



RICerca
REStauoro

RICerca/REStauoro

coordinamento di Donatella Fiorani

SEZIONE 3B

Progetto e cantiere:
problematiche strutturali

a cura di Aldo Aveta

RICerca/REStauRO

Coordinamento di Donatella Fiorani

Curatele:

Sezione 1a: Stefano Francesco Musso

Sezione 1b: Maria Adriana Giusti

Sezione 1c: Donatella Fiorani

Sezione 2a: Alberto Grimoldi

Sezione 2b: Maurizio De Vita

Sezione 3a: Stefano Della Torre

Sezione 3b: Aldo Aveta

Sezione 4: Renata Prescia

Sezione 5: Carolina Di Biase

Sezione 6: Fabio Mariano, Maria Piera Sette, Eugenio Vassallo

Comitato Scientifico:

Consiglio Direttivo 2013-2016 della Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)

Donatella Fiorani, Presidente

Alberto Grimoldi, Vicepresidente

Aldo Aveta

Maurizio De Vita

Giacomo Martines

Federica Ottoni

Elisabetta Pallottino

Renata Prescia

Emanuele Romeo

Redazione: Marta Acierno, Adalgisa Donatelli, Maria Grazia Ercolino

Elaborazione grafica dell'immagine in copertina: Silvia Cutarelli

© Società Italiana per il Restauro dell'Architettura (SIRA)

Il presente lavoro è liberamente accessibile, può essere consultato e riprodotto su supporto cartaceo o elettronico con la riserva che l'uso sia strettamente personale, sia scientifico che didattico, escludendo qualsiasi uso di tipo commerciale.

eISBN 978-88-7140-764-7

Roma 2017, Edizioni Quasar di S. Tognon srl

via Ajaccio 43, I-00198 Roma

tel. 0685358444, fax. 0685833591

www.edizioniquasar.it – e-mail: qn@edizioniquasar.it

Indice

Aldo Aveta <i>Problematiche strutturali e casi studio: introduzione</i>	725
Aldo Aveta <i>Il progetto e il cantiere di restauro: l'approccio strutturale ed il consolidamento</i> .	727
Carlo Blasi <i>Alcune note su conservazione, sicurezza e responsabilità negli interventi di restauro</i>	740
Eva Coisson <i>Consolidamento strutturale, terra di confine: alcuni casi esemplificativi dei diversi approcci disciplinari</i>	748
Francesco Doglioni <i>Ricerche per il progetto e ricerche attraverso il progetto. Specificità del miglioramento sismico nel restauro</i>	758
Claudio Galli, Luca Beciani, Fabio Lugli <i>Il progetto di miglioramento sismico quale consapevole atto di restauro. Normativa e procedure</i>	768
Maria Agostiano, Daniela Concas <i>La conoscenza del patrimonio culturale fondamentale per la conservazione in sicurezza: la verifica di vulnerabilità sismica</i>	782
Adalgisa Donatelli <i>La ricerca nel restauro strutturale. Sicurezza sismica e consapevolezza storico-costruttiva: il nodo culturale della recente normativa</i>	793
Fabrizio De Cesaris <i>Riflessioni sulla modalità di valutazione della vulnerabilità e della qualità del consolidamento</i>	805

Adalgisa Donatelli

La ricerca nel restauro strutturale. Sicurezza sismica e consapevolezza storico-costruttiva: il nodo culturale della recente normativa

Parole chiave: conoscenza, fattore di confidenza, consolidamento, restauro, struttura

L'ormai noto 'percorso di conoscenza', che le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale (d'ora in poi Linee guida) propongono per il costruito storico vincolato e che considera un rilievo dettagliato dell'edificio e delle tecniche costruttive, lo studio delle fasi di trasformazione, la lettura strutturale e il quadro dei dissesti osservato sia nello stato attuale sia nell'evoluzione temporale, rappresenta, per la prima volta, un esplicito riconoscimento del ruolo determinante degli strumenti conoscitivi in uso nel restauro per le valutazioni di taglio analitico impiegate nel progetto di consolidamento. Il quadro normativo in materia di miglioramento sismico dei monumenti ha in tal senso introdotto e successivamente precisato il concetto di 'fattore di confidenza', come espressione del livello di comprensione dei caratteri costruttivi dell'edificio e delle sue trasformazioni avvenute nel corso del tempo¹.

Di fatto, l'introduzione delle Linee guida ha imposto un dialogo serrato fra 'restauratori', tradizionalmente inclini a una maggiore attenzione nei confronti della conservazione delle superfici e della materia piuttosto che agli aspetti strutturali degli edifici storici, e fra 'strutturisti', impegnati nelle valutazioni numeriche e generalmente impreparati a ragionare sulle questioni di stabilità basate sulla conoscenza storico-costruttiva. Nell'ultimo decennio il contributo dalla ricerca scientifica ha visto il profilarsi di studi che da una parte, sulla base di una salda consapevolezza storica e architettonica, hanno sviluppato un approccio alla stabilità fondamentalmente imperniato sulle analisi cinematiche su base empirico-sperimentale², con alcuni approfondimenti orientati alla comprensione delle tecniche costruttive³ e alla "ricerca di correlazioni fra le 'forme della costruzione' e le 'forme del dissesto'"⁴; dall'altra, numerose sono le ricerche incentrate in procedure analitiche finalizzate alla determinazione di soluzioni numeriche che aderiscano quanto più possibile alla realtà materiale e costruttiva delle fabbriche storiche, privilegiando riscontri desunti dalla diagnostica sperimentale⁵. In entrambe i casi gli studi sono generalmente condotti in aree particolarmente sismiche, e dunque con un'attenzione rivolta alle architetture interessate da un'intensa storia tellurica, o comunque in contesti, come Venezia, connotati da peculiarità costruttive profondamente condizionate dalle caratteristiche del suolo⁶.

1 Cfr. paragrafo 4.2 delle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale (Circolare n. 26 del 2 dicembre 2010) (AA.VV. 2010, pp. 52-55), pp. 52-55. Si segnala che nella versione aggiornata è precisato il significato del fattore relativo all'identificazione delle fasi costruttive di cui si richiede un'argomentata restituzione grafica.

2 Si rimanda, a tal proposito, al volume di BLASI 2013, *Premessa*.

3 Le potenzialità dell'analisi stratigrafica per la ricostruzione del comportamento meccanico di un edificio storico sono illustrate in FACCIO, ZECCA LAURENZI 1997; sui contributi della stratigrafia al restauro vedi DOGLIONI 1997; per un esempio di lettura stratigrafica come metodo significativo nella ricostruzione delle fasi costruttive di un'architettura storica vedi FIORANI 2002; una disamina delle tecniche antisismiche storiche in Abruzzo è in D'ANTONIO 2013.

4 DOGLIONI 2011, p. 14. Il nesso fra le trasformazioni di una fabbrica storica e le forme di vulnerabilità è descritto in DOGLIONI 2005; un'articolazione del percorso di conoscenza condotto con metodi propri del restauro architettonico e l'applicazione di procedure analitiche coerenti con le Linee guida sono illustrate in DONATELLI 2009; la lettura dei modi costruttivi e delle forme di dissesto nell'edilizia storica di Venezia è analizzata in DOGLIONI, MIRABELLA ROBERTI 2011.

5 Fra i numerosi contributi di 'strutturisti' si citano solo alcuni, più recenti e ritenuti rappresentativi, rimandando anche ai riferimenti bibliografici ivi compresi: LAGOMARSINO, CASTELLAZZI 2015; MODENA, LOURENÇO, ROCA 2004; MODENA *et al.* 2012.

6 Si guardino gli studi inerenti la conoscenza, il consolidamento e il restauro del campanile di S. Maria Gloriosa dei Frari in Venezia illustrati in LIONELLO 2008 e ancora l'analisi di tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia in LIONELLO 2011.

Il primo filone di ricerca aderisce a una prassi operativa per certi versi più tradizionale nell'ambito disciplinare del restauro. Particolarmente approfondita risulta infatti la fase di conoscenza della fabbrica storica, mutuata prevalentemente attraverso l'osservazione degli elementi costruttivi e dei loro reciproci rapporti, nonché tramite l'analisi delle fonti documentarie, comprensive della storia sismica che ha interessato l'edificio nel corso del tempo. Il riconoscimento delle fasi costruttive consente così di distinguere le soluzioni di continuità dovute alle trasformazioni da dissesti e lesioni, di interpretare il comportamento strutturale e di delimitare le parti a cui attribuire una risposta alle azioni sismiche pressoché autonoma rispetto al resto dell'edificio. Su queste porzioni vengono poi analizzati i possibili meccanismi di collasso ragionevolmente ipotizzati sulla base della configurazione geometrica della struttura. Un recente studio condotto sul Duomo di Parma, ad esempio, costituisce senz'altro un riferimento significativo per l'approccio multidisciplinare adottato per comprendere la stabilità della fabbrica⁷. Un'accurata ricognizione delle fonti di archivio, dei riferimenti editi e dei contributi critici, l'affinamento del rilievo geometrico, un'analisi stratigrafica estesa a tutte le murature verticali, un'osservazione sapiente dei dettagli costruttivi – analizzati contemperando le ragioni del linguaggio architettonico con considerazioni di natura statica e di prassi del cantiere –, unitamente al rilievo delle lesioni e a una ricerca archivistica specifica sui dissesti, nonché all'analisi dei primi risultati di un monitoraggio strutturale strumentato, hanno consentito di comprendere i principali meccanismi di danno⁸, la relativa evoluzione nel tempo, le cause scatenanti, l'efficacia di presidi inseriti in fasi successive al primo cantiere e l'effettiva odierna pericolosità, soprattutto in occasione di un evento sismico. Particolarmente significativa, nel caso parmense, è anche la modalità di ragionare su alcuni problemi statici per comprendere fasi costruttive non totalmente chiarite dai documenti storici e neanche risolte in modo univoco dagli studiosi. La questione, ad esempio, della presenza sulla navata del duomo di un sistema di volte a crociera su base quadrata e presumibilmente esapartite prima del dannoso sisma del 1117, risulta convincente non solo grazie ad alcune evidenze costruttive⁹, ma anche dall'analisi dei problemi statici denunciati nelle attuali volte a crociera; quest'ultime sono concepite su base rettangolare e sono scandite da arconi trasversali che partono alternativamente da pilastri più grandi e più piccoli. La differenza di cedimento misurata sugli archi trasversali, inaspettatamente maggiore in corrispondenza di quelli che partono dai pilastri più robusti, fa presumere che prima del terremoto del 1117 gli arconi più forti esistevano, risultavano in parte già deformati ma resistettero al sisma, mentre crollarono le volte. Seguì dunque la ricostruzione di nuove volte a crociera realizzate su base rettangolare, grazie all'introduzione di un ulteriore sistema di archi trasversali impostati su pilastri più esili, soluzione ritenuta ancora compatibile con il linguaggio architettonico della fabbrica e più solida rispetto alla precedente¹⁰.

Ancora un approccio proficuamente multidisciplinare si riconosce negli studi condotti per il restauro della chiesa di S. Nicolò l'Arena a Catania, chiusa al pubblico nel 1997 in seguito alla comparsa, nei primi due pilastri della navata centrale, di profonde lesioni verticali¹¹. Sulla fabbrica, edificata fra il 1687 e il 1780 e caratterizzata da una complessa planimetria (a metà fra un impianto basilicale a tre navate e uno a croce latina per via dell'incrocio fra navata principale e transetto) è stata condotta un'indagine storica, un'analisi dei dettagli costruttivi e una diagnostica strumentale mirata a meglio comprendere le caratteristiche meccaniche e la qualità dei materiali in opera; hanno fatto poi seguito i procedimenti

7 BLASI, COISSON 2006.

8 I dissesti osservati sul Duomo di Parma riguardano il distacco della facciata, le deformazioni nelle volte della navata centrale, i cedimenti differenziali nella zona al di sotto della cupola e il quadro fessurativo proprio della cupola, i problemi di collegamento fra le cappelle laterali, costruite in tempi diversi, e il corpo di fabbrica dell'aula. COISSON *et al.* 2006, pp. 258-275.

9 Lo studio geometrico-proporzionale ha evidenziato la chiara scansione metrica della navata perfettamente divisibile in tre quadrati e un rettangolo nella zona di raccordo con il presbiterio, separati da un intervallo di 1 braccio corrispondente agli archi trasversali più robusti. Si è osservato inoltre il dettaglio dell'abaco trapezoidale in corrispondenza dei capitelli dei pilastri di navata per consentire l'appoggio di archi diagonali e insieme trasversale, soluzione compatibile con il sistema di volte a crociera.

10 BLASI, COISSON 2006, pp. 39-50.

11 CAROCCI, TOCCI 2009.

analitici, condotti sia con il modello discreto (cioè ragionando sui possibili meccanismi di collasso ipotizzabili sulla sezione trasversale della navata e in corrispondenza della sezione della cupola)¹², sia con il modello continuo (ovvero con la costruzione per le medesime sezioni di modelli agli elementi finiti in campo elastico non lineare)¹³. Assodata una sostanziale coincidenza dei risultati ottenuti con i diversi modelli di calcolo e analizzato il quadro fessurativo con una lettura comparata dei risultati numerici, si è pervenuti alla distinzione fra lesioni ‘fisiologiche’, di natura statica, e dissesti di origine sismica¹⁴. La definizione dei criteri di intervento, messi in campo per migliorare il comportamento strutturale della chiesa in caso di sisma, è infine avvenuta vagliando opportunamente materiali e tecniche, non solo dal punto di vista strettamente strutturale, ma nel rispetto dei caratteri formali e dell’assetto strutturale originario. Dunque presidi di miglioramento, quali incatenamenti finalizzati all’introduzione di vincoli assenti nella configurazione originaria e tali da contrastare movimenti attivabili in caso di sisma, e interventi di riparazione, quali iniezioni nelle murature e cerchiature metalliche sottili in corrispondenza dei pilastri lesionati, oltre al confinamento della cupola con un sistema di cerchioni metallici¹⁵.

Una disamina dei diversi componenti della costruzione storica di Venezia e delle modalità di reciproca connessione, seguita dal riconoscimento delle “geometrie inusuali”, quali il tema dell’“entro-piombo” osservato su diversi fronti, hanno consentito di distinguere le ricadute strutturali da ritenersi fisiologiche da quelle patologiche, e quindi di meglio orientare la formulazione di modelli analitici interpretativi del comportamento strutturale. Ne è scaturito, ancora una volta, un percorso metodologico che da una profonda consapevolezza storico-costruttiva formula processi analitici e propone criteri di intervento in grado di garantire la sicurezza strutturale e nel contempo l’autenticità dell’architettura storica veneziana¹⁶.

Il secondo terreno di indagine, proprio degli ingegneri strutturalisti, come già accennato, ha visto in questi ultimi anni l’affinamento dei metodi di analisi agli elementi finiti, approdando a modelli in campo non lineare che puntano a cogliere la risposta delle strutture, in condizioni di collasso, in modo più aderente possibile alla realtà materiale e costruttiva. In questo ambito della ricerca i numerosi apporti sono accomunati da una consistente diagnostica strumentale che fornisce le caratteristiche meccaniche dei materiali in opera. Le architetture indagate sono caratterizzate da un’elevata omogeneità dei materiali costitutivi dovuta a una minima stratificazione storica, e soprattutto da caratteri costruttivi riconoscibili; non a caso, diversi edifici studiati sono generalmente connotati dal linguaggio gotico, spesso realizzati in unica fase o comunque riconducibili a un’unica concezione strutturale. I casi di studio ad esempio selezionati fra le tesi condotte nell’ambito del *Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions*¹⁷, prediligono edifici gotici, studiati con analisi sismiche condotte con modelli numerici agli elementi finiti formulati in campo elastico lineare e non lineare. La chiesa di S. Maria del Mar a Barcellona, ad esempio, costituita da tre navate, realizzata nel XIV secolo nell’arco di cinquant’anni e danneggiata dai terremoti del 1373 (che causò il crollo parziale della torre orientale) e del 1428 (che causò il crollo del rosone in facciata), presenta alcune lesioni, sulla parte alta del fronte principale e al di sotto del rosone, che corrono lungo i giunti dei

12 Ivi, pp. 87-92. La sezione di navata analizzata ha preso in considerazione la coppia di pilastri disposti fra la prima e la seconda campata, visibilmente lesionati.

13 Ivi, pp. 105-111. Entrambe le sezioni, quella di navata e quella della cupola, sono ipotizzate incastrate alla base. Nell’analisi non si considerano le lesioni, come se la simulazione venisse fatta in una situazione di avvenuto miglioramento della muratura dei pilastri.

14 Ivi, pp. 119-121. I pilastri tra la prima e seconda navata raggiungono valori di compressione preoccupanti anche in condizione statica. I sostegni del tamburo hanno problematiche simili, ma tali da pregiudicarne l’equilibrio solo sotto l’azione tellurica. La cupola, lesionata lungo i meridiani e dunque parzializzata in una serie di archi indipendenti, potrebbe danneggiarsi anche per sollecitazioni sismiche modeste.

15 Ivi, pp. 126-133.

16 DOGLIONI, MIRABELLA ROBERTI 2011.

17 Cfr. le tesi condotte nell’ambito del corso master *Erasmus Mundus in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions* (SAHC), cofondato da *Erasmus e Programme of the European Union*, in <<http://www.msc-sahc.org/>>[23/11/2016].

conci della muratura; si osservano poi fenomeni di espulsione di materiale alla base di alcuni pilastri, molto snelli, che sostengono le volte della navata centrale¹⁸. Una diagnostica mirata alla comprensione delle caratteristiche dei materiali in opera e una certa omogeneità nelle soluzioni costruttive hanno consentito la messa in campo di diversi livelli di simulazione numerica, tutti concentrati nella sezione trasversale della navata. Al di là dei risultati puntuali che palesano l'attivazione di un danneggiamento "da lieve a moderato"¹⁹ in caso di azione sismica ortogonale all'aula, di interesse è lo studio di alcuni possibili interventi locali – quali la rigenerazione della muratura delle pareti perimetrali con iniezioni di miscele a base di calce, l'introduzione sulla sommità delle arcate di cavi precompressi in grado di contrastare l'apertura di lesioni sotto l'azione sismica e ancora il rinforzo delle porzioni triangolari di muratura al di sopra degli archi laterali –, che pur se concepiti come presidi minimi e reversibili, non incrementano in modo sensibile la capacità sismica della porzione, risultando dunque non strettamente necessari.

Lo studio del comportamento strutturale condotto per l'abbazia di Fossanova (pianta cruciforme a tre navate e transetto), coadiuvato da indagini sperimentali (videoendoscopie e prove di compressione in laboratorio su campioni prelevati *in situ*; prova dinamica in sito)²⁰, è ancora consistito in una simulazione numerica agli elementi finiti in campo elastico lineare e in un'analisi modale (cioè dello studio dei modi di vibrare della chiesa sotto azioni sismiche) che pur nella semplificazione delle ipotesi proprie del campo lineare palesano la vulnerabilità della chiesa nei confronti di azioni orizzontali trasversali all'aula; risultano così compromesse le volte della navata centrale e in modo particolare quelle in corrispondenza della facciata e del transetto, meccanismo del tutto analogo ai crolli che interessarono la basilica di S. Francesco di Assisi colpita dal terremoto del 1997²¹. I procedimenti di taglio analitico hanno inoltre contribuito alla messa a punto di un modello in scala di una porzione dell'aula sollecitato su tavola vibrante che ha mostrato l'innescò del cinematismo dapprima con l'apertura di lesioni sull'arco laterale più distante dal carico sismico e poi la formazione di cerniere sulla chiave dell'arco centrale²².

Se dunque da una parte il quadro delineato evidenzia il nesso sapiente fra storia costruttiva, valutazione della sicurezza statica e dinamica e eventuale intervento di rinforzo strutturale, ha promosso modalità investigative diverse e fra loro interconnesse, ha suggerito raffinati e aggiornati studi analitici e soprattutto favorito una processualità che all'esito numerico antepone il dato storico-costruttivo, dall'altra si ritiene che la disciplina del restauro possa aprire a nuove o più approfondite prospettive di ricerca che in particolare si impegnino verso una più 'concreta' valenza culturale nel progetto strutturale.

Un aspetto in tal senso interessante è ad esempio rappresentato da una conoscenza più mirata al riconoscimento negli interventi pregressi di riparazione/ricostruzione e di aggiornamento delle preesistenze, spesso indagati dal punto di vista storico-architettonico e storico-artistico, ricadute e ragioni di natura strutturale utili per una comprensione più esaustiva dei dettagli costruttivi e del comportamento statico e dinamico dell'edificio. Gli interventi medievali di trasformazione e restauro in edifici liturgici di area romana e laziale palesano, ad esempio, un quadro complesso e articolato di modifiche sulle preesistenze di cui poco indagate risultano generalmente motivazioni ed esiti strutturali²³.

18 MURCIA 2008.

19 Ivi, p. 108.

20 DE MATTEIS *et al.* 2007.

21 La parete del fronte e il transetto, infatti, sotto l'azione sismica trasversale, rappresentano degli elementi di trattenimento della struttura (vincoli rigidi) non in grado di contrastare la deformabilità trasversale delle pareti perimetrali; il crollo delle volte terminali avviene dunque per effetto di una distorsione non compatibile con la rigidità di forma delle volte. CARTAPATI 2004, p. 620.

22 Lo studio strutturale dell'abbazia di Fossanova è stato condotto nell'ambito di una ricerca denominata "Prohitec" (coordinata da Federico Mazzolani); i risultati illustrati sono stati forniti dal prof. Alberto Viskovic che si ringrazia.

23 Le considerazioni accennate sugli aspetti strutturali da riconoscere e interpretare nelle trasformazioni medievali di edifici religiosi in area romana e laziale sono desunte da due ricerche di Ateneo 'Sapienza' in corso di sviluppo insieme con Maurizio Caperna (proponente) e Donatella Fiorani, rispettivamente dal titolo *Interventi medievali di trasformazione e restauro in area romanolaziale: casistiche, episodi*



Fig. 1. S. Stefano Rotondo a Roma: veduta esterna dell'ambulacro perimetrale con le arcate tamponate (da CESCHI 1982, p. 132).

navate o nei transetti di basiliche paleocristiane), le sopraelevazioni (la galleria sul portico in S. Saba²⁷) e ancora l'intervento sulle cripte conseguente a modifiche apportate nei presbiteri, rappresentano un insieme che non solo può essere esaminato sul piano delle mutazioni tipologiche e riguardo alla comprensione degli spazi religiosi, ma che si offre efficacemente ad osservazioni improntate all'esame della compagine strutturale degli organismi. Il terreno di investigazione descritto, articolato

Solo per accennare ad alcuni casi noti nella città di Roma, le tamponature di ampie aperture paleocristiane, come in S. Stefano Rotondo²⁴ (Fig. 1), gli involucramenti con rimodulazione della spazialità interna (la chiesa di S. Vitale²⁵, ad esempio, è stata interamente trasformata dall'inglobamento delle sue colonne in un sistema di setti longitudinali e dall'aggiunta di archi trasversali) (Fig. 2), la realizzazione di corpi aggiunti (i portici antistanti la facciata, come quello duecentesco realizzato in S. Giorgio in Velabro²⁶ (Fig. 3); i campanili inseriti nelle



Fig. 3. S. Giorgio al Velabro a Roma: il portico duecentesco (da GIANNETTINI, VENANZI 1967, p. 64).

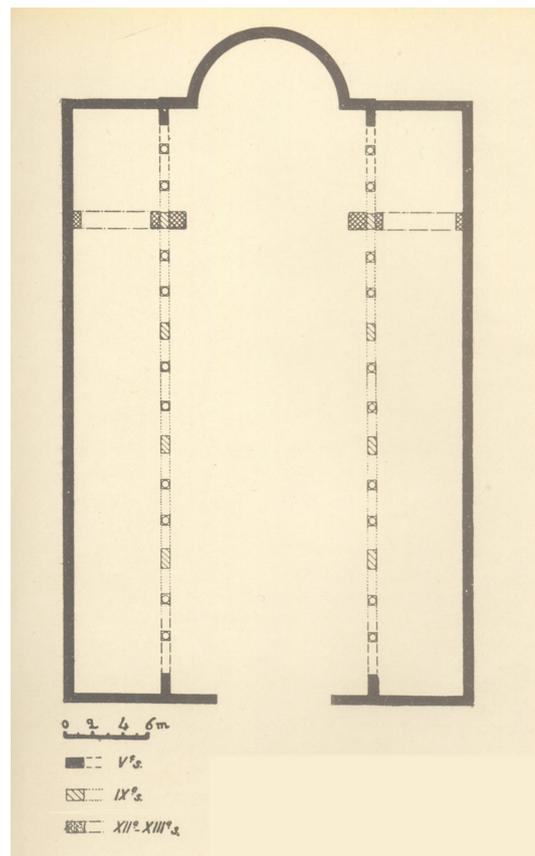


Fig. 2. S. Vitale a Roma: indicazione in pianta dei diversi interventi architettonici (da Huetter, Golzio s.d. [dopo 1936], p. 9).

significativi e ricadute ai fini della vulnerabilità e della conservazione delle testimonianze architettoniche e Chiese medievali a Roma: trasformazioni costruttive e problematiche di conservazione. Alcuni risultati sono stati presentati in occasione del workshop internazionale TAAE2015, *On the Tectonics in Architecture: between Aesthetics and Ethics* (Roma, 11-13 giugno 2015) con un intervento dal titolo *La conoscenza per la sicurezza strutturale nell'architettura storica* (autori: Donatella Fiorani, Adalgisa Donatelli e Silvia Cutarelli).

24 CESCHI 1982, pp. 115-133.

25 HUETTER, GOLZIO s.d. [dopo 1936].

26 GIANNETTINI, VENANZI 1967, pp. 63-65.

27 MONTELLI 2011, p. 196.

in un'indagine storica volta ad interpretare criticamente le trasformazioni e parallelamente ad approfondirne il ruolo strutturale, può delineare un percorso metodologico il cui tratto caratterizzante è costituito da una rigorosa correlazione fra le diverse fasi del lavoro, da quella conoscitiva della storia costruttiva, dei dettagli e della qualità degli elementi della fabbrica alla lettura strutturale, formulando, infine, attraverso un unico linguaggio, riflessioni inerenti questioni di restauro.

Nella prassi operativa, inoltre, il 'percorso di conoscenza', che dovrebbe tradursi in una serie di elaborazioni tematiche e nella rappresentazione grafica delle fasi costruttive riconosciute sull'edificio, stenta ancora a trovare adeguato spazio e riconoscibilità rispetto agli elaborati dedicati al progetto strutturale. La procedura messa in campo per la 'ricostruzione' dell'edificio storico colpito dal sisma aquilano, la cosiddetta 'scheda progetto', ad esempio, anche se rappresenta soltanto uno strumento di accompagnamento al progetto vero e proprio ed è stata introdotta per gestire i complessi iter amministrativi inerenti la concessione dei contributi, semplifica, e per certi versi banalizza, la comprensione dei caratteri costruttivi delle fabbriche, pur partecipando alla delicata scelta e quantificazione degli interventi²⁸. L'articolazione delle fasi costruttive è limitata a un'osservazione speditiva di planimetrie catastali e riconduce la scomposizione ad esempio degli edifici in aggregato al solo riconoscimento di evidenti separazioni fisiche (giunti, passaggi stretti) e di chiare disomogeneità spaziali e volumetriche (sopraelevazioni e ampliamenti denunciati da orizzontamenti a quote differenti). Inoltre, negli elaborati di progetto vero e proprio, non è richiesta in modo esplicito né la restituzione delle fasi costruttive criticamente argomentata né una lettura strutturale che oltre a segnalare dissesti ed evidenti carenze costruttive sia in grado di relazionarsi con le discontinuità della fabbrica insite nei relativi processi di costruzione e di trasformazione. Il venir meno a una conoscenza articolata e 'concretamente' rappresentata favorisce inevitabilmente interpretazioni del comportamento strutturale generalmente più gravose, poco consapevoli delle vulnerabilità che derivano da caratteri costruttivi connotanti e dunque interventi meno mirati e più estesi.

A tale scopo la disciplina del restauro può senz'altro contribuire ad indirizzare strumenti e metodi di conoscenza del costruito storico anche alle questioni più strettamente strutturali, favorendo così una maggiore connessione fra consapevolezza storico-costruttiva e sicurezza sismica. L'osservazione dettagliata di apparecchi murari e dei relativi rapporti stratigrafici, intrecciata con considerazioni geometrico-proporzionali, riscontri di natura tipologico-formale e fonti storiche, ha ad esempio consentito di comprendere le discontinuità costruttive e il conseguente dissesto nella parte terminale della chiesa di S. Maria del Rifugio a Colvecchio (Rieti)²⁹. L'edificio, ad aula unica con copertura a capriate lignee, caratterizzato da una profonda abside rettangolare (coperta con una volta a crociera sulla zona antistante la parete diaframma dell'altare e una volta a botte sulla sagrestia) e due cappelle simmetriche allineate all'asse trasversale dell'aula (*Fig. 4*), presenta apparecchi murari in vista sulla maggior parte dei fronti esterni; le murature sono costituite da bozze in tufo poste in opera in modo generalmente irregolare e allettate con una malta stesa a raso sasso che ne rende la lettura piuttosto complessa. A circa metà dell'abside si osserva un giunto lungo quasi tutta l'altezza del fronte laterale meridionale, emerso dopo il terremoto della Val Nerina (1979) (*Fig. 5*) insieme ad un lesionamento diffuso sulle volte, uno spanciamento e lesioni subverticali in corrispondenza del fronte absidale. Grazie al riconoscimento del rapporto stratigrafico degli apparecchi murari che delimitano tale giunto, al confronto tipologico con chiese ad aula unica e abside rettangolare di matrice francescana (da cui emerge l'anomalia dello spazio absidale molto profondo) e ancora allo studio geometrico che divide esattamente a metà l'ambiente proprio in corrispondenza della discontinuità (*Fig. 6*), è stato possibile comprenderne la genesi costruttiva. La prima fase dell'edificio (*ante* 1584) è infatti riconducibile a una

28 DONATELLI 2015.

29 Le considerazioni relative alla chiesa sono desunte dalle tavole grafiche elaborate dagli studenti Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi che hanno affrontato lo studio dell'edificio rispettivamente nei corsi di Elementi di restauro (docente A. Donatelli, a.a. 2013-14) e di Laboratorio di restauro (docente D. Fiorani, a.a. 2014-15) presso la facoltà di Architettura quinquennale UE - 'Sapienza' Università di Roma.

Fig. 4. S. Maria del Rifugio a Collevocchio (Rieti): rilievo architettonico della pianta (elaborato grafico di Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi).

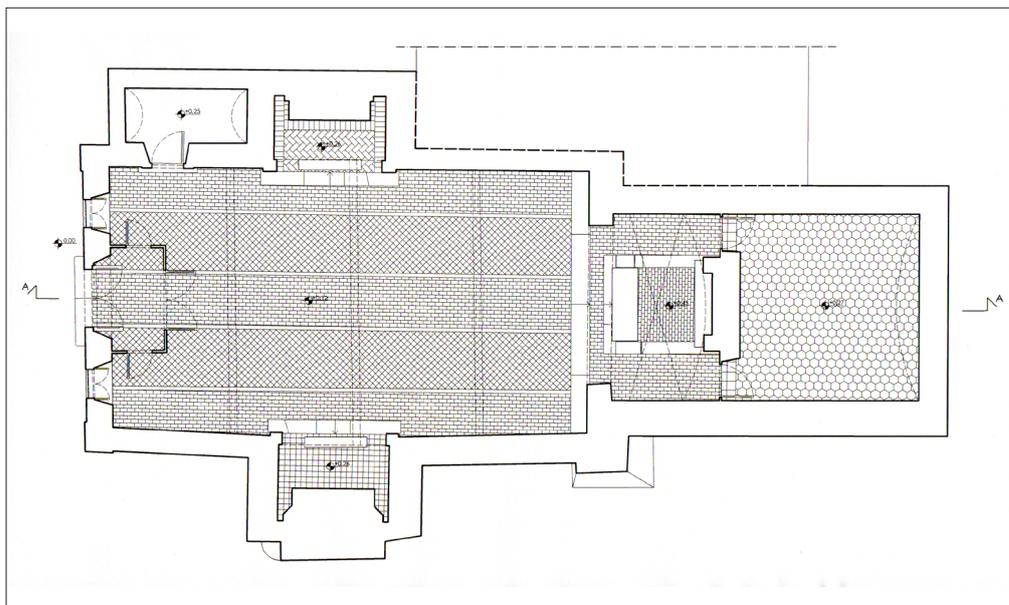
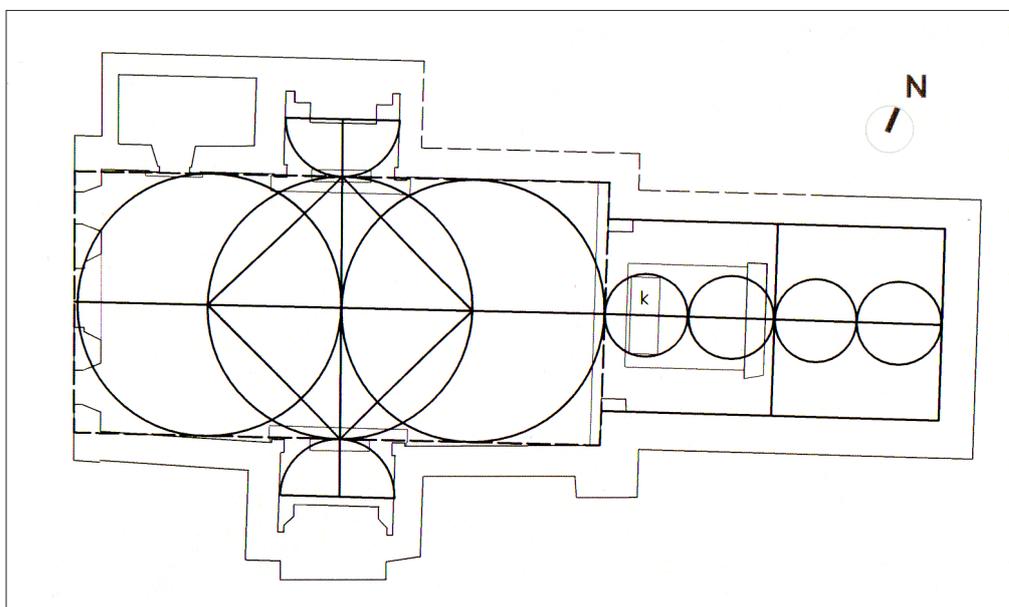


Fig. 5. S. Maria del Rifugio a Collevocchio (Rieti): rilievo architettonico del fronte sud con indicati i rapporti stratigrafici delle murature in corrispondenza della discontinuità (rielaborazione dall'elaborato grafico di Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi).



Fig. 6. S. Maria del Rifugio a Collevocchio (Rieti): analisi geometrico-proporzionale condotta in pianta (elaborato grafico di Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi).



cappella corrispondente all'attuale ambiente della sagrestia e di altezza inferiore, a cui si è aggiunta (*post* 1584-*ante* 1595) l'aula unica con abside rettangolare (quest'ultima corrispondente al vano antistante la parete diaframma dell'altare) e ancora la sopraelevazione della prima cappella³⁰ (*Fig. 7*). La discontinuità si è poi rivelata una vulnerabilità della porzione retrostante dell'edificio che per effetto di un cedimento nel terreno sul fronte absidale tende a ribaltare staccandosi dal resto della fabbrica proprio in corrispondenza del giunto costruttivo e generando il quadro fessurativo osservato sulle volte e sul prospetto absidale (*Fig. 8*). Queste acquisizioni hanno indirizzato la diagnostica strumentale, in particolare per la caratterizzazione del terreno e delle fondazioni della parte dissestata, e hanno suggerito lo studio all'interno del progetto di restauro di interventi strutturali volti a contrastare il meccanismo, soprattutto in caso di sisma, compatibilmente con i segni di trasformazione della chiesa³¹. Il caso descritto mira ad esemplificare, ancora una volta, un metodo di lavoro che all'interno del processo progettuale di restauro di un edificio storico considera la lettura strutturale una conoscenza specifica strettamente connessa e dipendente dalle fasi costruttive, quest'ultime opportunamente rappresentate e argomentate a valle di un paziente esercizio di studio declinato su diversi aspetti di indagine.

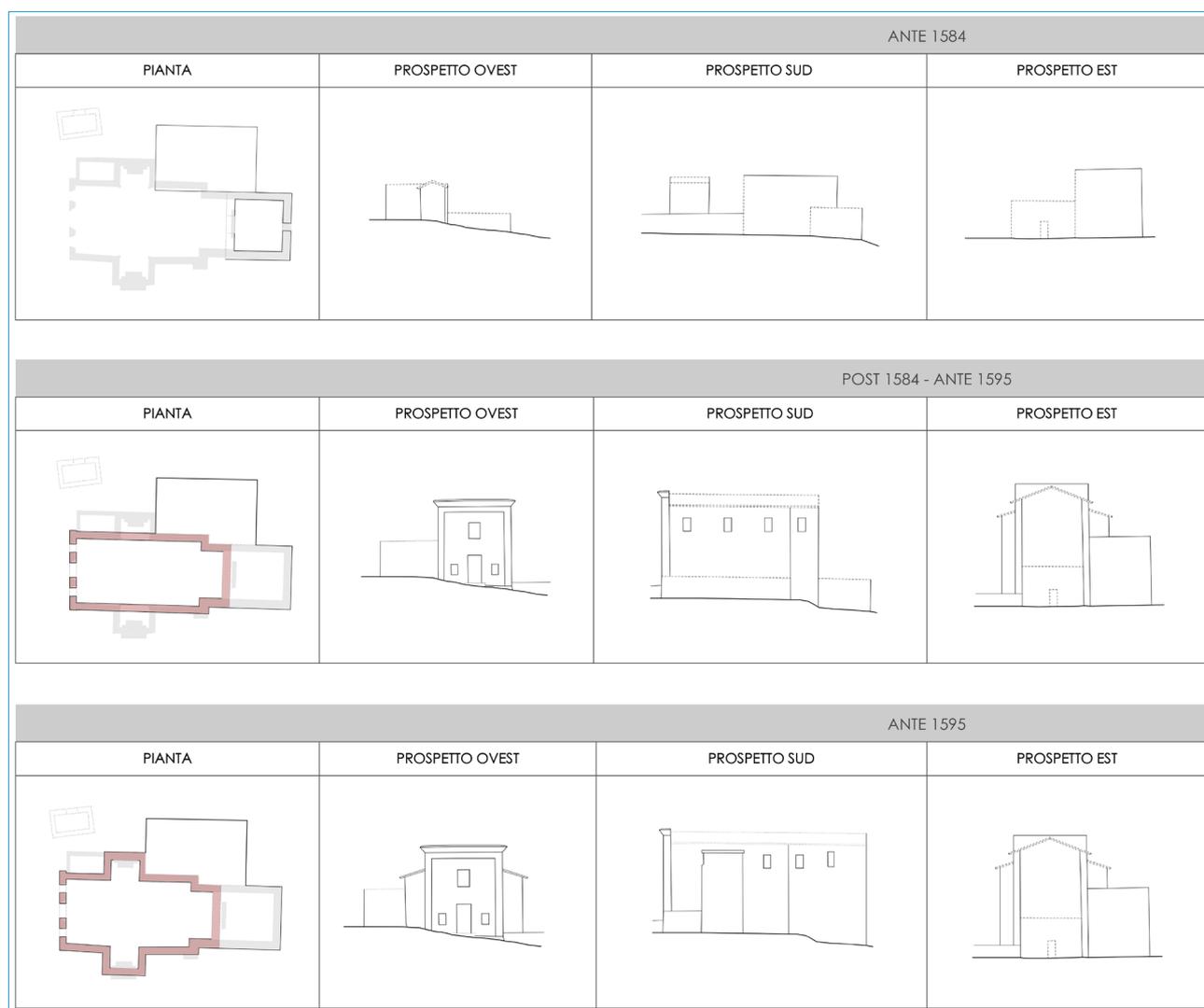


Fig. 7. S. Maria del Rifugio a Colvecchio (Rieti): restituzione grafica delle fasi costruttive cinquecentesche (elaborato grafico di Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi).

30 I termini datanti sono desunti dalla ricerca bibliografica e archivistica. Cfr. nota 29.

31 L'intervento strutturale ha previsto il consolidamento delle volte con fibre in carbonio e il cerchiaggio metallico di tutto l'ambiente absidale realizzato con profili metallici in acciaio preossidato (IPE e travi a L) posti in opera in copertura, alla quota di imposta delle volte e in corrispondenza del piano di calpestio della chiesa. Cfr. nota 29.

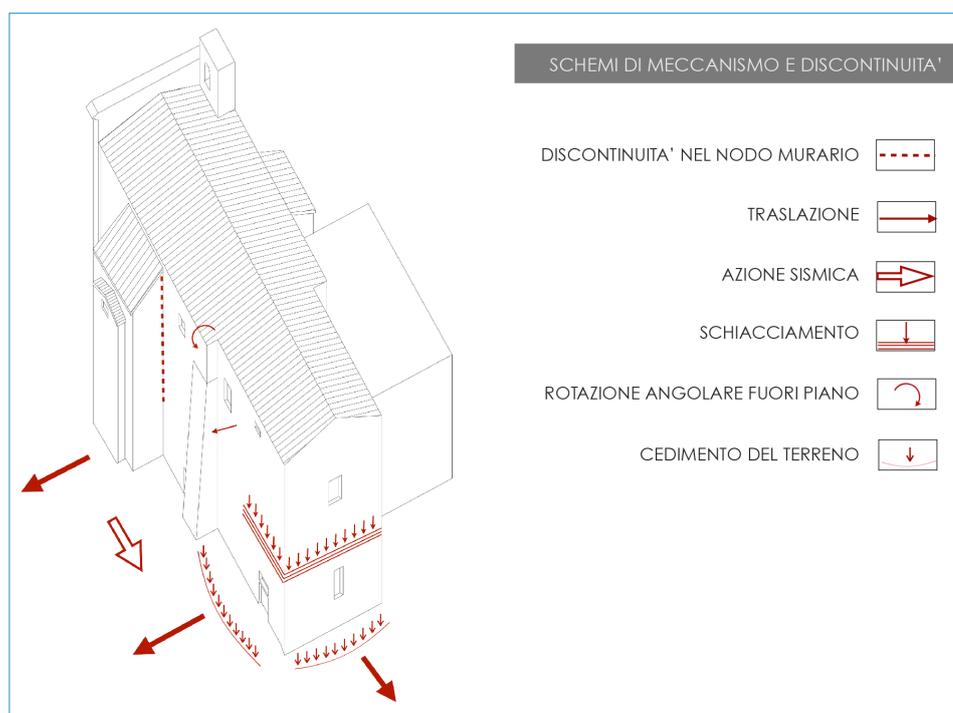


Fig. 8. S. Maria del Rifugio a Collecchio (Rieti): schemi di meccanismo e discontinuità (elaborato grafico di Giulia Ambroselli, Simone Bianchi, Silvia Cigognetti e Edoardo Crescenzi).

Un ultimo spunto di riflessione, infine, viene sollecitato dal carattere ‘apparentemente’ speditivo e sostanzialmente analitico delle procedure cosiddette ‘LV1’, impiegate nel costruito storico per valutazioni della sicurezza sismica a scala territoriale³². In particolare per “palazzi e ville [...]” e “torri, campanili [...]” il metodo richiede l’applicazione di modelli meccanici semplificati, per i quali è necessario un rilievo geometrico (spesso assente) e l’implementazione di formule necessarie a calcolare l’indice di sicurezza “ I_s ”³³. La messa in campo di ‘processi di conoscenza’ incentrati su indicatori qualitativi, come le caratteristiche architettoniche ricorrenti che influenzano la risposta sismica, si ritiene possa essere la modalità più convincente per contemperare l’esigenza speditiva con un controllo e qualità della conoscenza che sebbene in via preliminare possano essere meglio assicurate dai metodi del restauro. In questa direzione è stata orientata la sperimentazione condotta dalla Carta del Rischio del patrimonio culturale dell’Istituto Superiore per la Conservazione ed il Restauro sui beni di Sicilia e Calabria, finalizzata ad uno studio speditivo e georeferenziato di pericolosità e vulnerabilità sismiche³⁴. Per la vulnerabilità (bassa, media, alta) sono stati impiegati tracciati schedografici, in coerenza con le tipologie architettoniche raggruppate nelle Linee guida, organizzati in campi di compilazione che riguardano i livelli di un “palazzo-villa”, i settori di una “torre-campanile”, le parti di una “chiesa-teatro-sistema edilizio complesso”. L’esistenza di una o più condizioni, quali i cinematismi di danno riconducibili a meccanismi fuori del piano, l’assenza di collegamenti fra pareti ortogonali, le strutture spingenti non contrastate, gli orizzontamenti deformabili e mal collegati, l’eccessiva altezza della fabbrica unitamente a pareti snelle o a un elevato interasse fra pareti portanti, comporta una vulnerabilità alta che, con un indice di pericolosità almeno medio e una qualsiasi esposizione, contribuisce a determinare un rischio elevato³⁵. Questa valutazione potrebbe costituire una sorta di ‘LV0’ in grado di selezionare quantomeno gli edifici caratterizzati da un rischio alto sui quali procedere con un approfondimento del relativo stato di vulnerabilità, a cominciare dal livello ‘LV1’. Il riconoscimento delle carenze strutturali richiede chiaramente competenze ‘allenate’

32 AA.VV. 2010, pp. 65-67.

33 Ivi, pp. 70-79, 85-93.

34 CACACE, DONATELLI 2014.

35 Il progetto “Carta del Rischio del patrimonio culturale-Dati sulla vulnerabilità e pericolosità sismica del patrimonio culturale della regione Sicilia e della regione Calabria” è stato seguito, quale responsabile del procedimento, dal dott. Alessandro Bianchi, e quale responsabile dei dati dal dott. Carlo Cacace. Quanto riportato è frutto di dati forniti dal dott. Cacace che si ringrazia e del lavoro di consulenza prestata dalla scrivente nel corso della sperimentazione.

nella comprensione delle condizioni architettoniche che influenzano la risposta sismica di un edificio storico e in questo senso i 'restauratori' possono ricoprire un ruolo significativo.

In conclusione, al di là dei risultati interni ai singoli studi condotti nell'ambito della tutela dei monumenti in zona sismica e alle diverse scale di approccio, si auspica che la ricerca in materia di restauro strutturale possa partecipare, in primo luogo in termini di conoscenza, alla definizione dei progetti di 'miglioramento sismico', superando la convinzione di attribuire al consolidamento un'autonomia disciplinare (separata dal restauro) che rischia di perseguire esercizi tecnici estranei ai caratteri architettonici del costruito storico e dunque lesivi della relativa identità.

Adalgisa Donatelli, 'Sapienza' Università di Roma, adalgisa.donatelli@uniroma1.it

Referenze bibliografiche

AA.VV. 2010: AA.VV., *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio del patrimonio culturale*, Gangemi Editore, Roma 2010

AMOROSI *et al.* 2015: A. Amorosi, D. Boldini, G. De Felice, W.G. Lasciarrea, M. Malena, *Analisi geotecnica e strutturale del Ninfeo di Genazzano*, in «Rivista italiana di geotecnica», 49, 2015, fascicolo I, pp. 29-44

BLASI, COISSON 2006: C. Blasi, E. Coisson (a cura di), *La fabbrica del Duomo di Parma: stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Grafiche Step, Parma 2006

BLASI 2013: C. Blasi (a cura di), *Architettura storica e terremoti. Protocolli operativi per la conoscenza e la tutela*, Wolters Kluwer, Milanofiori Assago 2013

CACACE, DONATELLI 2014: C. Cacace, A. Donatelli, *Carta del rischio del patrimonio culturale: studio sulla vulnerabilità e pericolosità sismica del patrimonio culturale in Sicilia e Calabria*, in S. DELLA TORRE (a cura di), *Protezione dal rischio sismico*, atti del convegno PPC 2014 (Monza-Mantova, 5-9 maggio 2014), Nardini editore, Milano 2014, Book 3, pp. 119-128

CAROCCI, TOCCI 2009: C.F. Carocci, C. Tocci, *Sicurezza e conservazione degli edifici storici monumentali. La chiesa di San Nicolò l'Arena a Catania*, Gangemi, Roma 2009

CARTAPATI 2004: E. Cartapati, *Presidi antisismici*, in C. Carbonara (diretto da), *Atlante del Restauro*, Utet, Torino 2004, tomo II, sezione G7

CESCHI 1982: C. Ceschi, *S. Stefano Rotondo, L'“Erma” di Bretschneider*, Roma 1982

COISSON *et al.* 2006: E. Coisson, G. Forlani, L. Montrasio, R. Roncella, *I dissesti e la stabilità della fabbrica: analisi e controllo*, in C. Blasi, E. Coisson (a cura di), *La fabbrica del Duomo di Parma: stabilità, rilievi e modifiche nel tempo*, Grafiche Step, Parma 2006, pp. 258-275

D'ANTONIO 2013: M. D'Antonio, *Ita Teraemotus damna impedire*, Carsa, Pescara 2013

DE MATTEIS *et al.* 2007: G. De Matteis, F. Colanzi, A. Viskovic, F.M. Mazzolani, *Structural Features of gothic style churches in the earthquake prone Mediterranean area*, in *Studies on Historical Heritage - SHH07*, proceedings of the international symposium (Antalya, 17-21 2007), Yildiz Technical University - Research Center for Preservation of Historical Heritage, Istanbul 2007, pp. 419-426

DOGLIONI 1997: F. Doglioni, *Conseguenze del restauro sulla stratificazione e contributi della stratigrafia al restauro*, in «Archeologia dell'Architettura», II, 1997, pp. 207-213.

DOGLIONI 2005: F. Doglioni, *Processi di trasformazione e forme di vulnerabilità*, in D. Fiorani, D. Esposito (a cura di), *Tecniche costruttive dell'edilizia storica. Conoscere per conservare*, Viella, Roma 2005, pp. 219-231

DOGLIONI 2011: F. Doglioni, *Introduzione*, in F. Doglioni, G. Mirabella Roberti (a cura di), *Venezia: forme della costruzione forme del dissesto*, Libreria Cluva Editrice, Venezia 2011, pp. 12-16

- DOGLIONI, MIRABELLA ROBERTI 2011: F. Doglioni, G. Mirabella Roberti (a cura di), *Venezia: forme della costruzione forme del dissesto*, Libreria Cluva Editrice, Venezia 2011
- DONATELLI 2009: A. Donatelli, *Terremoto e architettura storica. Prevenire l'emergenza*, Gangemi, Roma 2009
- DONATELLI 2015: A. Donatelli, *Conservation and structural safety in seismic zone: first considerations about post-earthquake restorations made in L'Aquila (Italy)*, in REUSO 2015, atti del III congresso internacional sobre documentación, conservación, y reutilización del patrimonio arquitectónico (Valencia, 22-24 Ottobre 2015), cdrom, pp. 481-489
- FACCIO *et al.* 1997: P. Faccio, L. Masciangelo, F. Zeka Lorenzi, *Potenzialità applicative dell'analisi stratigrafica. Ricostruzione di una possibile storia meccanica di un edificio storico*, in «Archeologia dell'Architettura», II, 1997, pp. 53-62
- FIORANI 2002: D. Fiorani, *Tipo e contesto: architettura e trasformazioni nella chiesa di Santa Maria a Piè di Chienti nelle Marche*, in «Palladio», 2002, 28, pp. 23-48
- GIANNETTINI, VENANZI 1967: A. Giannettini, C. Venanzi, *S. Giorgio al Velabro*, Edizioni Roma, Roma 1967
- HUETTER, GOLZIO s.d. [dopo 1936]: L. Huetter, V. Golzio, *S. Vitale*, Stab. tip. Armani, Roma s.d. [dopo 1936]
- LAGOMARSINO, CASTELLAZZI 2015: S. Lagomarsino, G. Castellazzi, *San Felice sul Panaro: la Rocca estense dopo il sisma*, in «'Ananke», 2015, 73, pp. 136-141
- LIONELLO 2008: A. Lionello (a cura di), *Il campanile di Santa Maria Gloriosa dei Frari in Venezia*, Electa, Milano 2008
- LIONELLO 2011: A. Lionello (a cura di), *Tecniche costruttive, dissesti e consolidamenti dei campanili di Venezia*, Corbo e Fiore, Venezia 2011
- MODENA, LOURENÇO, ROCA 2004: C. Modena, P.B. Lourenço, P. Roca (a cura di), *Structural analysis of historical constructions 2004: Possibilities of numerical and experimental techniques*, A.A. Balkema Publishers, Leiden 2004
- MODENA *et al.* 2012: C. Modena, F. Da Porto, M.R. Valluzzi, *Conservazione del patrimonio architettonico e sicurezza strutturale in zona sismica: insegnamenti dalle recenti esperienze italiane*, in «Materiali e Strutture», n.s., I, 2012, 1-2, pp. 17-28
- MONTELLI 2011: E. Montelli, *Tecniche costruttive murarie medievali: mattoni e laterizi in Roma e nel Lazio fra X e XV secolo*, L'«Erma» di Bretschneider, Roma 2011
- MURCIA 2008: J. Murcia, *Seismic Analysis of Santa Maria del Mar Church in Barcelona*, Master's thesis, Advanced Masters in Structural Analysis of Monuments and Historical Constructions, Supervisor: Pere Roca Fabregat, Spain 2008, <<http://www.msc-sahc.org/>>[23/11/2016]

Research in structural conservation: seismic safeguarding and historical-construction awareness: the cultural problem in current regulations

Keywords: knowledge, confidence factor, consolidation, conservation, structure

Guidelines for Evaluation and Mitigation of Seismic Risk to Cultural Heritage (2010) is a document that translates into better operational levels the long-recognised need to match the achievement of safety levels with the cultural requirements of seismic safeguarding.

The introduction of the ‘confidence factor’ as a representation of our level of knowledge of historic buildings and improvements made to them subordinates the quantitative method of numerical tests to the cognitive methods and tools used in restoration. For this reason, this factor requires a close dialogue between ‘restorers’ (less inclined to understanding structural aspects) and ‘structural engineers’ (who focus on numerical evaluations only).

This paper aims to reflect on the decisive role of restoration research in structural consolidation, as a way of guaranteeing an understanding of the historical and construction aspects of architectural heritage. Indeed, despite the efforts of the *Guidelines*, the ‘path to knowledge’ is generally still superficial and marginal to professional practices, resulting in an alteration of the identifying characteristics of historical architecture.