prima della sua messa in opera, prevedendo diversi livelli di approfondimento che riguardano tutti processi di indagine che compongono il progetto; in questo modo vengono previste una corretta ed esaustiva registrazione e caratterizzazione di ogni caso studio, proponendo letture stratigrafiche per USM o fasi costruttive in base agli obiettivi prefissati e proponendo tipologie costruttive dalle tecniche individuate qualora lo si ritenga necessario. La taratura di ogni fase della ricerca archeologica appare dunque significativa nel processo di definizione, analisi ed interpretazione del contesto. Tali informazioni, integrate con i dati riportati dalle analisi proposte da altre discipline (sismologia, geologia, ingegneria ecc.), apportano quindi significativi contributi alla definizione della vulnerabilità dei singoli Complessi Architettonici.

Risulta poi indispensabile porre una riflessione approfondita sull'interpretazione del dato emerso dall'indagine archeologica e sulla sua trasmissione. Questo rappresenta infatti un punto nevralgico della ricerca che offre l'opportunità di instaurare da un lato un confronto e un'integrazione dei dati tecnico-storici elaborati con le altre discipline coinvolte nella prevenzione dell'edilizia storica dal rischio sismico e dall'altro un dialogo e una divulgazione dei risultati con il grande pubblico e con la committenza.

In linea generale le ricadute dell'applicazione del metodo archeosismologico ad un contesto a rischio sismico possono essere schematizzate nel modo seguente.

1. Dal punto di vista storico-archeologico i risultati possono essere letti in riferimento alla conoscenza del territorio e al 'fare storia'. Partendo quindi dall'analisi dei singoli edifici viene proposto un modello storico di riferimento per l'intera area campione, ricostruito attraverso il processo deduttivo che porta all'interpretazione dei metodi costruttivi individuati, nell'ottica di comprendere il ruolo dei soggetti attivi nel-

- le costruzioni (committenze e maestranze) e negli interventi operati in uno o più periodi storici e degli aspetti economico-politici e sociali che risiedono nelle scelte effettuate.
2. Nell'ambito dell'archeologia pubblica (Vannini 2011; Vannini *et al.* 2014: 183-196) importanti ricadute risiedono nel rapporto fra comunità e amministrazioni cittadine. L'analisi degli edifici in funzione della ricostruzione della storia sismica di un contesto di studio può essere infatti trasformata in uno strumento per sensibilizzare e rendere consapevole la popolazione che vive in un'area a rischio sismico della reale possibilità di fenomeni sismici futuri e dei possibili effetti che questi potrebbero avere sul patrimonio edificato. In accordo con le istituzioni, perciò potrebbero essere proposte visite guidate che integrino la storia costruttiva degli edifici con quella sismica, mostrando materialmente, sottoforma di racconto guidato, gli effetti dei terremoti storici sul contesto nei diversi periodi. Il processo appena descritto permette quindi di evitare il 'rischio dell'eccesso', ovvero da un lato sottovalutare il problema e dall'altro creare allarmismo.
  3. Nel campo della sismologia storica l'applicazione della stratigrafia come forma di analisi preventiva dell'edilizia storica a rischio sismico permette una migliore conoscenza dei terremoti storici avvenuti in un'area. I dati archeologici in questo caso vengono integrati a quelli sismologici e geologici in funzione della conoscenza della storia sismica, seguendo due vie principali: in primo luogo proponendo una possibile zonazione sismica (con particolare riferimento ad epicentro, cronologia ed effetto dei movimenti tellurici) per i terremoti antichi meglio documentati dalle fonti dirette ed indirette; in un secondo momento, la possibilità di integrare i dati ricavati dalla lettura archeologica di diversi contesti, ci permette di formulare ipotesi sull'attività sismica storica, con particolare riferimento all'individuazione di terremoti antichi non testimoniati dalle fonti scritte o comunque non geolocalizzati o troppo generici a livello cronologico e topografico.
  4. Nell'ottica del restauro e della conoscenza dei manufatti architettonici in aree a rischio sismico, la lettura archeologica della struttura materiale degli edifici consente di individuare e registrare cronotipologicamente i sistemi costruttivi tradizionali e antisismici (con particolare riferimento alle Culture Sismiche Locali) in funzione di una loro caratterizzazione (ricerca) e di una loro riproposizione come materiali compatibili agli interventi diretti sull'edilizia storica nei restauri attuali (tutela). Inoltre la stratigrafia offre la possibilità di datare in cronologia relativa o assoluta i singoli interventi di restauro e i danni per macroelementi connessi alle attività sismiche storiche.
  5. Dal punto di vista del corretto intervento la lettura stratigrafica permette una puntuale individuazione sia dei maschi murari che di quelli che potrebbero essere definiti 'punti deboli' di un edificio, come ad esempio

le interfacce fra diverse fasi costruttive o fra Unità Stratigrafiche, dove più facilmente si potrebbero manifestare i quadri fessurativi. Questi elementi permettono quindi in fase progettuale di conoscere il manufatto prima di intervenire su di esso, apportando elementi aggiuntivi a quelli in possesso. Il processo appena descritto risulta di fondamentale importanza ad esempio per formulare ipotesi sulle casistiche di danno atteso per un determinato tipo di struttura in un contesto geografico.

Questa combinazione di risultati fornisce quindi elementi utili alla ricostruzione storica e sismica del territorio, ed apporta un contributo essenziale all'analisi e alla comprensione dei molteplici aspetti (sociali, economici, politici, culturali ecc.) che caratterizzano i contesti di studio nei diversi momenti storici e le strutture architettoniche in esso comprese. Allo stesso tempo l'archeosismologia viene rivestita di un ruolo di primo piano in funzione di una esaustiva e corretta «Conoscenza del Manufatto», così come richiesto dalle Linee Guida ministeriali<sup>2</sup>. In tal senso il progetto in Mugello si sviluppa seguendo una direttrice multidisciplinare che integra il lavoro archeologico a quello di numerose discipline, ispirandosi e ponendosi in stretta relazione con le analisi proposte per il corretto intervento contenute nelle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale*. In particolare le analisi del contesto e dei singoli edifici analizzati, integrate con dati sismologici, geologici, geomorfologici, sismo-tettonici e così via, permettono di ottenere risultati in prospettiva di una «analisi storica degli eventi e degli interventi subiti»<sup>3</sup> costituendo poi la base per «il rilievo materico costruttivo e lo stato di conservazione»<sup>4</sup> degli stessi.

La ricerca in Mugello è stata dunque un primo passo nella valutazione del potenziale informativo esprimibile attraverso l'archeosismologia, una specializzazione che si pone come un settore a cavallo tra l'*archeologia leggera*, che integra a sistema attività non invasive, e l'*archeologia territoriale*, dalla quale eredita tutte le analisi extra-archeologiche e prettamente territoriali, e che, per la sperimentabilità della prassi metodologica utilizzata e per la complessità e la globalità dei risultati ottenuti, potrebbe forse essere considerata un settore disciplinare a tutti gli effetti.

<sup>2</sup> Capitolo 4 delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale* (MIBAC 2011).

<sup>3</sup> Paragrafo 4.1.5 delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale* (MIBAC 2011).

<sup>4</sup> Paragrafo 4.1.6 delle *Linee Guida per la Valutazione e Riduzione del Rischio Sismico del Patrimonio Culturale* (MIBAC 2011).

## Fonti inedite per il terremoto del 1542

### Archivio di Stato di Firenze

#### Capitani di Parte Guelfa, Numeri Neri:

*Perizia di Amerigo Medici sui danni ad una torre di Scarperia causati dal terremoto del 13 giugno 1542, 23 aprile 1597, filza 767, n. 25;*

*Copia di due lettere con le confessioni di alcuni testimoni nella causa di Lorenzo di Antonio Lorenzetti Cavallaro di Scarperia in merito alla Torre di Mirabello del Castello di Scarperia, aprile e maggio 1597, Capitani di Parte Guelfa, Numeri Neri, filza 767;*

*Supplica di Jacopo di Michele Mellai al Granduca di Toscana, filza 715, n. 109;*

*Supplica di Antonio di Lorenzo d'Alexo al Granduca di Toscana, filza 707, n. 23;*

*Supplica di Dianora di Geremia al Granduca di Toscana, filza 700, n. 100;*

*Supplica di Dianora di Geremia al Granduca di Toscana, Filza 700, n. 101;*

*Supplica di Girolamo di Cherubino Fortini al Granduca di Toscana, filza 702, n. 176.*

#### Carte Stroziane:

*Cronaca "Priorista" (1512-1542), serie II, filza 107;*

*Nota d'un Tremoto venuto nel Mugello sotto di 12 di giugno lo anno 1542 e le rovine da quello fatte, serie I, filza 353, cc.104-105.*

#### Corporazioni soppresse dal governo francese:

*Libro dei Partiti della SS. Annunziata, 119, 34, f.73r;*

*Elenco di spese sostenute per riparare i danni causati dal terremoto del 13 giugno 1542, San Barnaba di Scarperia, filza 252, n. 24.*

#### Mediceo del Principato:

*Lettera di Cosimo I de' Medici del 16 giugno 1542 a Giovanni Bandini, filza 4299, f.253r;*

*Lettera di N. Campano al Granduca di Toscana, filza 357, Bologna 20 giugno 1542.*

## 192 L'archeosismologia in architettura

### Senato dei Quarantotto:

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del podestà di Borgo San Lorenzo, filza 6, 19 gennaio 1543;*

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del podestà di Borgo San Lorenzo, filza 6, 18 marzo 1544;*

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del podestà di Borgo San Lorenzo, filza 6, 20 marzo 1549;*

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del vicario del Mugello, filza 6, 16 luglio 1545;*

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del vicario del Mugello, filza 6, 26 gennaio 1547;*

*Richiesta al Granduca di Toscana di fondi per poter restaurare la casa del podestà e la torre del castello di Vicchio, filza 6, 13 febbraio 1549.*

### Archivio di Stato di Pistoia

*Resoconto del Padre Sebastiano Vongeschi di Cutigliano sul terremoto del Mugello del 13 giugno 1542, Patrimonio Ecclesiastico, volume 270 F, cc. 98-99.*

### Archivio Parrocchiale dei Santi Jacopo e Antonio di Fivizzano in Lunigiana (Massa)

*Resoconto del terremoto del Mugello del 1542, Primo libro della Compagnia del SS. Sacramento (1481-1583).*

### Biblioteca Marciana di Venezia

*Anonimo, Una letra de la discriptione del terremoto che e stato in Toschana la qual narra particolarmente tutte le terre che son ruinate & le persone morte & li fochi aparsi in aere & la terra aperta & de vn lago fatto di acqua spuzolente di solfere la quantita e il numero de le case ruinate le qualcose furno adi 13 zugno 1542.*

### Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze

*Manoscritti, Fondo Conventi Soppressi, C.7.2614, Diario di tutti i casi seguiti in Firenze. Edifici di fabbriche, morte di grandi, feste ed altre cose, che alla giornata succedono tanto tragiche, che allegre. Raccolte dall'anno 1500 all'anno 1591, siegue sino al 1600 inclusive.*

## Fonti inedite per il terremoto del 1597

### Archivio di Stato di Firenze

Capitani di Parte Guelfa, Numeri Neri:

filza 771, n. 114;

filza 428, n. 209;

filza 427, n. 6;

filza 430, nn. 217 (x2);

filza 768, nn. 230 (x2), 36;

filza 426, nn. 346, 327, 62, 58;

filza 431, nn. 167;

filza 425, nn. 63, 64, 68, 88, 90, 97, 181, 294, 271, 204, 191;  
 filza 767, nn.68, 152.

*Biblioteca Nazionale Centrale di Firenze*

Manoscritti, Fondo Conventi Soppressi, C.7.2614, *Diario di tutti i casi seguiti in Firenze. Edifici di fabbriche, morte di grandi, feste ed altre cose, che alla giornata succedono tanto tragiche, che allegre. Raccolte dall'anno 1500 all'anno 1591, siegue sino al 1600 inclusive.*

Fonti inedite per il terremoto del 1919 e restauri successivi

*Soprintendenza per i Beni Architettonici, Paesaggistici, Storici, Artistici ed Etnoantropologici per le Province di Firenze, Pistoia e Prato*

Archivio Disegni:

Palazzo Pretorio di Scaperia: 57/7 tavole 8, 10, 11 e14;

Pieve di Borgo San Lorenzo: 34/5 tavole 1, 2 e 3.

Archivio Fotografico:

Chiesa di San Bonaventura al Bosco ai Frati: fotografie dei restauri del 1979;

Chiesa di San Gavino Adimari: fotografie del 1970;

Chiesa di Sant'Agata: fotografie dei restauri del 1963 e del 1967;

Chiesa di San Giovanni Maggiore: fotografie del 1962;

Palazzo dei Vicari di Scarperia: fotografie dei restauri del 1979 e del 1981.

Archivio Storico:

Chiesa di San Cassiano in Padule (A0817): *perizia di spese per la trasformazione della Chiesa di San Casciano in Padule, dallo stato attuale a quello previsto dal progetto redatto nel settembre 1948 dall'Arch. Nello Bemporad;*

Chiesa di San Cresci in Valcava (A0640): *perizia con disegno dell'11 maggio 1932 della R. Soprintendenza all'Arte Medioevale e Moderna della Toscana I, per la riparazione dei danni occorsi alla Chiesa di San Cresci in Valcava causati dal terremoto del 1919; progetto in 'brutta copia' per la riparazione della Chiesa di San Cresci in Valcava; relazione sull'avvenuta ricostruzione della Chiesa di San Cresci in Valcava del 21 marzo 1938;*

Chiesa di San Bonaventura al Bosco ai Frati (A0821): *perizia restauro Chiesa e Campanile Bosco ai Frati danneggiati dal terremoto 29 giugno 1919; relazione in 'brutta copia' sui danni occorsi alla Chiesa di San Bonaventura al Bosco ai Frati dopo il terremoto del 1919;*

Pieve di San Piero a Sieve (A0468): disegno del prospetto esterno 'Facciata della Chiesa' eseguito nel 1930;

Chiesa di San Giovanni Maggiore (A1031): relazione in 'brutta copia' dell'arch. Castellani in merito ai danni occorsi al campanile della Chiesa di San Giovanni Maggiore causati dal terremoto del 1919; relazione della Soprintendenza ai Monumenti di Firenze del 22 settembre 1919 sui danni causati dal terremoto al campanile della Chiesa di San Giovanni Maggiore;

- Pieve di Borgo San Lorenzo ((A0579): constatazione dei danni alla Chiesa Pievana di Borgo San Lorenzo causati dal terremoto del 1919; constatazione dei danni al campanile della Chiesa Pievana di Borgo San Lorenzo causati dal terremoto del 1919; *relazione sui lavori già eseguiti e proposte per la loro continuazione* della Soprintendenza ai Monumenti delle Provincie di Firenze, Arezzo e Pistoia, 2 marzo 1942;
- Palazzo dei Vicari di Scarperia (A0153): relazione della Soprintendenza ai Monumenti di Firenze del 21 luglio 1919 sui danni causati dal terremoto al Palazzo Vicariale di Scarperia.

#### Fonti edite

- Adriani G. (1583), *Istoria de' suoi tempi, divisa in libri ventidue con li sommari e tavola delle cose più notabili*, Firenze, pp. 261-263.
- Ammirato S. (1600), *Dell'istorie fiorentine libri venti dal principio della città infino all'anno 1434, parte seconda dal 1435 al 1573*, 2 voll., Firenze, pp. 464-465.
- Archivio della pieve di Sant'Agata, *Ricordi del pievano Tolomeo Nozzolini*, in Brunori Cianti L. (2011), *Sant'Agata: una santa, una pieve, una comunità del Mugello*, Firenze, pp. 77-106.
- Bardi G. (1581), *Sommario ovvero età del mondo Chronologiche (da Adamo fino al 1581)*, 4 voll., Venezia.
- Bonito M. (1691), *Terra tremante, o vero continuatione de' terremoti dalla Creatione del Mondo sino al tempo presente*, Napoli (ristampato nel 1980).
- Brocchi G.M. (1748), *Descrizione della provincia del Mugello*, Bologna (ristampa nel 1967).
- Buoni G.A. (1571), *Del terremoto*, Modena.
- Chini L. (1875), *Storia antica e moderna del Mugello*, Firenze (ristampa a Roma nel 1969 in due volumi dai quattro originariamente esistenti. La parte relativa al terremoto del 1542 si trova nel vol. III, Libro VII, pp. 203-217).
- De Mozzi M.A. (1710), *Storia di s. Cresci e de' ss. compagni martiri : e della chiesa del medesimo santo posta in Valcava del Mugello*, Firenze.
- Dolce L. (1572), *Giornale delle historie del mondo delle cose degne di memoria di giorno in giorno dal principio del mondo sino ai suoi tempi*, Venezia, p. 220.
- Fontani F. (1802), *Viaggio pittorico della Toscana dell'Abate Francesco Fontani*, vol. 2, Firenze.
- Landucci L. (1883), *Diario fiorentino dal 1450 al 1516. Continuato da un anonimo fino al 1542*, Firenze, p. 377.
- Lapini A. (1900), *Diario fiorentino dal 252 al 1596*, Firenze.
- Mecatti G.M., Muratori L.A. (1755), *Storia chronologica della città di Firenze o siano annuali della Toscana*, Firenze, p. 651.
- Pulinari D. (1580), *Cronica dei Conventi di Toscana*, in Romby G.C. (a cura di), *Relazione del Convento del Bosco di Mugello*, Firenze 1984, pp. 27-35.
- Segni B. (1857), *Istorie fiorentine dall'anno MDXXVII al MDLV*, Firenze, p. 407.
- Tarcagnola G. (1585), *Delle istorie del mondo, le quali contengono quanto dal principio del mondo è successo, fino all'anno 1513. Aggiunte di Mambrino Roseo da Fabriano*, 3 tomi, Venezia.

- Ughi G. (1565), *Relazione del Convento del Bosco di Mugello*, in Romby G.C. (a cura di), *Relazione del Convento del Bosco di Mugello*, Firenze 1984, pp. 12-24.
- Ughi G. (1849), *Cronica di Firenze dal 1501 al 1546*, «Archivio Storico Italiano», vol. 7, Firenze, pp. 214-215.

## Bibliografia

- Andreini M., De Falco A., Sassu M. (2012a), *Damage mechanisms as seismic transducers in historic centres: the example of San Pio delle Camere after 2009 earthquake in Abruzzo (Italy)*, Proceedings of 15th World Conference on "Earthquake Engineering" (24-28 September 2012), Lisboa, Portugal.
- Andreini M., De Falco A., Sassu M. (2012b), *Damage mechanisms in masonry buildings and peak ground acceleration during the 2009 earthquake in Abruzzo (Italy)*, Proceedings of 8th International Conference on "Structural Analysis of Historical Constructions" (15-17 October 2012), Wroclaw, Poland.
- Arrighetti A. (2012a), *Archeologia dell'architettura e rischio sismico. Proposta di procedimento operativo per l'analisi archeologica del costruito storico*, Atti del IV Convegno Nazionale dei Giovani Archeologi *Il futuro nell'archeologia. Il contributo dei giovani ricercatori* (Tuscania (VT) 12-15 maggio 2011), pp. 61-71.
- Arrighetti A. (2012b), *Tecnologie fotogrammetriche e registrazione 3D della struttura materiale: dal rilievo alla gestione dei dati*, «Archeologia e Calcolatori», XXIII, Firenze, pp. 251-264.
- Arrighetti A. (2013a), *Building Archaeology and seismic risk in the Mugello: from the collection of data to the documentaton of historical buildings*, Proceedings of the Congreso Internacional sobre Documentación, Conservación, y Reutilización del Patrimonio Arquitectónico *La Cultura del Restauro e della Valorizzazione. Temi e Problemi per un Percorso Internazionale di Conoscenza* (Madrid, 20-22 June 2013), pp. 269-276.
- Arrighetti A. (2013b), *Building Archaeology and Seismic Risk: the Mugello survey*, Proceedings of the "XVII International Conference on Cultural Heritage and New Technologies", Vienna (Austria) 5-7 November 2012, [http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook\\_CHNT17\\_Arrighetti.pdf](http://www.chnt.at/wp-content/uploads/eBook_CHNT17_Arrighetti.pdf).
- Arrighetti A. (2014), *Archeologia dell'Architettura e ricognizione di superficie nel comune di Sesto Fiorentino (FI)*, «Archeologia dell'Architettura», XVII, Firenze, pp. 51-64.
- Arrighetti A., Castelli V., Sessa M. (2013), *Sismicità e cinetiche di degrado strutturali. Il contributo dell'Archeologia dell'Architettura*, Atti del Convegno Internazionale di Studi *Conservazione e Valorizzazione dei siti archeologici* (9-12 luglio 2013), Bressanone, pp. 551-560.
- Arrighetti A., Cavalieri M. (2012), *Il rilievo fotogrammetrico per nuvole di punti RGB della "sala triabsidata" del sito archeologico di Aiano-Torraccia di Chiusi (San Gimignano-SI)*, «Archeologia e Calcolatori», XXIII, Firenze, pp. 21-33.
- Arrighetti A., Gilento P. (2012), *Dallo scavo all'edificio: esperienze di registrazione tridimensionale a confronto*, Atti del II Seminario Nazionale di Archeolo-

- gia Virtuale *La metodologia prima del software* (5-6 aprile 2011), Roma, pp. 50-68.
- Arrighetti A., Gilento P., Parenti R., Manganelli del Fà R., Tiano P. (2011), *L'innovazione nella registrazione della struttura materiale. La sperimentazione di tecniche di rilievo e monitoraggio di costo limitato*, Atti del Convegno Internazionale di Studi *Governare l'Innovazione* (21-24 giugno 2011), Bressanone, pp. 233-242.
- Baccini G. (1902a), *I terremoti in Mugello. Documenti e notizie*, «Giotto. Bollettino Storico Letterario Artistico del Mugello», anno I, n. 11, Firenze, pp. 163-174.
- Baccini G. (1902b), *San Giovanni Maggiore*, «Giotto. Bollettino Storico Letterario Artistico del Mugello», Anno I, nn. 8-9, Firenze, pp. 120-123.
- Ballardini R. (1998), *Il programma di attuazione delle ricerche universitarie. Obiettivi e aree tecnico-scientifiche di integrazione. Le proposte normative. Relazione generale*, in Ballardini R., Guccione M., *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica*, Atti del II Seminario Nazionale di Studio (Roma 9-10 Aprile 1997), Roma, pp. 71-79.
- Baracchini C., Fabiani F., Grilli R., Vecchi A. (2009), *SICaR wb, un Sistema Informativo per la progettazione, il monitoraggio e la condivisione delle attività di restauro: verso un network della conservazione*, Atti del Convegno di Studi *Scienza e Patrimonio Culturale nel Mediterraneo. Diagnostica e conservazione: esperienze e proposte per una Carta del Rischio*, Palermo.
- Baracchini C., Fabiani F., Grilli R., Vecchi A., Parenti R. (2011), *SICAR: evoluzione e nuove prospettive di un sistema informativo in rete, integrato e interoperabile per la gestione dei restauri*, Atti del Convegno Internazionale *Governare l'Innovazione: processi, strutture, materiali & tecnologie tra passato e futuro* (21-24 giugno 2011), Bressanone, pp. 287-298.
- Baracchini C., Fabiani F., Ponticelli P., Vecchi A. (2007), *Verso un sistema unico di riferimento per la documentazione di restauro: storia e sviluppi su SICaR w/b*, Atti del Convegno Internazionale di Studi *Sistemi Informativi per l'Architettura* (Portonovo (AN) 17-19 maggio 2007) Firenze, pp. 84-89.
- Baracchini C., Lanari P., Ponticelli P., Parenti R., Vecchi A. (2005), *SICaR: un sistema per la documentazione georeferenziata in rete*, Atti del Convegno di Studi *Sulle pitture murali. Riflessione, conoscenze, interventi* (Bressanone, 12-15 luglio 2005), pp. 735-747.
- Baratta M. (1901), *Terremoti d'Italia. Saggio di storia geografia e bibliografia sismica italiana con 136 sismocartogrammi*, Torino.
- Bellandi F., Rhodes D.E. (1987), *Il terremoto del Mugello del 1542 in un raro opuscolo dell'epoca*, Firenze.
- Bertocci S., Bini M. (2012), *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Firenze.
- Bessac J.C. (1986), *L'outillage traditionnel du tailler de pierre de l'antiquité à nos jours*, Parigi.
- Bianchi G. (2003a), *Cronotipologia delle tecniche costruttive*, in Bianchi G. (a cura di), *Campiglia. Un castello e il suo territorio*, Firenze, pp. 715-722.
- Bianchi G. (2003b), *Cronotipologia dell'edilizia abitativa*, in Bianchi G. (a cura di), *Campiglia. Un castello e il suo territorio*, Firenze, pp. 723-741.

- Bianchini M. (2008), *Manuale di rilievo e di documentazione digitale in archeologia*, Roma.
- Bianco A. (2012), *Mitigazione del rischio sismico per l'architettura storica. Una proposta di strategie integrate per la Calabria*, Roma.
- Binda L. (a cura di) (1999), *Caratterizzazione delle murature in pietra e mattoni ai fini dell'individuazione di opportune tecniche di riparazione*, Milano.
- Binda L., Baronio G., Penazzi D., Palma M., Tiraboschi C. (1999), *Caratterizzazione di murature in pietra in zona sismica: database sulle sezioni murarie e indagini sui materiali*, Atti del IX Convegno Nazionale ANIDIS L'ingegneria sismica in Italia, Torino.
- Boato A. (2008), *L'archeologia in architettura. Misurazioni, stratigrafie, datazioni, restauro*, Venezia.
- Boccaletti M., Corti G., Gasperini P., Piccardi L., Vannucci G., Clemente S. (2001), *Active tectonics and seismic zonation of the urban area of Florence, Italy*, Basel, pp. 2313-2332.
- Boldrini E., Parenti R. (1991) (a cura di), *Santa Maria della Scala. Archeologia e edilizia sulla piazza dello Spedale*, Firenze.
- Bonacchi C. (2009), *Archeologia Pubblica in Italia. Origini e prospettive di un 'nuovo' settore disciplinare*, «Ricerche Storiche», 2-3, pp. 329-350.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Gasperini P., Smriglio G., Valensise G. (1995), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, Bologna.
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Gasperini P., Valensise G. (1997), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*, Bologna.
- Bottari C. (2003), *Ancient constructions as markers of tectonic deformation and of strong seismic motions*, 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Grecia, pp. 761-765.
- Brogio G.P. (1988), *Archeologia dell'edilizia storica*, Como.
- Brogio G.P. (2007), *Dall'Archeologia dell'Architettura all'Archeologia della Complessità*, «Pyrenae», I, 38, pp. 7-38.
- Brogio G.P. (2008), *Procedure di documentazione e processi interpretativi dell'edilizia storica alla luce delle linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, «Archeologia dell'Architettura», XIII, Firenze, pp. 9-13.
- Brogio G.P., Cagnana A. (a cura di) (2012), *Archeologia dell'Architettura: metodi ed interpretazioni*, Firenze.
- Brogio G.P., Faccio P. (2010), *Stratigrafia e prevenzione*, «Archeologia dell'Architettura», XV, Firenze, pp. 55-63.
- Brunori Cianti L. (2011), *Sant'Agata: una santa, una pieve, una comunità del Mugello*, Firenze.
- Cagnoni G. (1996), *La documentazione del degrado e del dissesto nell'analisi stratigrafica degli elevati*, «Archeologia dell'Architettura», I, Firenze, pp. 65-68.
- Calzolari C.C. (1974), *Borgo San Lorenzo nel Mugello*, Firenze.
- Cámara L. (2010), *Estratigrafia, evolución estructural y restauración. El caso de la iglesia de Santa Eulalia en Marquinez (Alava)*, «Arqueología de la Arquitectura», 7, Madrid, pp. 225-260.

- Camassi R., Castelli V., Molin D., Bernardini F., Caracciolo C.H., Ercolani E., Postpischl L. (2011), *Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: eventi sconosciuti, rivalutati o riscoperti*, «Quaderni di Geofisica», 96, INGV, Roma.
- Cambi F. (2003), *Archeologia dei paesaggi antichi: fonti e diagnostica*, Roma.
- Cambi F., Terrenato N. (1994), *Introduzione all'archeologia dei paesaggi*, Roma.
- Carocchi F.C., Tocci C. (a cura di) (2010), *Antonino Giuffrè. Leggendo il libro delle antiche architetture. Aspetti statici del restauro. Saggi 1985-1997*, Roma.
- Castelli V. (2010), *Electric Soldani. Fashionable earthquake theories in late Eighteenth century Tuscany*, «Journal of the Siena Academy of Sciences», vol. 2, pp. 10-12.
- Castenetto S., Sebastiano M. (a cura di) (2004), *Mugello 29 giugno 1919. Sui luoghi del terremoto*, pubblicazione a cura della Regione Toscana e della Protezione Civile, Firenze.
- Cattari S., Curti E., Giovinazzi S., Lagomarsino S., Parodi S., Penna A. (2005), *Un modello meccanico per l'analisi di vulnerabilità del costruito in muratura a scala urbana*, Atti del XI Congresso Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia (Genova 25-29 gennaio 2004), Genova.
- Cecchi R., Gasparoli P., Podestà S. (2011), *Un approccio integrato per la valutazione delle condizioni di rischio*, «Ananke», LXIV, pp. 68-75.
- Ciampi G. (1987), *Il Libro Vecchio di Strade della Repubblica fiorentina*, Firenze.
- De Luca L. (2011), *La fotomodellazione architettonica. Rilievo, modellazione, rappresentazione di edifici a partire da fotografie*, Palermo.
- Di Giulio G., Azzara R.M., Cultrera G., Gimmarinaro M.S., Vallone P., Rovelli A. (2005), *Effect of Local Geology on Ground Motion in the City of Palermo, Italy, as Inferred from Aftershocks of the 6 September 2002 Mw 5.9 Earthquake*, «Bulletin of the Seismological Society of America», XCV, 6, pp. 2328-2341.
- Di Paquale S. (1986), *Architettura e terremoti. Il caso di Parma: 9 novembre 1983*, Parma.
- Di Pasquale S. (1996), *L'arte del costruire. Tra conoscenza e scienza*, Venezia.
- Docci M., Maestri D. (2009), *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*, Roma.
- Dogliani F. (1997), *Stratigrafia e restauro. Tra conoscenza e conservazione dell'architettura*, Trieste.
- Dogliani F. (2008), *Nel restauro. Progetti per le architetture del passato*, Venezia.
- Dogliani F., Mazzotti P. (a cura di) (2007), *Codice di pratica per gli interventi post-sisma 1996 della Regione Marche*, Ancona.
- Dogliani F., Moretti A., Petrini V. (a cura di) (1994), *Le chiese e il terremoto – Dalla vulnerabilità constatata nel terremoto del Friuli al miglioramento antisismico nel restauro, verso una politica di prevenzione*, Trieste.
- Dogliani F., Squissina A., Trovò F. (2011), *Aspetti intenzionali a entro piombo nell'edilizia civile*, in Dogliani F., Mirabella Roberti G. (a cura di), *Venezia. Forme della costruzione, forme del dissesto*, Venezia, pp. 161-172.
- Donatelli A. (2010), *Terremoto e architettura storica. Prevenire l'emergenza*, Roma.
- Evans A.J. (1928), *The Palace of Minos at Knossos II*, London.

- Fabiani F., Grilli R. (2010), *Nuove tecnologie per la documentazione dei cantieri di restauro in rete: San Pietro in Vinculis nel Sistema informativo SICaR wb*, in Armani A. (a cura di), *Il restauro di San Pietro in Vinculis a Pisa*, Pontedera, pp. 199-213.
- Faccio P., Masciangelo L., Zeka Lorenzi F. (1997), *Potenzialità applicative dell'analisi stratigrafica. Ricostruzione di una possibile storia meccanica di un edificio storico*, «Archeologia dell'Architettura», II, Firenze, pp. 53-61.
- Felici A. (2006), *Le impalcature nell'arte e per l'arte. Palchi, ponteggi, tralicci e armature per la realizzazione e il restauro delle pitture murali*, Firenze.
- Ferrari G., Molin D. (1985), *Campo macrosismico del terremoto del 13 giugno 1542*, Atti del IV Convegno annuale del GNGTS, Roma, I, pp. 373-386.
- Ferrigni F. (1989), *San Lorenzello: alla ricerca delle anomalie che proteggono*, Napoli.
- Ferrigni F., Helly B. (a cura di) (1990), *Protection du patrimoine bâti dans les zones à risques sismiques: analyses et interventions*, PACT 28, Ravello.
- Ferrigni F., Helly B., Mauro A., Mendes Victor L., Pierotti P., Rideaud A., Teves Costa P. (2005), *Ancient Building and earthquakes. The Local Seismic Culture approach: principles, methods, potentialities*, Bari.
- Ferrigni F., Helly B., Rideaud A. (1993), *ATLAS of Local Seismic Cultures. How to reduce the vulnerability of the built environment by re-discovery and re-evaluating Local Seismic Cultures*, EUCCH (European University Centre for Cultural Heritage, Ravello, Italy), Naples, pp. 1-8.
- Fiches J.-L., Helly B., Levret A. (1997), *Archéologie et sismicité. Autour d'un grand monument, le Pont du Gard*, Actes de Journées d'étude (Nîmes 9-10 février 1995), APDCA.
- Fiorani D. (1996a), *Tecniche costruttive murarie medievali: il Lazio meridionale*, Roma.
- Fiorani D. (1996b), *Le tecniche costruttive murarie medievali del Basso Lazio. Metodo e percorsi di una ricerca*, in Della Torre S. (a cura di), *Storia delle tecniche murarie e tutela del costruito. Esperienze e questioni di metodo*, Milano, pp. 97-112.
- Fiorani D. (2009), *Edifici storici, stratificazioni e danni nell'aquilano, una panoramica*, «Arkos», XX, luglio-settembre, pp. 8-17.
- Francovich R. (1974), *Per la storia dell'insediamento mugellano: il caso di Ascianello*, «Archeologia Medievale», I, Firenze, pp. 57-79.
- Francovich R., Parenti R. (a cura di) (1988), *Archeologia e Restauro dei monumenti*, I Ciclo di Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia, Certosa di Pontignano (SI), 28 settembre-10 ottobre 1987, Firenze.
- Frediani P., Manganelli del Fà R., Riminesi C. (2010), *Micro-fotogrammetria: una tecnica non invasiva per il monitoraggio degli interventi di conservazione*, «Arkos», XXIV, pp. 72-74.
- Galadini F., Ceccaroni E., Falcucci E. (2010), *Archaeoseismological evidence of a disruptive Late Antiquae earthquake at Alba Fucens (central Italy)*, «Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata», LI, 2-3, pp. 143-161.
- Galadini F., Hinzen K.G., Stiros S. (2006), *Archaeoseismology: Methodological issues and procedure*, «Journal of Seismology», 10, pp. 395-414.
- Gallina D. (2012), *Sillogismo deduttivo o abduzione? Alcune proposte per l'abbandono/superamento del Matrix di Harris nell'analisi dell'architettura*, in Redi F.,

- Forgione A. (a cura di), *Atti del VI Congresso degli Archeologi Medievisti Italiani* (L'Aquila, 12-15 settembre 2012), Firenze, pp. 75-81.
- Gilento P. (2012), *Fotogrammetria, nuvola di punti e rischio sismico. Applicazioni e riflessioni su una metodologia di rilievo*, «Archeologia e Calcolatori», XXIII, Firenze, pp. 299-310.
- Giovannozzi P.G. (1895), *I terremoti storici Mugellani*, «Le serate italiane», 15, Firenze, pp. 3-10.
- Giovinazzi S., Lagomarsino S. (2001), *Una metodologia per l'analisi di vulnerabilità sismica del costruito*, *Atti del X Congresso Nazionale L'ingegneria Sismica in Italia* (Potenza-Matera 9-13 settembre 2001), Potenza.
- Giuffrè A. (1988), *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Roma.
- Giuffrè A. (1991), *Lecture sulla meccanica delle murature storiche*, Roma.
- Giuffrè A. (1993), *Sicurezza e conservazione dei centri storici. Il caso di Ortigia*, Bari.
- Groupe APS (2002), *Archéosismicité & Sismicité historique. Contribution à la connaissance et à la définition du risque*, *Actes des Ve Rencontres du Groupe APS*, Perpignan, avril 2000.
- Groupe APS (2008), *Archéosismicité & Vulnérabilité. Patrimoine bâti et société*, *Actes des VIe et VIIe Rencontres du Groupe APS*, Perpignan.
- Guccione M., Nappi M.R., Recchia A. (1998), *Patrimonio culturale e disastri. L'impatto del sisma sui beni monumentali. Prospettive di prevenzione*, Roma.
- Guidoboni E. (1987), «Delli rimedi contra terremoti per la sicurezza degli edifici»: la casa antisismica di Pirro Ligorio (Sec. XVI), in AA. VV., *Tecnica e società nell'Italia dei secoli XII-XVI*, *Atti dell'XI convegno internazionale* (Pistoia 28-31 ottobre 1984), Pistoia, pp. 215-228.
- Guidoboni E. (a cura di) (1989), *I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea. Storia, Archeologia, Sismologia*, Bologna.
- Guidoboni E. (1990), *Paesaggi seminascosti: sismicità e disastri sismici in Italia*, in Caracciolo A., Bonacchi G. (a cura di), *Il declino degli elementi. Ambiente naturale e rigenerazione delle risorse nell'Europa moderna*, Bologna, pp. 205-237.
- Guidoboni E. (2009), *Gli ingegneri del granduca di Toscana e i terremoti del Seicento: una nota sull'eredità dell'osservare e del descrivere*, in D'Agostino S. (a cura di), *Atti del II Convegno Nazionale "Storia dell'Ingegneria"*, Napoli 7-9 Aprile 2008, pp. 971-980.
- Guidoboni E., Comastri A. (2005), *Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*, Bologna.
- Guidoboni E., Ferrari G. (1995), *Historical cities and earthquakes: Florence during the last nine centuries and evaluations of seismic hazard*, «Annali di Geofisica», XXXVIII, 5-6, pp. 617-647.
- Guidoboni E., Ferrari G. (2000), *The effects of earthquakes in historical cities: the peculiarity of the Italian case*, «Annali di Geofisica», XLIII, 4, August, pp. 667-686.
- Guidoboni E., Santoro Bianchi S. (1995), *Collapses and seismic collapses in archaeology: proposal for a thematic atlas*, «Annali di Geofisica», XXXVIII, 5-6, pp. 1013-1017.
- Helly B. (1995), *Local Seismic Cultures: a European research program for the protection of traditional housing stock*, «Annali di Geofisica», vol. XXXVIII, n.5-6, November-December, pp. 791-794.

- Karcz I., Kafri U. (1978), *Evaluation of supposed archaeoseismic damage in Israel*, «Journal of Archaeological Science», n. 5, pp. 237-253.
- Lagomarsino S. (1998), *Sicurezza e conservazione delle chiese in zona sismica*, Genova.
- Lagomarsino S. (1999), *Dal rilievo del danno alla programmazione degli interventi di recupero delle chiese: la scheda del G.N.D.T. alla prova*, Atti del Convegno Beni storico-artistici e terremoto: l'impegno dell'Università tra formazione e ricerca, Università di Roma La Sapienza, 7 luglio 1998.
- Lagomarsino S. (2000), *Metodologie per il rilievo del danno sismico e programmazione degli interventi di recupero*, in AA.VV., *Patrimonio Storico Architettonico e Terremoto: diagnosi ed interventi di recupero*, Teramo, pp. 43-54.
- Lagomarsino S. (2009), *Vulnerabilità e risposta sismica delle chiese aquilane: interpretazione del danno e considerazioni sul miglioramento strutturale*, «Arkos», 20, luglio-settembre, pp. 30-37.
- Lagomarsino S., Boato A. (2010), *Stratigrafia e statica*, «Archeologia dell'Architettura», XV, Firenze, pp. 47-53.
- Lagomarsino S., Podestà S. (1999), *Metodologie per l'analisi di vulnerabilità delle chiese*, Atti del 9° Convegno Nazionale *L'ingegneria sismica in Italia* (Torino, 20-23 settembre 1999).
- Lanciani R. (1917), *Segni di terremoti negli edifizii di Roma antica*, «Bullettino della Commissione Archeologica Comunale di Roma», XLV, Roma, pp. 3-28.
- Lapucci C., Pacciani S. (a cura di) (1997), *Zibaldone del P. Matteo Pinelli Priore di Cerliano*, Firenze.
- Lenci S., Quagliarini E., Piattoni Q. (2011), *Ingegneria e archeologia. Dalla planimetria di scavo alla terza dimensione dell'elevato*, Roma.
- Leonardi G. (1992), *Il deposito archeologico: bacini, processi formativi e trasformativi*, in Leonardi G. (a cura di), *Processi formativi della stratificazione archeologica*, Atti del Seminario Internazionale *Formation processes and excavation methods in Archaeology: perspectives* (Padova 15-27 luglio 1991), Padova, pp. 13-41.
- Liberatore D., Gambarotta L., Beolchini G.C., Binda L., Magenes G., Cocina S., Lo Giudice E., Scuderi S. (2000), *Tipologie edilizie in muratura del comune di Catania*, in Liberatore D. (a cura di), *Progetto Catania: indagine sulla risposta sismica di due edifici in muratura*, Roma, pp. 3-22.
- Locati M., Camassi R., Stucchi M. (2011), *DBMI11, the 2011 version of the Italian Macroseismic Database*, Milano, Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>).
- Magna L. (1982), *Gli Ubaldini del Mugello: una signoria feudale nel contado fiorentino*, in *I ceti dirigenti dell'età comunale nei secoli XII e XIII*, Atti del II Convegno (Firenze 14-15 dicembre 1979), Pisa, pp. 13-65.
- Manacorda D. (2004), *Prima lezione di archeologia*, Roma-Bari.
- Manganelli del Fà R., Pallecchi P., Rescic S., Riminesi C., Tiano P. (2011), *Monitoraggio dei parametri ambientali e dello stato di conservazione dei manufatti lapidei*, «Arkos», 28, pp. 63-67.
- Mannoni T. (1988), *Archeologia della produzione*, in Francovich R., Parenti R. (a cura di), *Archeologia e restauro dei monumenti, I Ciclo di lezioni sulla ricerca*

- applicata in archeologia*, Certosa di Pontignano-Siena, settembre-ottobre 1987, Firenze, pp. 403-420.
- Mannoni T. (1994), *Caratteri costruttivi dell'edilizia storica*, «Venticinque anni di archeologia globale», 3, Genova, pp. 3-270.
- Mannoni T. (1995a), *Venticinque anni di archeologia globale*, 5 voll., Genova.
- Mannoni T. (1995b), *Insedimenti abbandonati. Archeologia medievale*, «Venticinque anni di archeologia globale», 2, Genova, pp. 3-263.
- Mannoni T. (1997), *Il problema complesso delle murature storiche in pietra 1. Cultura materiale e cronotipologia*, «Archeologia dell'Architettura», II, Firenze, pp. 15-24.
- Mannoni T. (2005), *Archeologia della produzione architettonica. Le tecniche costruttive*, «Arqueologia de la Arquitectura», 4, Madrid, pp. 11-19.
- Mannoni T., Cicirello C. (1998), *Atlante dei tipi costruttivi murari dell'Italia Settentrionale*, in Ballardini R., Guccione M., *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica*, Atti del II Seminario Nazionale di Studio (Roma 9-10 Aprile 1997), Roma, pp. 87-99.
- Mannoni T., Crusi E. (1989), *Analisi stratigrafica del costruito*, «Restauro: la ricerca progettuale», Padova, pp. 197-208.
- Marchetti E., Ripepe M., Picone C.R., Casagli N. (2003), *Studio degli effetti di sito nel bacino del Mugello (FI)*, Atti del I Congresso Nazionale dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata e Ambientale, 19-20 Febbraio 2003, Chieti.
- Marcotulli C. (2012), *L'analisi stratigrafica muraria e il terremoto: storia sismica degli edifici del "quarto" di S. Giovanni nella città dell'Aquila (XIV-XVIII secolo)*, in Redi F., Forgione A. (a cura di), *Atti del VI Congresso degli Archeologi Medievisi Italiani (L'Aquila, 12-15 settembre 2012)*, Firenze, pp. 769-774.
- Marino F., Moretti A. (2007), *La conservazione del patrimonio architettonico: buone pratiche per l'analisi di vulnerabilità sismica e del debito manutentivo*, Ancona.
- MIBAC (2010), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale*, Roma.
- MIBAC (2011), *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale allineate alle nuove norme tecniche per le costruzioni (d.m. 14 gennaio 2008)*, Roma.
- Molin D., Bernardini F., Camassi R., Caracciolo C.H., Castelli V., Ercolani E., Postpischl L. (2008), *Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: revisione della sismicità minore del territorio nazionale*, «Quaderni di Geofisica», 57, INGV, Roma.
- Monti A., Pruno E. (a cura di) (2012), *Tra Montaccianico e Firenze: gli Ubaldini e la Città*, Atti del Convegno di Studi (Firenze-Scarperia 28-29 settembre 2012), Oxford.
- Noller J. (2001), *Archaeoseismology: Shaking Out the History of Humans and Earthquakes*, «Earth Sciences and Archaeology», New York, pp. 143-170.
- Nucciotti M. (2007), *Analisi stratigrafiche degli elevati [a Shawbak-Giordania]: primi risultati*, in Vannini G. (a cura di), *Archeologia dell'insediamento crociato-ayyubide in transgiordania. Il Progetto Shawbak*, Firenze, pp. 27-55.
- Nucciotti M. (a cura di) (2008), *Atlante dell'edilizia medievale, Inventario, I.1, Arcidosso*, Firenze ([www.retimedievali.it](http://www.retimedievali.it)).

- Paolini C. (2005), *Tradizione costruttiva e terremoto. L'edilizia storica a Cosenza*, Roma.
- Parenti R. (1985), *La lettura stratigrafica delle murature in contesti archeologici e di restauro architettonico*, «Restauro&Città», II, 1, pp. 55-68.
- Parenti R. (1987), *Una proposta di classificazione tipologica delle murature postclassiche*, in Biscontin G., Angeletti R. (a cura di), *Conoscenze e sviluppi teorici per la conservazione di sistemi tradizionali in muratura*, Atti del Convegno di Studi (Bressanone 23-26 giugno 1987), Bressanone, pp. 49-61.
- Parenti R. (1988a), *Le tecniche di documentazione per una lettura stratigrafica dell'elevato*, in Francovich R., Parenti R. (a cura di), *Atti del Convegno Archeologia e Restauro dei monumenti*, Certosa di Pontignano, Firenze, pp. 249-279.
- Parenti R. (1988b), *Sulla possibilità di datazione e classificazione delle murature*, in Francovich R., Parenti R. (a cura di), *Atti del Convegno Archeologia e Restauro dei monumenti*, Certosa di Pontignano, Firenze, pp. 280-304.
- Parenti R. (1992), *Fonti materiali e lettura stratigrafica di un centro urbano: i risultati di una sperimentazione non tradizionale*, «Archeologia Medievale», XIX, Firenze, pp. 7-62.
- Parenti R. (2002), *Dalla stratigrafia all'archeologia dell'architettura. Alcune recenti esperienze del laboratorio senese*, «Arqueologia de la Arquitectura», 1, Madrid, pp. 73-82.
- Parenti R., Vecchi A., Gilento P. (2010), *Archeologia dell'Architettura e rischio sismico*, «Archeologia dell'Architettura», XIII, Firenze, pp. 15-28.
- Pecchioni E., Fratini F., Cantisani E. (2008), *Le malte antiche e moderne tra tradizione e innovazione*, Bologna.
- Peduto P., Saccone T. (1998), *Atlante dei tipi costruttivi murari nell'Italia meridionale*, in Ballardini R., Guccione M., *La protezione del patrimonio culturale. La questione sismica*, Atti del II Seminario Nazionale di Studio (Roma 9-10 Aprile 1997), Roma, pp. 101-111.
- Pierotti P. (2003), *Manuale di Sismografia Storica. Lunigiana e Garfagnana*, Pisa.
- Pierotti P., Ulivieri D. (2001), *Culture sismiche locali*, Pisa.
- Pirillo P. (2004), *Signorie dell'Appennino tra Toscana ed Emilia Romagna alla fine del Medioevo*, in Cengarle F., Chittolini G., Varanini G.M. (a cura di), *Poteri signorili e feudali nelle campagne dell'Italia settentrionale fra Tre e Quattrocento: fondamenti di legittimità e forme di esercizio*, Atti del Convegno di Studi (Milano, 11-12 aprile 2003), Firenze 2004, pp. 2-15.
- Plesner J. (1938), *Una rivoluzione stradale del Dugento*, Kopenaghen.
- Postpischl D. (1985) *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980. Quaderni della Ricerca scientifica*, 114, Bologna, pp. 239.
- Redi F., Forgiione A., Romiti E. (2012), *Rilevamento dell'edilizia storica e valutazione del danno sismico all'Aquila e territorio prima e dopo il 6 aprile 2009*, in Redi F., Forgiione A. (a cura di), *Atti del VI Congresso degli Archeologi Medievisti Italiani* (L'Aquila, 12-15 settembre 2012), Firenze, pp. 770-775.
- Regione Toscana (2010), *Documento conoscitivo del rischio sismico 2010*, Legge regionale 16 ottobre 2009 n. 58, *Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico*, Articolo 4.

- Rideaud A., Levret A. (2000), *Traces de séismes historiques sur le bâti ancien en moyenne Durance: Beaumont-de-Pertuis*, «Archéosismicité et Vulnérabilité du Bâti Ancien», a cura di Marichal R., Actes des IV<sup>e</sup> Rencontres du Groupe APS, Perpignan, 1999, pp. 39-64.
- Rhodes D. (1992), *Ulteriori ricerche bibliografiche sul terremoto del Mugello, 1542*, «La Bibliofilia», 94, libro 3, pp. 281-283.
- Romby C.G. (a cura di) (1995), *Costruttori e maestranze edilizie della Toscana medievale. I grandi lavori del contado fiorentino (secolo XIV)*, Firenze.
- Romby C.G. (a cura di) (2006), *Scarperia 700 anni: da Terra Nuova a Vicariato del Mugello*, Firenze.
- Romby C.G., Diana E. (1985), *Una terra nuova nel Mugello: Scarperia. Popolazione, insediamenti, ambiente, XIV-XVI secolo*, Scarperia.
- Rovida A., Camassi R., Gasperini P., Stucchi M. (2011), *CPTI11, la versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*, Milano-Bologna (<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).
- Santoro Bianchi S. (1996), *Dalla sismologia storica all'archeosismologia*, OCNUS, «Quaderni della scuola di specializzazione in archeologia», n. 4, pp. 239-248.
- Schenk G.J. (2010), *Dis-Astri. Modelli interpretativi delle calamità naturali dal Medioevo al Rinascimento*, in Matheus M., Piccinni G., Pinto G., Varanini G.M. (a cura di), *Le calamità ambientali nel Tardo Medioevo europeo: realtà, percezioni, reazioni*, Firenze, pp. 23-75.
- Sterpos D. (1961), *Comunicazioni stradali attraverso i tempi: Bologna-Firenze*, Novara.
- Stiros S.C. (1995), *Archaeological evidence of antiseismic construction in antiquity*, «Annali di Geofisica», XXXVIII, November-December, pp. 725-736.
- Stiros S.C., Jones R.E. (a cura di) (1996), *Archaeoseismology*, British School at Athens, Fitch Lab. Occasional Paper, n. 7.
- Tabales Rodríguez M.A. (2002), *Arqueología y rehabilitación en Sevilla. Desarrollo metodológico y práctico*, «Arqueología de la Arquitectura», 1, Madrid, pp. 193-206.
- Tiano P., Tapete D., Matteini M., Ceccaroni F. (2008), *The microphotogrammetry: a new diagnostic tool for on site monitoring of monumental surfaces*, in *Proceedings International Workshop SMW08* (Firenze 27-29 ottobre 2008), Firenze, pp. 97-106.
- Torsello P.B. (1988), *La materia del restauro. Tecniche e teorie analitiche*, Venezia.
- Vanni Desideri A. (2001), *Apprestamenti di consolidamento dopo un sisma tardomedievale. Il campanile della chiesa di San Lorenzo a Signa (Firenze)*, in De Minicis E. (a cura di), *I laterizi in età medievale. Dalla produzione al cantiere*, Atti del Convegno Nazionale di Studi (Roma 4- 5 giugno 1998), Roma, pp. 168-177.
- Vannini G. (2009), *Fra 'archeologia leggera' e rilievo architettonico: l'esperienza della missione archeologica dell'Università di Firenze in Terrasanta*, in Bertocci S., Bini M. (a cura di), *Castelli medievali a Petra e nel vicino oriente tra rilievo e archeologia*, Atti del Convegno (Firenze, 5-6 febbraio 2004), Firenze, pp. 33-42.

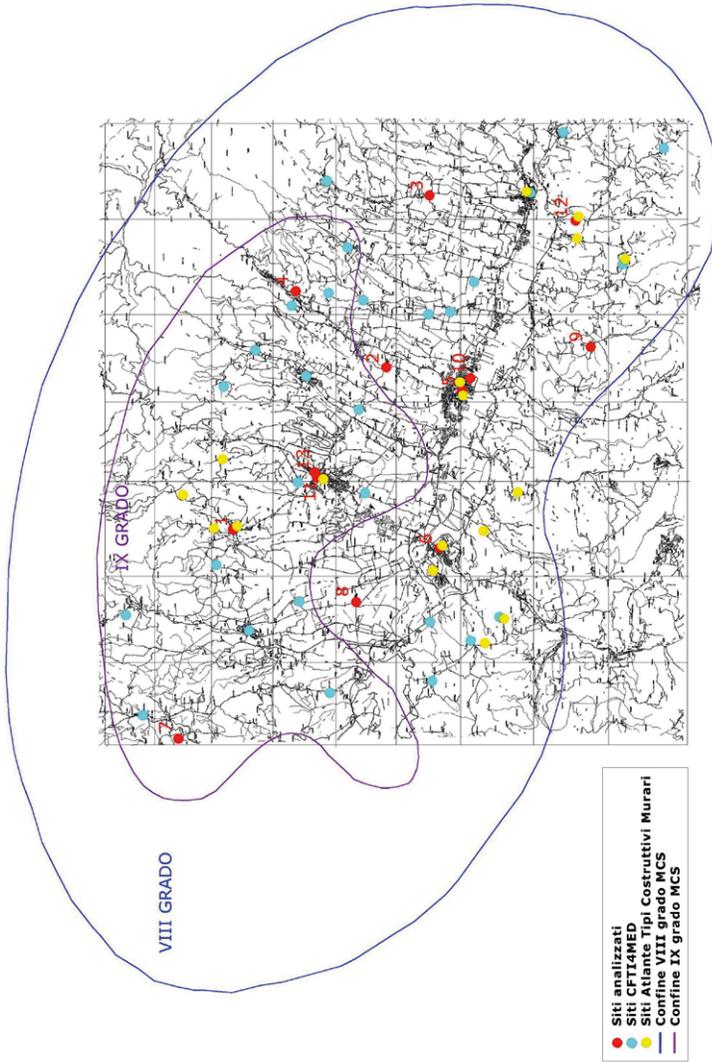
- Vannini G. (a cura di) (2011), *Archeologia Pubblica in Toscana: un progetto e una proposta*, Atti del workshop, Firenze 12 luglio 2010, Coll. "Archeologia Pubblica", n. 1, Firenze.
- Vannini G., Bonacchi C., Nucciotti M. (2014), *Archeologia medievale e Archeologia Pubblica*, in Gelichi S. (a cura di), *Quarant'anni di Archeologia Medievale in Italia. La rivista, i temi, la teoria e i metodi*, «Archeologia Medievale», XL, pp. 183-196.
- Vannini G., Nucciotti M. (2011), *Light and Public! International projects and research by the Florence Chair of Medieval Archaeology*, in *Safeguard of cultural heritage: a challenge from the past for the Europe of tomorrow*, Cost strategic workshop (July 11th-13th, 2011, Florence), Florence, pp. 44-45.
- Vannini G., Nucciotti M. (2012), *Light archaeology and territorial analysis: perspectives and experiences of the Italian medievalist school*, in *III Forum Architecturae Poloniae Medievales*, Krakow (in corso di stampa).
- Vannini G., Nucciotti M., Leporatti S., Donato E. (2003), *Archeologia dell'edilizia storica e costruzione del documento archeologico. Problemi di popolamento mediterraneo*, in *Arqueologia de la Arquitectura. Definicion diciplinar y nuevas perspectivas* (Seminario Internacional, 18-20 de febrero de 2002, Vitoria-Gasteiz), «Arqueologia de la Arquitectura», 2, pp. 249-254.
- Volpe G. (2008), *Per una 'Archeologia Globale dei Paesaggi' della Daunia. Tra archeologia, metodologia e politica dei beni culturali*, in *Storia e archeologia della Daunia*, Atti delle giornate di studio (Foggia 2005), a cura di Volpe G., Strazzulla M.J., Leone D., Bari, pp. 447-462.
- Zagnoni R. (2004), *I conti Cadolingi nella montagna bolognese (secoli X-XII)*, in Zagnoni R., *Il Medioevo nella montagna tosco-bolognese, uomini e strutture in una terra di confine*, Porretta Terme, pp. 321-344.



## TAVOLE A COLORI



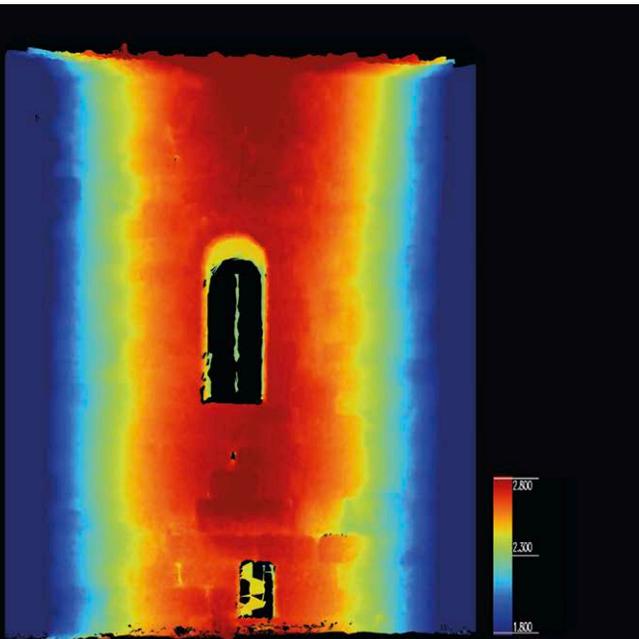
Tavola 1



La Carta Tecnica Regionale dell'area del Mugello con indicati: i limiti dell'VIII grado (linea blu) e del IX grado (linea viola) di Intensità Stimata per il terremoto del 1542 (FERRARI-MOLIN 1985); i siti inseriti all'interno del Catalogo dei Forti Terremoti d'Italia (punto ciano) (BOSCHI et al. 1997); i siti inseriti all'interno dell'Atlante dei Tipi Murari dell'Italia Centrale (punto giallo); i 13 siti sottoposti ad analisi archeoisimologica (punto rosso).

Tavola 2

**Digital Elevation Model dell'abside della Pieve di San Cassiano in Padule (FI).**  
L'immagine permette di caratterizzare con precisione, attraverso il cambiamento di colore, lo scorrimento dei conci nella parte centrale del prospetto.



**Modello in nuvola di punti RGB con UCS di riferimento (colore verde), DEM e comparazione di profili di sezione relativi ad acquisizioni effettuate nei periodi di settembre 2011 e settembre 2012 di una lesione presente nella Pieve di San Gavino Adimari (FI).**

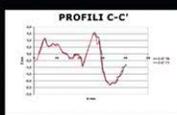
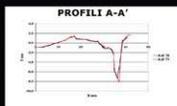
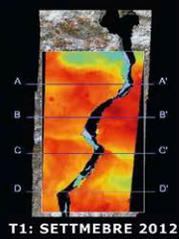
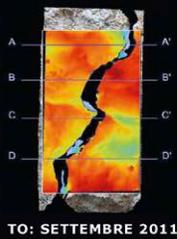
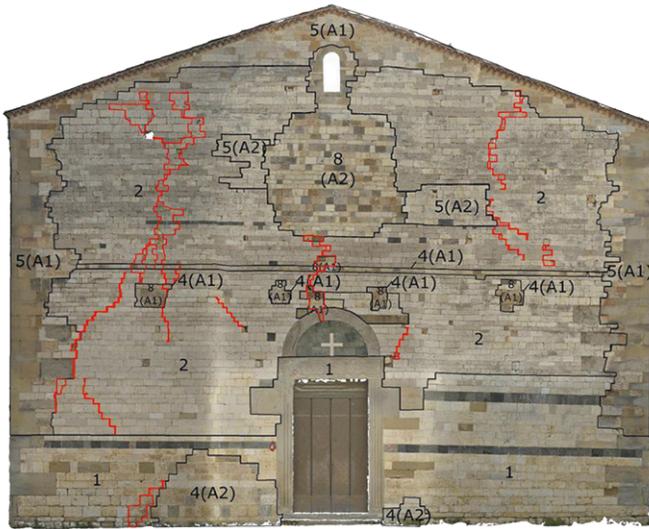


Tavola 3



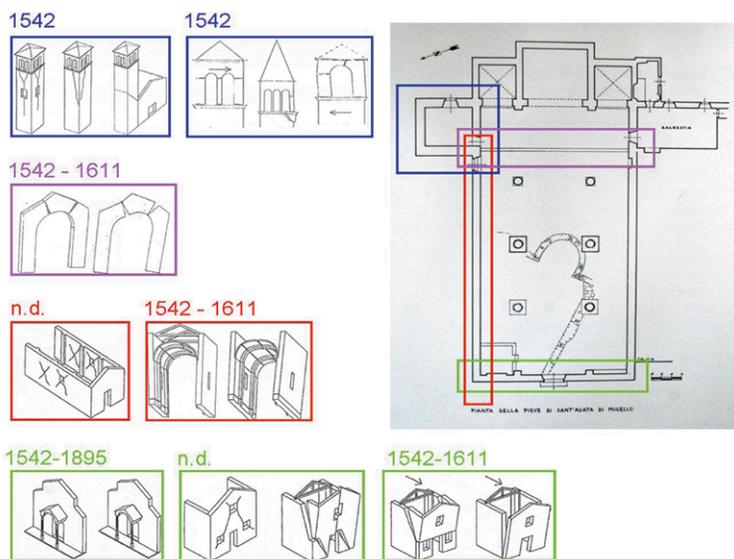
**Lettura stratigrafica e caratterizzazione del quadro fessurativo della facciata della Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI).**



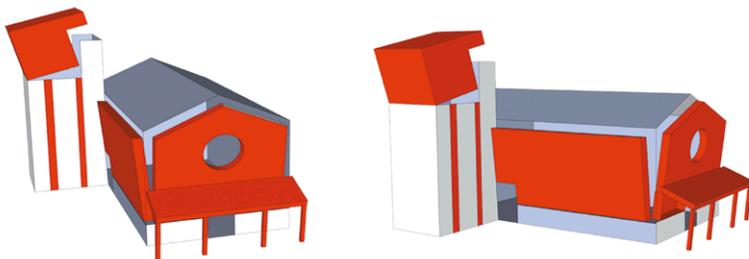
**Lettura stratigrafica e caratterizzazione periodizzata del quadro fessurativo del prospetto sud della chiesa di San Francesco a Borgo San Lorenzo (FI). Le lesioni ai margini del prospetto di colore verde sono riferibili ad un periodo anteriore al 1542; quelle verticali nel centro del paramento di colore blu si riferiscono al terremoto del 1542; quelle nei pressi del tetto di colore giallo appartengono al terremoto del 1919.**

## 212 L'archeosismologia in architettura

### Tavola 4

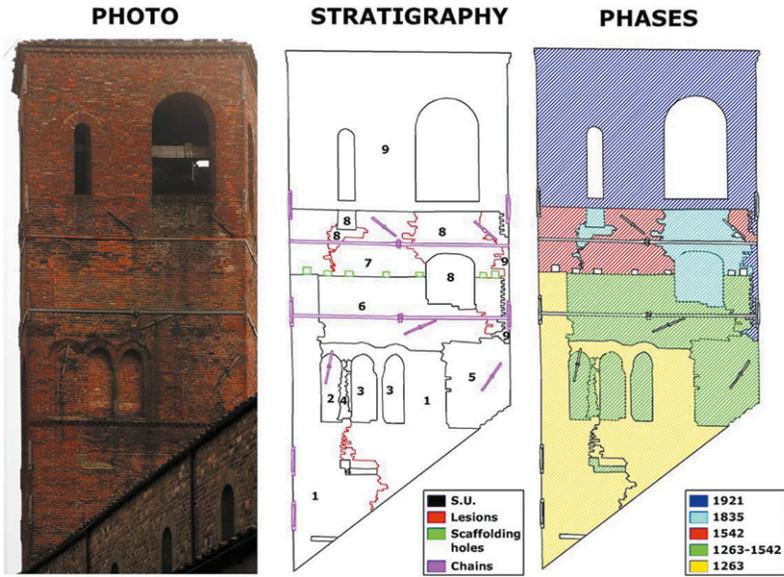


**Pianta della Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI) con individuazione dei principali meccanismi di danno relativi a fenomeni sismici storici.**

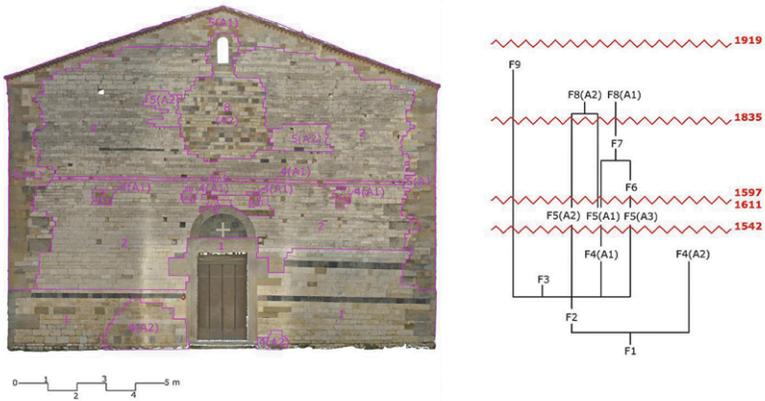


**Schematizzazione dei meccanismi di danno attivati dai fenomeni sismici dal 1542 al 1611 sulla Pieve di Sant'Agata del Mugello (FI). In particolare i cinematicismi riscontrati sono i seguenti: ribaltamento della facciata; distacco del portico; ribaltamento del prospetto laterale; crollo delle angolate e di parte del tetto; crollo della cella campanaria; lesioni verticali sul prospetto ovest della torre campanaria.**

Tavola 5



Foto, lettura stratigrafica per Fasi costruttive e periodizzazione delle fasi identificate del prospetto ovest del campanile della Pieve di San Lorenzo a Borgo San Lorenzo.



Lettura stratigrafica per Fasi Costruttive ed Attività del prospetto ovest della Pieve di Sant'Agata del Mugello e diagramma stratigrafico con l'inserimento degli eventi sismici che hanno caratterizzato la sua storia.

Tavola 6



Pianta con l'individuazione delle evidenze probabilmente riferibili al terremoto del XIII secolo e la loro stretta relazione con l'orientamento dell'Etrurian Fault System.

STRUMENTI  
PER LA DIDATTICA E LA RICERCA

1. Brunetto Chiarelli, Renzo Bigazzi, Luca Sineo (a cura di), *Alia: Antropologia di una comunità dell'entroterra siciliano*
2. Vincenzo Cavaliere, Dario Rosini, *Da amministratore a manager. Il dirigente pubblico nella gestione del personale: esperienze a confronto*
3. Carlo Biagini, *Information technology ed automazione del progetto*
4. Cosimo Chiarelli, Walter Pasini (a cura di), Paolo Mantegazza. *Medico, antropologo, viaggiatore*
5. Luca Solari, *Topics in Fluvial and Lagoon Morphodynamics*
6. Salvatore Cesario, Chiara Fredianelli, Alessandro Remorini, *Un pacchetto evidence based di tecniche cognitivo-comportamentali sui generis*
7. Marco Masseti, *Uomini e (non solo) topi. Gli animali domestici e la fauna antropocora*
8. Simone Margherini (a cura di), *BIL Bibliografia Informatizzata Leopardiana 1815-1999: manuale d'uso ver. 1.0*
9. Paolo Puma, *Disegno dell'architettura. Appunti per la didattica*
10. Antonio Calvani (a cura di), *Innovazione tecnologica e cambiamento dell'università. Verso l'università virtuale*
11. Leonardo Casini, Enrico Marone, Silvio Menghini, *La riforma della Politica Agricola Comunitaria e la filiera olivicolo-olearia italiana*
12. Salvatore Cesario, *L'ultima a dover morire è la speranza. Tentativi di narrativa autobiografica e di "autobiografia assistita"*
13. Alessandro Bertirotti, *L'uomo, il suono e la musica*
14. Maria Antonietta Rovida, *Palazzi senesi tra '600 e '700. Modelli abitativi e architettura tra tradizione e innovazione*
15. Simone Guercini, Roberto Piovan, *Schemi di negoziato e tecniche di comunicazione per il tessile e abbigliamento*
16. Antonio Calvani, *Technological innovation and change in the university. Moving towards the Virtual University*
17. Paolo Emilio Pecorella, Tell Barri/Kahat: *la campagna del 2000. Relazione preliminare*
18. Marta Chevanne, *Appunti di Patologia Generale. Corso di laurea in Tecniche di Radiologia Medica per Immagini e Radioterapia*
19. Paolo Ventura, *Città e stazione ferroviaria*
20. Nicola Spinosi, *Critica sociale e individuazione*
21. Roberto Ventura (a cura di), *Dalla misurazione dei servizi alla customer satisfaction*
22. Dimitra Babalis (a cura di), *Ecological Design for an Effective Urban Regeneration*
23. Massimo Papini, Debora Tringali (a cura di), *Il pupazzo di garza. L'esperienza della malattia potenzialmente mortale nei bambini e negli adolescenti*
24. Manlio Marchetta, *La progettazione della città portuale. Sperimentazioni didattiche per una nuova Livorno*
25. Fabrizio F.V. Arrigoni, *Note su progetto e metropoli*
26. Leonardo Casini, Enrico Marone, Silvio Menghini, *OCM seminativi: tendenze evolutive e assetto territoriale*
27. Pecorella Paolo Emilio, Raffaella Pierobon Benoit, Tell Barri/Kahat: *la campagna del 2001. Relazione preliminare*
28. Nicola Spinosi, *Wir Kinder. La questione del potere nelle relazioni adulti/bambini*
29. Stefano Cordero di Montezemolo, *I profili finanziari delle società vinicole*
30. Luca Bagnoli, Maurizio Catalano, *Il bilancio sociale degli enti non profit: esperienze toscane*
31. Elena Rotelli, *Il capitolo della cattedrale di Firenze dalle origini al XV secolo*
32. Leonardo Trisciuzzi, Barbara Sandrucci, Tamara Zappaterra, *Il recupero del sé attraverso l'autobiografia*
33. Nicola Spinosi, *Invito alla psicologia sociale*
34. Raffaele Moschillo, *Laboratorio di disegno. Esercitazioni guidate al disegno di arredo*
35. Niccolò Bellanca, *Le emergenze umanitarie complesse. Un'introduzione*
36. Giovanni Allegretti, *Porto Alegre una biografia territoriale. Ricercando la qualità urbana a partire dal patrimonio sociale*
37. Riccardo Passeri, Leonardo Quagliotti, Christian Simoni, *Procedure concorsuali e governo dell'impresa artigiana in Toscana*

38. Nicola Spinosi, *Un soffitto viola. Psicoterapia, formazione, autobiografia*
39. Tommaso Urso, *Una biblioteca in divenire. La biblioteca della Facoltà di Lettere dalla penna all'elaboratore. Seconda edizione rivista e accresciuta*
40. Paolo Emilio Pecorella, Raffaella Pierobon Benoit, *Tell Barri/Kahat: la campagna del 2002. Relazione preliminare*
41. Antonio Pellicanò, *Da Galileo Galilei a Cosimo Noferi: verso una nuova scienza. Un inedito trattato galileiano di architettura nella Firenze del 1650*
42. Aldo Burrelli (a cura di), *Il marketing della moda. Temi emergenti nel tessile-abbigliamento*
43. Curzio Cipriani, *Appunti di museologia naturalistica*
44. Fabrizio F.V. Arrigoni, *Incipit. Esercizi di composizione architettonica*
45. Roberta Gentile, Stefano Mancuso, Silvia Martelli, Simona Rizzitelli, *Il Giardino di Villa Corsini a Mezzomonte. Descrizione dello stato di fatto e proposta di restauro conservativo*
46. Arnaldo Nesti, Alba Scarpellini (a cura di), *Mondo democristiano, mondo cattolico nel secondo Novecento italiano*
47. Stefano Alessandri, *Sintesi e discussioni su temi di chimica generale*
48. Gianni Galeota (a cura di), *Traslocare, riaggregare, rifondare. Il caso della Biblioteca di Scienze Sociali dell'Università di Firenze*
49. Gianni Cavallina, *Nuove città antichi segni. Tre esperienze didattiche*
50. Bruno Zanoni, *Tecnologia alimentare 1. La classe delle operazioni unitarie di disidratazione per la conservazione dei prodotti alimentari*
51. Gianfranco Martiello, *La tutela penale del capitale sociale nelle società per azioni*
52. Salvatore Cingari (a cura di), *Cultura democratica e istituzioni rappresentative. Due esempi a confronto: Italia e Romania*
53. Laura Leonardi (a cura di), *Il distretto delle donne*
54. Cristina Delogu (a cura di), *Tecnologia per il web learning. Realtà e scenari*
55. Luca Bagnoli (a cura di), *La lettura dei bilanci delle Organizzazioni di Volontariato toscane nel biennio 2004-2005*
56. Lorenzo Grifone Baglioni (a cura di), *Una generazione che cambia. Civismo, solidarietà e nuove incertezze dei giovani della provincia di Firenze*
57. Monica Bolognesi, Laura Donati, Gabriella Granatiero, *Acque e territorio. Progetti e regole per la qualità dell'abitare*
58. Carlo Natali, Daniela Poli (a cura di), *Città e territori da vivere oggi e domani. Il contributo scientifico delle tesi di laurea*
59. Riccardo Passeri, *Valutazioni imprenditoriali per la successione nell'impresa familiare*
60. Brunetto Chiarelli, Alberto Simonetta, *Storia dei musei naturalistici fiorentini*
61. Gianfranco Bettin Lattes, Marco Bontempi (a cura di), *Generazione Erasmus? L'identità europea tra vissuto e istituzioni*
62. Paolo Emilio Pecorella, Raffaella Pierobon Benoit, *Tell Barri / Kahat. La campagna del 2003*
63. Fabrizio F.V. Arrigoni, *Il cervello delle passioni. Dieci tesi di Adolfo Natalini*
64. Saverio Pisaniello, *Esistenza minima. Stanze, spazi della mente, reliquiario*
65. Maria Antonietta Rovida (a cura di), *Fonti per la storia dell'architettura, della città, del territorio*
66. Ornella De Zordo, *Saggi di anglistica e americanistica. Temi e prospettive di ricerca*
67. Chiara Favilli, Maria Paola Monaco, *Materiali per lo studio del diritto antidiscriminatorio*
68. Paolo Emilio Pecorella, Raffaella Pierobon Benoit, *Tell Barri / Kahat. La campagna del 2004*
69. Emanuela Caldognetto Magno, Federica Cavicchio, *Aspetti emotivi e relazionali nell'e-learning*
70. Marco Massetti, *Uomini e (non solo) topi (2ª edizione)*
71. Giovanni Nerli, Marco Pierini, *Costruzione di macchine*
72. Lorenzo Viviani, *L'Europa dei partiti. Per una sociologia dei partiti politici nel processo di integrazione europea*
73. Teresa Crespellani, *Terremoto e ricerca. Un percorso scientifico condiviso per la caratterizzazione del comportamento sismico di alcuni depositi italiani*
74. Fabrizio F.V. Arrigoni, *Cava. Architettura in "ars marmoris"*
75. Ernesto Tavoletti, *Higher Education and Local Economic Development*

76. Carmelo Calabrò, *Liberalismo, democrazia, socialismo. L'itinerario di Carlo Rosselli (1917-1930)*
77. Luca Bagnoli, Massimo Cini (a cura di), *La cooperazione sociale nell'area metropolitana fiorentina. Una lettura dei bilanci d'esercizio delle cooperative sociali di Firenze, Pistoia e Prato nel quadriennio 2004-2007*
78. Lamberto Ippolito, *La villa del Novecento*
79. Cosimo Di Bari, *A passo di critica. Il modello di Media Education nell'opera di Umberto Eco*
80. Leonardo Chiesi (a cura di), *Identità sociale e territorio. Il Montalbano*
81. Piero Degl'Innocenti, *Cinquant'anni, cento chiese. L'edilizia di culto nelle diocesi di Firenze, Prato e Fiesole (1946-2000)*
82. Giancarlo Paba, Anna Lisa Pecoriello, Camilla Perrone, Francesca Rispoli, *Partecipazione in Toscana: interpretazioni e racconti*
83. Alberto Magnaghi, Sara Giacomozzi (a cura di), *Un fiume per il territorio. Indirizzi progettuali per il parco fluviale del Valdarno empoiese*
84. Dino Costantini (a cura di), *Multiculturalismo alla francese?*
85. Alessandro Viviani (a cura di), *Firms and System Competitiveness in Italy*
86. Paolo Fabiani, *The Philosophy of the Imagination in Vico and Malebranche*
87. Carmelo Calabrò, *Liberalismo, democrazia, socialismo. L'itinerario di Carlo Rosselli*
88. David Fanfani (a cura di), *Pianificare tra città e campagna. Scenari, attori e progetti di nuova ruralità per il territorio di Prato*
89. Massimo Papini (a cura di), *L'ultima cura. I vissuti degli operatori in due reparti di oncologia pediatrica*
90. Raffaella Cerica, *Cultura Organizzativa e Performance economico-finanziarie*
91. Alessandra Lorini, Duccio Basosi (a cura di), *Cuba in the World, the World in Cuba*
92. Marco Goldoni, *La dottrina costituzionale di Sieyès*
93. Francesca Di Donato, *La scienza e la rete. L'uso pubblico della ragione nell'età del Web*
94. Serena Vicari Haddock, Marianna D'Ovidio, *Brand-building: the creative city. A critical look at current concepts and practices*
95. Ornella De Zordo (a cura di), *Saggi di Anglistica e Americanistica. Ricerche in corso*
96. Massimo Moneglia, Alessandro Panunzi (edited by), *Bootstrapping Information from Corpora in a Cross-Linguistic Perspective*
97. Alessandro Panunzi, *La variazione semantica del verbo essere nell'Italiano parlato*
98. Matteo Gerlini, *Sansone e la Guerra fredda. La capacità nucleare israeliana fra le due superpotenze (1953-1963)*
99. Luca Raffini, *La democrazia in mutamento: dallo Stato-nazione all'Europa*
100. Gianfranco Bandini (a cura di), *noiloro. Storia e attualità della relazione educativa fra adulti e bambini*
101. Anna Taglioli, *Il mondo degli altri. Territori e orizzonti sociologici del cosmopolitismo*
102. Gianni Angelucci, Luisa Vierucci (a cura di), *Il diritto internazionale umanitario e la guerra aerea. Scritti scelti*
103. Giulia Mascagni, *Salute e disuguaglianze in Europa*
104. Elisabetta Cioni, Alberto Marinelli (a cura di), *Le reti della comunicazione politica. Tra televisioni e social network*
105. Cosimo Chiarelli, Walter Pasini (a cura di), *Paolo Mantegazza e l'Evoluzionismo in Italia*
106. Andrea Simoncini (a cura di), *La semplificazione in Toscana. La legge n. 40 del 2009*
107. Claudio Borri, Claudio Mannini (edited by), *Aeroelastic phenomena and pedestrian-structure dynamic interaction on non-conventional bridges and footbridges*
108. Emiliano Scampoli, *Firenze, archeologia di una città (secoli I a.C. – XIII d.C.)*
109. Emanuela Cresti, Iørn Korzen (a cura di), *Language, Cognition and Identity. Extensions of the endocentric/exocentric language typology*
110. Alberto Parola, Maria Ranieri, *Media Education in Action. A Research Study in Six European Countries*
111. Lorenzo Grifone Baglioni (a cura di), *Scegliere di partecipare. L'impegno dei giovani della provincia di Firenze nelle arene deliberative e nei partiti*
112. Alfonso Lagi, Ranuccio Nuti, Stefano Taddei, *Raccontaci l'ipertensione. Indagine a distanza in Toscana*

113. Lorenzo De Sio, *I partiti cambiano, i valori restano? Una ricerca quantitativa e qualitativa sulla cultura politica in Toscana*
114. Anna Romiti, *Coreografie di stakeholders nel management del turismo sportivo*
115. Guidi Vannini (a cura di), *Archeologia Pubblica in Toscana: un progetto e una proposta*
116. Lucia Varra (a cura di), *Le case per ferie: valori, funzioni e processi per un servizio differenziato e di qualità*
117. Gianfranco Bandini (a cura di), *Manuali, sussidi e didattica della geografia. Una prospettiva storica*
118. Anna Margherita Jasink, Grazia Tucci e Luca Bombardieri (a cura di), *MU-SINT. Le Collezioni archeologiche egee e cipriote in Toscana. Ricerche ed esperienze di museologia interattiva*
119. Ilaria Caloi, *Modernità Minoica. L'Arte Egea e l'Art Nouveau: il Caso di Mariano Fortuny y Madrazo*
120. Heliana Mello, Alessandro Panunzi, Tommaso Raso (edited by), *Pragmatics and Prosody. Illocution, Modality, Attitude, Information Patterning and Speech Annotation*
121. Luciana Lazzeretti, *Cluster creativi per i beni culturali. L'esperienza toscana delle tecnologie per la conservazione e la valorizzazione*
122. Maurizio De Vita (a cura di / edited by), *Città storica e sostenibilità / Historic Cities and Sustainability*
123. Eleonora Berti, *Itinerari culturali del consiglio d'Europa tra ricerca di identità e progetto di paesaggio*
124. Stefano Di Blasi (a cura di), *La ricerca applicata ai vini di qualità*
125. Lorenzo Cini, *Società civile e democrazia radicale*
126. Francesco Ciampi, *La consulenza direzionale: interpretazione scientifica in chiave cognitiva*
127. Lucia Varra (a cura di), *Dal dato diffuso alla conoscenza condivisa. Competitività e sostenibilità di Abetone nel progetto dell'Osservatorio Turistico di Destinazione*
128. Riccardo Roni, *Il lavoro della ragione. Dimensioni del soggetto nella Fenomenologia dello spirito di Hegel*
129. Vanna Boffo (edited by), *A Glance at Work. Educational Perspectives*
130. Raffaele Donvito, *L'innovazione nei servizi: i percorsi di innovazione nel retailing basati sul vertical branding*
131. Dino Costantini, *La democrazia dei moderni. Storia di una crisi*
132. Thomas Casadei, *I diritti sociali. Un percorso filosofico-giuridico*
133. Maurizio De Vita, *Verso il restauro. Temi, tesi, progetti per la conservazione*
134. Laura Leonardi, *La società europea in costruzione. Sfide e tendenze nella sociologia contemporanea*
135. Antonio Capestro, *Oggi la città. Riflessione sui fenomeni di trasformazione urbana*
136. Antonio Capestro, *Progettando città. Riflessioni sul metodo della Progettazione Urbana*
137. Filippo Bussotti, Mohamed Hazem Kalaji, Rosanna Desotgiu, Martina Pollastrini, Tadeusz Łoboda, Karolina Bosa, *Misurare la vitalità delle piante per mezzo della fluorescenza della clorofilla*
138. Francesco Dini, *Differenziali geografici di sviluppo. Una ricostruzione*
139. Maria Antonietta Esposito, *Poggio al vento la prima casa solare in Toscana - Windy hill the first solar house in Tuscany*
140. Maria Ranieri (a cura di), *Risorse educative aperte e sperimentazione didattica. Le proposte del progetto Innovascuola-AMELIS per la condivisione di risorse e lo sviluppo professionale dei docenti*
141. Andrea Runfola, *Apprendimento e reti nei processi di internazionalizzazione del retail. Il caso del tessile-abbigliamento*
142. Vanna Boffo, Sabina Falconi, Tamara Zappaterra (a cura di), *Per una formazione al lavoro. Le sfide della disabilità adulta*
143. Beatrice Töttössy (a cura di), *Fonti di Welllitteratur. Ungheria*
144. Fiorenzo Fantaccini, Ornella De Zordo (a cura di), *Saggi di Anglistica e Americanistica. Percorsi di ricerca*
145. Enzo Catarsi (a cura di), *The Very Hungry Caterpillar in Tuscany*
146. Daria Sarti, *La gestione delle risorse umane nelle imprese della distribuzione commerciale*
147. Raffaele De Gaudio, Iacopo Lanini, *Vivere e morire in Terapia Intensiva. Quotidianità in Bioetica e Medicina Palliativa*
148. Elisabete Figueiredo, Antonio Raschi (a cura di), *Fertile Links? Connections*

- between tourism activities, socioeconomic contexts and local development in European rural areas*
149. Gioacchino Amato, *L'informazione finanziaria price-sensitive*
  150. Nicoletta Setola, *Percorsi, flussi e persone nella progettazione ospedaliera. L'analisi configurazionale, teoria e applicazione*
  151. Laura Solito e Letizia Materassi, *DIVERSE eppur VICINE. Associazioni e imprese per la responsabilità sociale*
  152. Ioana Both, Ayşe Saraçgil e Angela Tarantino, *Storia, identità e canoni letterari*
  153. Barbara Montecchi, *Luoghi per lavorare, pregare, morire. Edifici e maestranze edili negli interessi delle élites micenee*
  154. Carlo Orefice, *Relazioni pedagogiche. Materiali di ricerca e formazione*
  155. Riccardo Roni (a cura di), *Le competenze del politico. Persone, ricerca, lavoro, comunicazione*
  156. Barbara Sibilio (a cura di), *Linee guida per l'utilizzo della Piattaforma Tecnologica PO.MA. Museo*
  157. Fortunato Sorrentino, Maria Chiara Pettenati, *Orizzonti di Conoscenza. Strumenti digitali, metodi e prospettive per l'uomo del terzo millenni*
  158. Lucia Felici (a cura di), *Alterità. Esperienze e percorsi nell'Europa moderna*
  159. Edoardo Gerlini, *The Heian Court Poetry as World Literature. From the Point of View of Early Italian Poetry*
  160. Marco Carini, Andrea Minervini, Giuseppe Morgia, Sergio Serni, Augusto Zaninelli, *Progetto Clic-URO. Clinical Cases in Urology*
  161. Sonia Lucarelli (a cura di), *Gender and the European Union*
  162. Michela Ceccorulli, *Framing irregular immigration in security terms. The case of Libya*
  163. Andrea Bellini, *Il puzzle dei ceti medi*
  164. Ambra Collino, Mario Biggeri, Lorenzo Murgia (a cura di), *Processi industriali e parti sociali. Una riflessione sulle imprese italiane in Cina (Jiangsu) e sulle imprese cinesi in Italia (Prato)*
  165. Anna Margherita Jasink, Luca Bombardieri (a cura di), *AKROTHINIA. Contributi di giovani ricercatori italiani agli studi egei e ciprioti*
  166. Pasquale Perrone Filardi, Stefano Urbinati, Augusto Zaninelli, *Progetto ABC. Achieved Best Cholesterol*
  167. Salvatore Califano, *Storia dell'alchimia*
  168. Andrea Arrighetti, *L'archeosismologia in architettura*

