



RICerca  
REStauro

RICerca/REStauro

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





Fabrizio De Cesaris

## *Riflessioni sulla modalità di valutazione della vulnerabilità e della qualità del consolidamento*

Parole chiave: miglioramento strutturale, consolidamento, ricostruzione; normativa sismica, restauro centri storici

Già prima del volgere del XX secolo, le discipline tecniche sono approdate ad un approccio empirico rispetto alla questione della sicurezza strutturale dei monumenti e dei nostri centri storici; un'analisi, che si potrebbe definire comparativa, si è inserita in un ambito di ricerca allora caratterizzato dai primi incerti tentativi di valutazione della capacità strutturale basati solo su modelli derivati dall'analisi elastica; questi, infatti, per le difficoltà legate alle caratteristiche meccaniche, disomogenee e difficilmente schematizzabili in modelli sufficientemente semplici ed efficaci, affrontati con strumenti computazionali ancora non particolarmente evoluti, si rivelavano inappropriati.

Infatti, negli anni Settanta e Ottanta, introducendo ipotesi sul comportamento elasto-plastico, i modelli di calcolo vennero conformati sulle modalità critiche del comportamento strutturale e sulle debolezze che le stesse costruzioni storiche evidenziavano nella risposta ai, purtroppo, ripetuti eventi sismici. Da quel momento le costruzioni murarie, soprattutto quelle storiche, ripresero un posto di rilievo negli studi e nella preparazione dei tecnici che per alcuni decenni era stata diretta verso l'obiettivo prevalente del progetto di nuove strutture da realizzare con materiali moderni, in particolare, il cemento armato; ciò con l'implicita assunzione delle stesse metodologie d'analisi definite per il nuovo e adattate impropriamente anche allo studio dell'antico.

In precedenza e per diversi anni, le poche trattazioni per gli edifici in muratura<sup>1</sup>, considerata una tipologia costruttiva secondaria, si erano interessate soprattutto alle problematiche legate ai difetti statici; questi erano messi in relazione ai problemi fondali e al decadimento strutturale dovuto a manomissioni improprie o allo stesso degrado materiale conseguente a usi non compatibili o a mancanza di manutenzione. Non sfugga, inoltre, l'esigenza della ricostruzione del patrimonio edilizio in genere e di quello monumentale, feriti dalle vicende drammatiche del conflitto mondiale che, a seguito soprattutto di esplosioni, riportavano alla necessità di una ricomposizione della fabbrica con l'attenzione prevalentemente rivolta, però, solo al recupero della condizione di stabilità statica<sup>2</sup>.

Non di rado, di fronte a edifici colpiti dai bombardamenti (ma ancora in buone condizioni) sono state realizzate operazioni di messa in sicurezza, anche a opera di organismi dello Stato, costituite da demolizioni controllate di coperture e volte, solo in parte danneggiate ma ritenute non più sicure; nell'incertezza, la demolizione garantiva rispetto ad eventuali collassi ma certo esponeva a gravi perdite per l'evoluzione del degrado delle strutture e finiture residue, non più protette<sup>3</sup> (Figg. 1-2).

1 Tra cui quella essenziale di MASTRODICASA 1943, edita nel periodo della Seconda Guerra Mondiale e quindi riferimento essenziale nella ricostruzione post bellica.

2 Si veda CESCHI 1970 nella classica trattazione e il più recente CASIELLO 2011.

3 Si veda l'esempio della chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo, nell'omonimo convento dei Domenicani, fondato nel 1215, che si conservò pur con alcune traversie fino all'inizio del Settecento. La chiesa venne presumibilmente danneggiata dal terremoto del 1703 e la ricostruzione cominciò nel 1736 ad opera dell'architetto Nicola Salvi. La 'scatola' muraria duecentesca fu conservata ad eccezione delle cappelle laterali, sostituite o aggiunte. La decisione di inserire organicamente le cappelle nel corpo della chiesa era spinta anche da evidenti motivazioni statiche, conseguenti allo stato di danno pregresso e alla realizzazione della grande volta sulla navata centrale. Il decadimento ebbe inizio con la chiusura al culto nel 1874 e con la trasformazione funzionale del complesso adibito a penitenziario dal 1877. I bombardamenti alleati su Viterbo, del 1944, assestarono il colpo decisivo: furono colpiti il tetto e la volta della navata centrale e causati dissesti statici alle strutture e alle cappelle laterali. Dalle immagini d'epoca, i danni appaiono certamente gravi ma in realtà circoscritti. La volta risultava sfondata con lacuna di circa 2,40 m di diametro e conseguenti lesioni lungo i meridiani della volta medesima. Nell'immediato dopoguerra, nel 1946, si decise di intervenire sul penitenziario ma non sulla chiesa, pur riconosciuta nel suo 'particolare carattere artistico', a causa dei costi considerevoli. La condizione di rischio portò il Genio Civile alla demolizione, nel 1951,



Fig. 2. Chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo come appare in una vista post bellica, successiva alla demolizione della copertura conseguente ai danni alla volta causati dai bombardamenti del 1944 ma realizzata solo nel 1951 (da <<http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC>> [07/12/2016]).

Fig. 1. Chiesa di S. Maria in Gradi a Viterbo: nell'immagine a sinistra ripresa prima delle vicende belliche della Seconda Guerra; la navata è ancora integra anche se interessata da lavori edili (da <<http://www.beniculturali.it/mibac/export/MiBAC/sito-MiBAC>> [07/12/2016]).

L'attenzione verso i centri storici, negli anni Sessanta e Settanta, venne distratta per la tendenza alla migrazione verso le case nuove della periferia urbana; si concretizzava comunque in interventi di sostituzione o di reintegro dei vuoti urbani lasciati dalla guerra; più raramente si trattava di restauri conservativi che risultavano appannaggio dei soli edifici d'autore, per lo speciale pregio riconosciuto. Le riparazioni adottate e consigliate erano anch'esse improntate alle tecnologie allora in auge, mutate dal cantiere delle nuove costruzioni, con largo impiego di applicazioni di malte cementizie, inserimenti di elementi in cemento armato (talvolta nel vivo della muratura) e putrelle d'acciaio che, spesso anche senza un'effettiva necessità, sostituivano le strutture originarie di cui non si riusciva ad apprezzare la capacità<sup>4</sup>. Tecnologie presentate come indispensabili per garantire la stabilità e spesso in grado di favorire una logica utilitaristica di reimpiego funzionale; talvolta consentendo solo la conservazione dell'involucro, entro cui avveniva l'inserimento di spazialità altre e funzioni completamente diverse dalle originarie; spesso esautorando le strutture esistenti dal loro compito strutturale e mantenendole semplicemente come simulacro di se stesse.

In precedenza, all'inizio del XX secolo, solo in rare occasioni si fece riferimento al cemento armato che non era ancora diffuso; si adottavano, con maggior frequenza, elementi metallici lineari di tirantatura, per edifici nuovi e ristrutturati. Tuttavia val la pena ricordare uno dei primi interventi di ricostruzione in cemento armato con cui venne ricomposto il duomo di Messina<sup>5</sup> (Fig. 3); più recentemente, soprattutto nel primo dopoguerra (anni Cinquanta), la tecnica del cemento armato venne diffusamente adottata come nei casi illustrati della ricostruzione, nel territorio aquilano, di S. Pietro in *Alba Fucens* (Fig. 4) e nel centro di Aielli (Figg. 5-6), a seguito del terremoto d'Avezzano (1915). Nelle sperimentazioni post sismiche emergono spesso anche interventi creativi, magari senza un particolare seguito ma che presentano spunti interessanti; ad esempio gli interventi che si osservano ancora in Aielli (L'Aquila) in cui le case esistenti sono state intelaiate esternamente in c.a., con un

---

di quanto rimaneva delle strutture voltate. Per circa mezzo secolo, la navata, ormai a cielo aperto, apparve, ai pochi visitatori, come una suggestiva rovina. Solo con l'intervento eseguito dal 2004 al 2007 la chiesa è di nuovo protetta con una copertura (Soprintendenza del Lazio, progetto di Stefania Cancellieri con Antonino Gallo Curcio, Gianni Testa, Fabio Massimo Eugeni, Claudio Varagnoli).

4 Ad esempio: strutture lignee, piattabande murarie e volte, da svuotare e talvolta sospendere ad altre strutture moderne inserite per l'occasione.

5 Il Duomo di Messina venne sostanzialmente ricostruito dall'arch. Francesco Valenti (1869-1953), sovrintendente ai monumenti della Sicilia dal 1919 al 1935, con la collaborazione del prof. ing. Aristide Giannelli (1888-1970) della facoltà di Ingegneria dell'Università di Roma per la parte statica (BOSCARINO 1987; BOZZONI *et al.* 1990).

Fig. 3. Il duomo di Messina, distrutto dal terremoto dello Stretto (1908) rappresenta uno dei primi interventi di ricostruzione con l'impiego del cemento armato di cui si vedono alcuni dettagli esecutivi; la cattedrale venne successivamente danneggiata durante la Seconda Guerra Mondiale (da VALTIERI 2008).

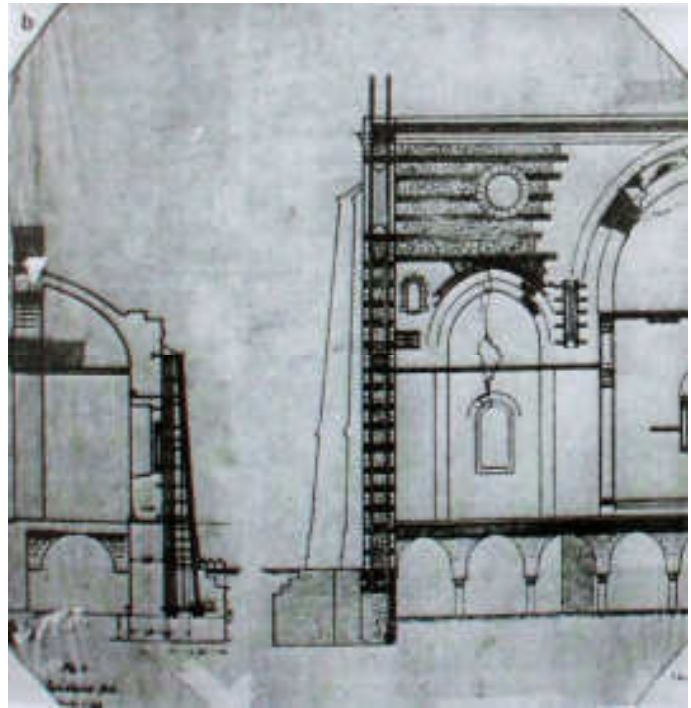


Fig. 4. L'impiego del cemento armato fu largamente adottato nella ricostruzione successiva al terremoto di Avezzano, nei restauri che vennero eseguiti dopo la Seconda Guerra Mondiale. L'immagine riporta alcuni disegni per la ricostruzione di S. Pietro ad Alba Fucens (L'Aquila) nella Marsica (da VALTIERI 2008).

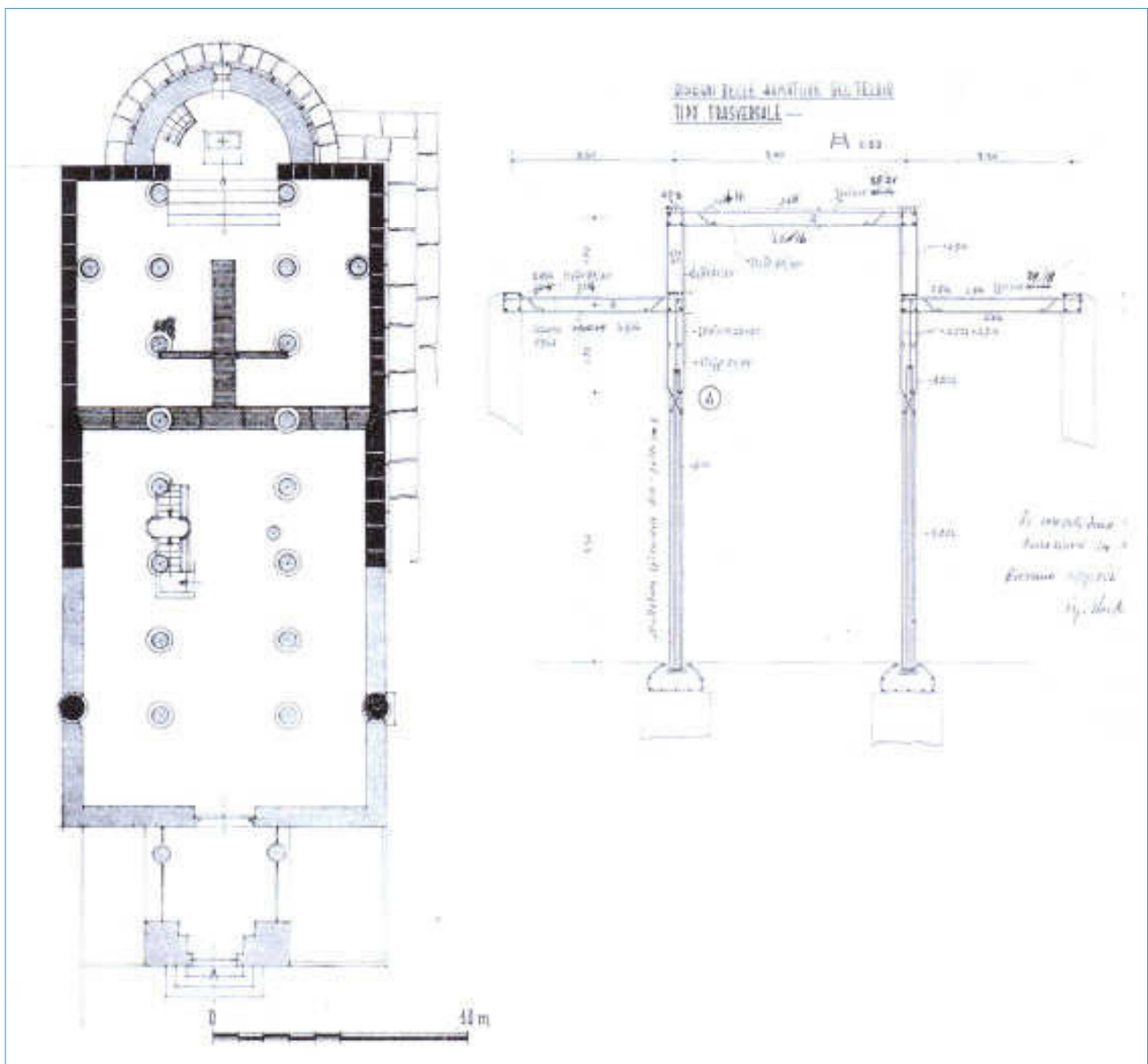






Fig. 5. Le opere di rinforzo delle strutture murarie di Aielli (L'Aquila), a seguito del terremoto di Avezzano, furono condotte con una certa omogeneità nell'intero centro; si adottò una metodologia che incornicia le facciate con un telaio di c.a. ancorato con tiranti trasversali metallici (foto G. Palmerio).

Fig. 6. Certamente evidente, l'intervento antisismico realizzato ad Aielli (L'Aquila), non interrompe la continuità delle murature rimanendone esterno; nel tempo si è ambientato anche nella complessiva immagine della cittadina (da [www.scuolanticoli.com/images/Aielli/passeggiata\\_Aielli.htm](http://www.scuolanticoli.com/images/Aielli/passeggiata_Aielli.htm) [07/12/2016]).



intervento formalmente invasivo ma che non intacca la muratura e sembra essersi ormai integrato nell'immagine del piccolo centro.

Con il sisma del Friuli (1979) si cominciò ad affrontare l'evento sismico con una metodica sistematica mirante al recupero delle costruzioni murarie; tuttavia, l'effetto più evidente fu la diffusione di tecniche di riparazione basate su perfori armati e sigillati con malta cementizia, intonaci armati, cordoli, solette/diaframmi rigidi<sup>6</sup>. Un atteggiamento riduttivo, che tentava di dare una risposta quantitativa con criteri piuttosto sommari ma che, soprattutto, diffuse l'idea di un possibile miglioramento delle capacità portanti con l'inserimento di alteranti e massicce quantità di acciaio e cemento armato sotto forma di fodere, solettoni e cordoli, talvolta inseriti nel vivo della sezione muraria e spesso deperibili e inefficaci.

A questo diffuso atteggiamento si opposero le opere e le teorizzazioni di personaggi di spicco che in quegli anni spostarono il punto di vista della tecnica e della scienza delle costruzioni da un livello deduttivo ideale a quello empirico induttivo; una piccola rivoluzione copernicana in cui non era più il modello del continuo ad imporsi sui possibili sviluppi delle costruzioni (come era accaduto, anche con grandi successi, nella storia della moderna ingegneria) ma dove il comportamento e la consistenza delle costruzioni esistenti guidavano la formazione dei modelli, recuperando schemi precedenti alla scienza delle costruzioni ottocentesca (tesa allo studio dell'acciaio), paradigmi risalenti alla prima ingegneria-architettura<sup>7</sup>. Gli studi innovativi, si radicarono in quelli settecenteschi, incentrati sulle murature

6 Legati al criterio di analisi incentrato sul comportamento a taglio delle murature che poteva essere affrontato con i primi programmi a portata delle potenzialità di calcolo dell'epoca.

7 Leonardo Salimbeni, Lorenzo Mascheroni, Giovanni Poleni, alla fine del Settecento approfondirono l'approccio scientifico di Galileo Galilei applicato alle strutture murarie e soprattutto a volte ed archi; studi sostenuti in Francia da Philippe de La Hire e poi da Bernard Forest de Bérilidor e Charles Augustin de Coulomb; la prosecuzione ottocentesca portò alla definizione del concetto di linea delle pressioni con Claude-Louis Navier, František Josef Gerstner ed Henry Moseley (intorno agli anni Quaranta) e alla successiva sintesi divulgata da François Mery. Gli studi miravano alla determinazione della capacità ma anche della forma migliore per le strutture ad arco; ripresi da Jean Victor Poncelet e più tardi finanche da Carlo Alberto Castigliano nella celebre applicazione del calcolo elastico.



Fig. 7. Duomo di Spoleto, sorto nel XII secolo su una chiesa precedente, venne fortemente modificato alla fine del Seicento con il rifacimento delle navate e delle volte; alla fine del XVIII furono realizzate le cappelle laterali che contribuiscono attivamente alla stabilità del complesso. Tra gli interventi recenti si evidenzia, per la minimalità e l'efficacia, l'introduzione di due catene longitudinali su progetto di Antonino Gallo Curcio, appena visibili in facciata (da BENAZZI, CARBONARA 2002).

perché cardine delle possibilità costruttive di quel tempo; essi costituirono l'humus fecondato dalle recenti teorie sul comportamento plastico<sup>8</sup>. Il noto articolo di Antonino Giuffrè che invocava *Pietà per i monumenti*<sup>9</sup>, il recupero auspicato da Paolo Marconi delle tecniche e conoscenze pre-moderne e del portato culturale contenuto nella materia stessa oltre che nell'immagine, l'attenzione e il recupero della storia nella scienza delle costruzioni di Edoardo Benvenuto sono solo alcune personificazioni eminenti di una visione che riportava l'attenzione alle murature e alla storia; posizione rafforzata da tanti contributi tra cui si potrebbero citare quelli di studiosi raffinati e attenti come Salvatore Di Pasquale, per gli studi sui materiali 'no-tension', Salvatore D'Agostino, con i contributi nell'approccio strutturale verso i monumenti archeologici, e Antonino Gallo Curcio (Fig. 7) con la personale ricerca sul campo applicativo della minimizzazione degli interventi<sup>10</sup>; quest'ultimi docenti operarono presso le scuole di architettura, e per ciò stesso più vicini alle tematiche della conservazione, ma ad essi si affiancavano illustri docenti delle scuole d'ingegneria (tra cui, ad esempio, Mario Como, Carlo Gavarini, Giorgio Macchi), con taglio più vicino alla ricerca sui modelli di

comportamento strutturale finalizzato all'affinamento dell'analisi numerica. Ma non mancarono direttori tecnici di Comuni e Regioni che si trovarono a fronteggiare il problema della ricostruzione e che si mostrarono attenti anche alle tematiche conservative.

Diversi ma fecondi contributi derivarono da un ulteriore e innovativo punto di vista con cui riconsiderare le costruzioni storiche: la tradizionalità dei metodi ed elementi costruttivi, permetteva infatti lo studio sistematico delle realtà urbane, approcciate con analisi sulla morfologia costruttiva di quartieri e centri storici, i cui risultati vennero riversati nei 'Codici di pratica' ispirati da Antonino Giuffrè e Michele

8 Jacques Heyman (HEYMAN 1982) giunge a una formulazione coerente con i metodi del calcolo a rottura mediante un teorema che riguarda la sicurezza nella stabilità degli archi (*safe theorem*) basato sulle ipotesi di impossibilità di rottura per scorrimento tra i conci nel piano di contatto, incapacità di resistenza a trazione, infinita resistenza a compressione.

9 GIUFFRÈ 1984, pp. 120-122.

10 La cattedrale di S. Maria Assunta a Spoleto venne costruita in stile romanico nell'ultimo terzo del XII secolo in sostituzione della preesistente chiesa di S. Maria del Vescovato (VIII-IX secolo); la facciata e il campanile vennero terminati all'inizio del XIII secolo. Il fronte venne ritoccato più volte, sino ad assumere la conformazione attuale di facciata a 'capanna'. Nel 1491 venne aggiunto, ad opera di Antonio Barocci, il portico della facciata, in stile rinascimentale, che aveva il compito di conferire maggiore magnificenza alla cattedrale, composto da cinque arcate, sormontate da una ricca trabeazione ornata ed un terrazzo superiore. Tra i secoli XVII e XVIII, l'interno della cattedrale subì pesanti rifacimenti in stile barocco ad opera dei Barberini (nel 1608, Maffeo Barberini divenne arcivescovo di Spoleto e maturò l'intenzione di cambiare l'aspetto della cattedrale; diventato pontefice col nome di Urbano VIII, poté completare la sua opera attraverso l'aiuto del nipote Francesco Barberini, a sua volta arcivescovo di Spoleto). L'impianto basilicale originario fu sconvolto con la ricostruzione delle navate, centrale e laterali. I lavori di rifacimento interni furono completati soltanto verso fine del XVIII secolo, quando intervenne Giuseppe Valadier che progettò le edicole presenti nelle navatelle, gli altari di testata dei transetti e l'altare maggiore.



Zampilli<sup>11</sup>, e analizzate nello specifico dei dettagli costruttivi attraverso i ‘manuali del recupero’ (sostenuti da Raffaele Panella, Paolo Marconi e Francesco Giovannetti)<sup>12</sup> di molte città italiane.

Inoltre, con i successivi eventi sismici delle Marche e della Val Nerina, e con la ricostruzione che ne conseguì, si concretizzò un diverso approccio<sup>13</sup> che, nella difficoltà ancora persistente di prevedere un esito strutturale per le murature storiche, produsse i primi esiti di un altro modo di vedere e riconoscere le modalità di danneggiamento sismico, attraverso una schedatura empirico-statistica; questa induce alla conoscenza attraverso la redazione di documenti di sintesi, indicativi e illustrativi, ad uso dei tecnici, sia per la definizione dei danni che per la valutazione degli stessi nonché per la determinazione dei rimedi.

Insomma, in quegli anni giunse a maturazione un sentimento d’affetto verso i monumenti e i centri storici che ne consentì il successivo riconoscimento ufficiale del valore attraverso il Codice Urbani e, con maggiore anticipo, permise l’avvicinamento anche alle problematiche strutturali delle costruzioni storiche; ciò avvenne con un particolare e specifico atteggiamento che ebbe come esito il riconoscimento della muratura come valida tipologia costruttiva e l’introduzione del concetto di ‘miglioramento sismico’ ovvero di un consolidamento costituito da “un insieme di opere atte a conseguire un maggior grado di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche senza peraltro modificare sostanzialmente il comportamento globale dell’edificio”<sup>14</sup>.

Quest’ultimo viene, infatti, introdotto con il D.M. 24 gennaio 1986, Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche seguito dal D.M. 20 novembre 1987, Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo degli edifici in muratura e per il loro consolidamento; a essi seguirono le Raccomandazioni relative agli interventi sul patrimonio monumentale a tipologia specialistica in zone sismiche, emanate dal Ministero dei Beni Culturali ed Ambientali nel 1986<sup>15</sup>.

Un dispositivo normativo (decreto e direttiva) che si ripeterà poi con l’emanazione delle successive norme tecniche cui si affiancherà il recepimento e affinamento del Ministero per i Beni Culturali mediante le Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale (d’ora in poi Linee guida)<sup>16</sup> per la mitigazione del rischio sismico (due successive edizioni) che hanno preso il posto delle Direttive. Ad esse si allineano le Raccomandazioni per la redazione di progetti e l’esecuzione di interventi per la conservazione del costruito archeologico<sup>17</sup>.

Si tratta quindi del coronamento di una linea culturale e di pensiero fondata su una posizione di rispetto e considerazione delle costruzioni che la tradizione ci ha tramandato e che si deve fondere con le questioni relative al rischio comportato dall’evento sismico.

Il terremoto genera quantomeno un forte sentimento di preoccupazione che tende ad attenuarsi col passare del tempo, lasciando spazio ad atteggiamenti più conservativi dei monumenti, per poi

---

11 In GIUFFRÈ 1993 si affronta con un contributo originale, l’analisi strutturale di un intero brano di città corrispondente all’isola di Ortigia nella città di Siracusa, evidenziandone le caratteristiche comuni e unitarie e le possibilità di intervento guidato da un Codice di pratica (anche in GIUFFRÈ 1988).

12 Al *Manuale del recupero del Comune di Roma* seguirono altre analoghe ricerche (a Palermo, Città di Castello, Roma, ecc.) volte alla compilazione di atlanti tecnici, documento del passato e stimolo per scelte di ripristino e reintegrazione.

13 Si veda DOGLIONI 2000 in cui vengono raccolti metodicamente anche gli esiti degli studi eseguiti negli anni precedenti.

14 La definizione apparve nel D. M. del 24 gennaio 1986, al punto C.9.1.2.

15 Nel 1993 vengono emanate le Direttive per la redazione ed esecuzione di progetti di restauro comprendenti interventi di “miglioramento” antisismico e “manutenzione”, nei complessi architettonici di valore storico-artistico in zona sismica (G.U. 22.7.1993, n.170) in cui, si trova, al punto 12 *Verifiche statiche*: “Nell’ottica del miglioramento non sono previste verifiche globali; possono tuttavia essere opportune ed utili verifiche locali connesse agli interventi previsti. In ogni caso le verifiche fatte, specie se fossero globali, non hanno il significato di verifiche assolute, per le quali mancano generalmente, come già illustrato in precedenza, i presupposti; possono invece essere utili verifiche di confronto, che dimostrano l’avvenuto miglioramento, e costituiscono elementi di valutazione qualitativa accanto agli altri disponibili”.

16 *Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio culturale*, Circolare n. 26, 2 dicembre 2010 (Allineamento delle Linee Guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni che aggiorna le linee guida del 2006); successivamente emanata con D.P.C.M. del 9.2.2011, Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.1.2008.

17 D’AGOSTINO *et al.* 2009.

riprendere vigore al reiterarsi dei fenomeni sismici. Anche oggi si propone dunque l'interrogativo sull'opportunità del solo miglioramento rispetto al più tranquillizzante adeguamento.

Comunque, non si può ignorare un'insidia essenziale: una buona costruzione può resistere all'evento sismico, specialmente se d'intensità non estrema; un edificio ben costruito può essere ulteriormente rinforzato con dispositivi migliorativi del comportamento sismico; tuttavia, non sempre le costruzioni storiche sono ben fatte.

Nonostante la tradizione costruttiva razionalizzi e ottimizzi nel tempo il processo produttivo edile, alcune povertà di base, specialmente in aree 'periferiche', possono di fatto non essere state superate; ad esempio la carenza di legante e di pietre idonee che mina profondamente la capacità delle murature. Se esse non possiedono la necessaria solidità (intesa come compattezza, come capacità di mantenere la geometria iniziale per effetto dell'apparecchiatura, del legante o di entrambi) tutte le altre considerazioni divengono subordinate: i modi di danno si distinguono, ormai abitualmente, tra primari e secondari ma deve considerarsi l'ulteriore modalità, prioritaria, del cedimento della muratura, legato ad una insufficienza nella compattezza, la quale deve assicurarsi prima nel singolo setto e poi nella compagine delle strutture murarie. In tale aspetto risiede un rischio più elevato e diffuso nelle costruzioni storiche.

È opportuno definire meglio il significato di miglioramento: l'intervento minimale (ovvero soltanto non peggiorativo) non può essere giustificato; un serio intervento che assorbe energie, se non altro finanziarie, dovrebbe garantire una discreta capacità di resistenza all'evento sismico che consenta almeno di evitare vittime. Se il rischio deriva dalla compresenza di esposizione (inevitabile se si vuole vivere il centro storico), dalla virulenza dell'evento (come esso si presenterà) e dalla vulnerabilità dell'edificio è chiaro che, in genere, solo su quest'ultimo fattore si può intervenire.

Il miglioramento consiste dunque nel portare la costruzione al massimo della sua potenzialità senza tuttavia perderne il carattere, l'identità che induce a conservarla.

Un terremoto di grande intensità, come quello recente del Centro Italia, produrrà comunque danni ma non possiamo pensare che la soluzione sia quella di perdere i centri storici per effetto delle manomissioni strutturali e di quelle connesse, ancor prima che il sisma li danneggi.

La prevenzione deve essere perseguita ma con lo strumento che è stato conquistato con quel processo che abbiamo ricordato in precedenza, frutto di studi e riflessioni che muovono dalla realtà e che non possono perciò contraddirla.

Riguardo al rischio deve considerarsi inoltre una riflessione sull'indirizzo proposto dalle Linee guida: in effetti, se il valore del concetto di miglioramento è costituito dall'originalità di una posizione, tipica di una nazione ricca di costruzioni storiche, non bisogna dimenticare che il merito maggiore di queste direttive è nel porre in evidenza il processo progettuale<sup>18</sup> del consolidamento, preventivo o di riparazione, come un percorso teso ad individuare criticità e capacità già contenute nell'edificio, che devono essere rispettivamente neutralizzate e sostenute, evitando eccessi prudenziali ed invasività gratuite, puntando ad una efficacia minimalistica che deve comunque riferirsi al rispetto e alla valorizzazione del bene<sup>19</sup>.

In tutto ciò, l'apporto del calcolo strutturale, che certamente è elemento conoscitivo e valutativo utile, può risultare invasivo in quanto eccessivamente determinante sulle scelte d'intervento, nonostante la residua incertezza del risultato numerico, specie se ottenuto con modelli preferiti perché familiari, spesso prevalenti su scelte appropriate ma più sofisticate, non sempre professionalmente disponibili.

18 Dalla *Premessa* alle Linee guida (2010): “[...] La presente Direttiva è stata redatta con l'intento di specificare un percorso di conoscenza, valutazione del livello di sicurezza nei confronti delle azioni sismiche e progetto degli eventuali interventi, concettualmente analogo a quello previsto per le costruzioni non tutelate, ma opportunamente adattato alle esigenze e peculiarità del patrimonio culturale; la finalità è quella di formulare, nel modo più oggettivo possibile, il giudizio finale sulla sicurezza e sulla conservazione garantite dall'intervento di miglioramento sismico [...]”.

19 “La strada da percorrere è presto indicata: bisogna innanzitutto conoscere “cosa” conservare, e da tale conoscenza far scaturire il “come” conservare con sicurezza”. GIUFFRÉ 1993, p. 23.

Il processo progettuale si evidenzia come una strategia in cui tutte le informazioni concorrono all'obiettivo di conservare (quindi anche rendere più saldo) l'oggetto delle cure. In tutto ciò è evidente che l'analisi numerica può risultare utilissima soprattutto quando interpreta con lo strumento più adatto alla specifica realtà dell'oggetto il comportamento effettivo, ovvero rispondente alla natura della costruzione come sviscerata da uno studio attento che ne ha evidenziato storia, carattere, manchevolezze e qualità; così come è evidente che esso costituisce solo un aspetto della complessa problematica progettuale.

Il percorso di conoscenza, attraverso le analisi descritte, deve dare luogo a un apprezzamento della stabilità intesa, ad esempio, come manchevolezza o rispondenza a specifici aspetti della buona norma costruttiva; nel contempo, l'intervento può essere valutato come ristabilimento rispetto a una carenza o anomalia. Certamente non appare soddisfacente la valutazione attraverso i semplificativi parametri numerici assoluti; dovrebbe invece ricavarsi un giudizio che attraverso la definizione costruttiva dell'edificio e della sua storia e il rapporto degli interventi con essi, permetta di apprezzarne il processo migliorativo introdotto.

L'apporto del percorso della conoscenza, disattendendo le indicazioni e la *ratio* delle Linee Guida, risulta essere troppo spesso marginale rispetto alla valutazione sulla capacità strutturale; esperito formalmente per ottenere i vantaggi del fattore di confidenza ma difficilmente assunto come elemento di valutazione reale<sup>20</sup>.

Al contrario, la sensibilità dell'operatore è essenziale nell'interpretazione della struttura dell'edificio sia per valutarne la capacità, sia per definirne gli interventi; pertanto è indispensabile la formazione specifica, universitaria e successiva, su temi di stabilità e consistenza costruttiva che non possono limitarsi all'analisi, spesso acritica, di pochi schemi cinematici, tra l'altro a carattere empirico e anch'essi legati all'interpretazione e alla conoscenza.

Oltre all'analisi della struttura risulta essenziale la scelta delle tecnologie con cui concretizzare le ipotesi progettuali. Un'opzione aprioristica per tecniche e materiali non può essere accettata in una logica specifica di analisi dell'edificio che presuppone coerenti scelte d'intervento.

È pur vero che il mercato edilizio tende a una sempre maggiore standardizzazione che permette evidenti vantaggi in termini esecutivi ed economici ma che, spesso, comporta un adattamento del progettista verso soluzioni preconfezionate. D'altra parte la formazione e l'eterogeneità delle maestranze attuali (spesso avulse da una cultura materiale locale) non potrebbero sussistere senza tale pre-confezionamento di base, almeno per le operazioni legate al consolidamento strutturale. Un processo di industrializzazione che tuttavia ha avuto il pregio di migliorare, almeno a livello di media, la qualità dei materiali impiegati.

Negli ultimi decenni, le conoscenze sono state ampliate e l'evoluzione dell'ingegnerizzazione moderna dei processi edilizi ha portato ad una sempre maggiore necessità di sintetizzare con un parametro quantitativo le capacità strutturali delle costruzioni. Si tratta di un approccio apparentemente razionale poiché semplifica le implicazioni formali, amministrative, giuridiche che intorno al problema dell'edilizia spesso si sviluppano. Tuttavia, lo stesso approccio può indurre a risoluzioni formalmente ineccepibili ma che non entrano nel merito effettivo delle questioni proprie delle costruzioni storiche e, soprattutto, della loro conservazione.

Nell'insieme, la valutazione del miglioramento delle capacità meccaniche attraverso parametri numerici assoluti non appare soddisfacente (ben che meno quelli derivati dalle tabelle della Circolare annessa alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2008, che comunque presuppongono un oculato impiego da parte del progettista); sembrerebbe opportuno un giudizio critico complessivo che

---

20 Nel contempo, se applicata distrattamente l'analisi numerica può divenire un'ipocrita scudo legale, talvolta impiegato per abbreviare tempi progettuali ed esecutivi con lo spauracchio delle responsabilità; carico che allontana sempre più gli architetti dalla progettazione del consolidamento (destinatari per legge di tale incombenza per gli edifici tutelati) e riduce l'autorità dei funzionari addetti alla tutela.



attraverso la definizione tipologica e costruttiva dell'edificio e della sua storia, dello stato di danno e di consistenza, permetta di apprezzare il processo migliorativo introdotto con l'intervento.

Oltre a premiare il processo conoscitivo, si potrebbe pensare ad una sorta di giudizio complessivo del progetto, un 'fattore d'efficacia' che, in relazione alla consequenzialità tra problematicità e soluzioni, in funzione di una complessiva organicità degli interventi, in corrispondenza della compatibilità e invasività delle opere previste, corrobori oppure riduca le valutazioni quantitative ottenute per via analitica.

Si tratta di un obiettivo arduo poiché spesso può sconfinare dall'automatismo oggettivo del parametro numerico; è innegabile però che ogni progetto è implicitamente soggetto a valutazioni e autovalutazioni di questo genere le quali potrebbero essere ricondotte ad una applicazione razionale mediante, ad esempio, una griglia che verifichi la circolarità del percorso: edificio-analisi-intervento-edificio.

In questi giorni purtroppo ricorre ancora una volta la condizione del post-sisma. Piccoli centri storici dell'Appennino centrale sono stati semidistrutti da una raffica tellurica eccezionale che ha duramente colpito anche le costruzioni già consolidate con presidi antisismici. La forza dell'evento e la sua ripetizione, anche in crescendo, non potevano essere sopportate nonostante i presidi e la risposta alle prime scosse abbiano impedito ulteriori perdite umane.

Molti ritengono che si potrà ricostruire, altri temono l'abbandono; le perdite sono tali che sembra difficile ritrovare qualcosa di positivo in questi centri. Eppure non è il primo terremoto che induce a riflessioni gravi e tuttavia la risposta di questi edifici storici è stata verificata nell'ambito di diverse prove cui il sisma, nei decenni ultimi, ha testato le capacità dei centri storici.

Certamente si tratta di edifici feribili, soprattutto a lungo andare e con tale scarico d'energia, ma non possiamo dimenticare i molteplici studi del recente passato che hanno evidenziato le capacità di una buona costruzione muraria, corredata da dispositivi ben collocati ed efficienti.



Fig. 8. Un esempio di vulnerabilità causata da manomissioni incontrollate, eseguite per finalità funzionali: si tratta di un edificio aquilano in cui, per ricavare una canna fumaria, sono stati tagliati alcuni archi di scarico realizzati all'interno dello spessore murario e non visibili all'esterno. La manomissione ha introdotto una debolezza che è stata evidenziata dal sisma con i danni visibili nell'immagine.

Il tema della prevenzione si affaccia pressante e nel contempo è evidente la necessità di affrontarlo sul periodo medio-lungo; l'impegno economico che presuppone è tale che la riduzione del rischio deve essere ottenuta con diffusi interventi ridotti all'osso, minimali ed efficaci; soprattutto che non implicino le modifiche delle finiture il cui costo è gravosissimo, sia per la perdita architettonica sia in termini economici. Non può evitarsi un accenno alla questione delle manomissioni, prodotte soprattutto in tempi recenti per adeguamenti funzionali, che sfuggendo alle maglie normative hanno spesso causato forti indebolimenti delle strutture murarie, i cui danni dovrebbero essere riparati *in primis* (Figg. 8 e 9).

La parte più dolente del tema delle riparazioni rimane quella relativa alla qualità muraria; se scadente essa presuppone gli interventi più diffusi, costosi e invasivi. Come detto in precedenza sul modo prioritario di collasso per frantumazione della muratura, non è sufficiente il vincolo aggiuntivo ottenibile con i tiranti; spesso la carenza non è colmabile neanche con le semplici iniezioni di malta perché alcune tipologie murarie di scarsa qualità risultano per di più massive, prive di vacuità.

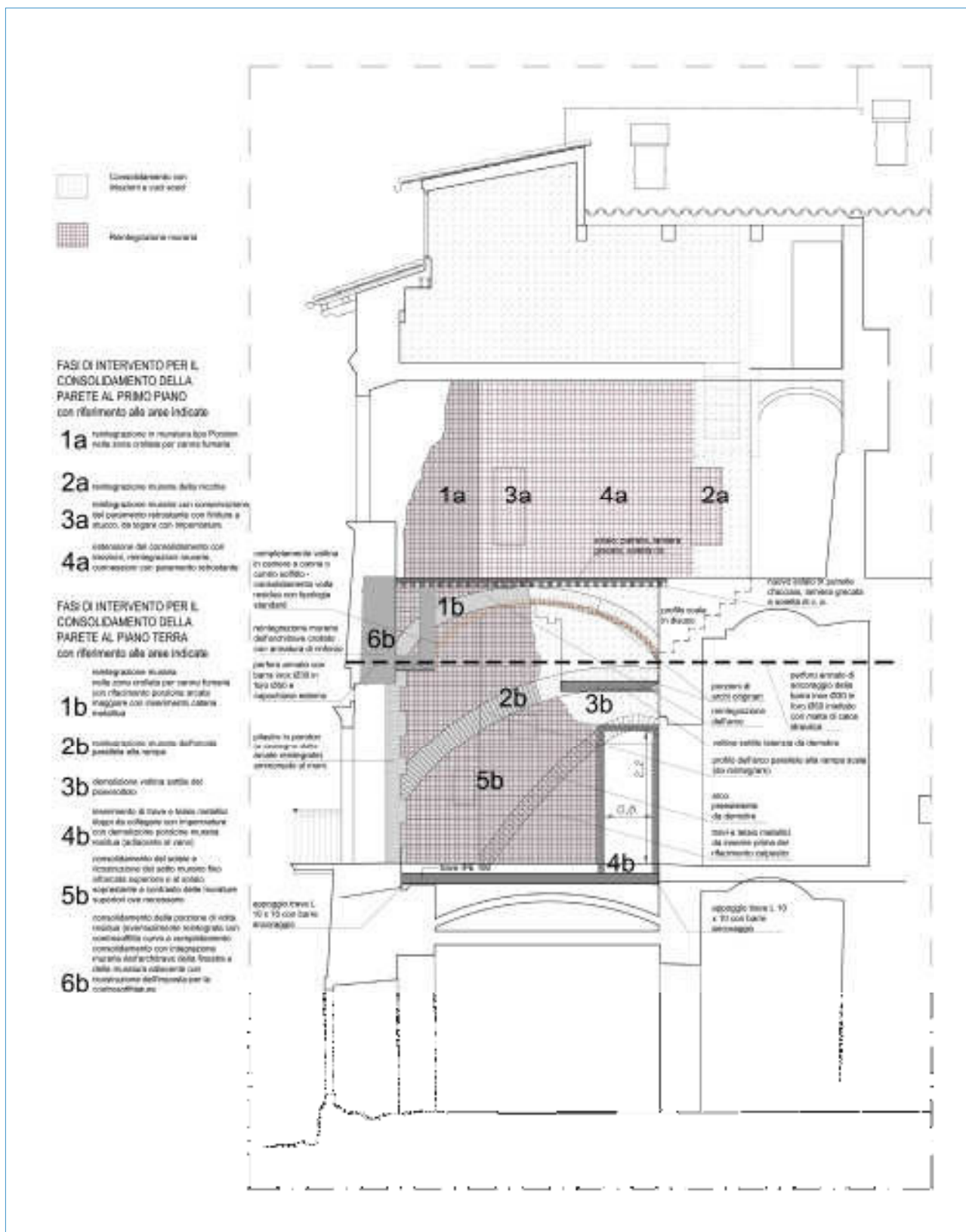


Fig. 9. Lavori di ricostruzione delle arcate di scarico e di riconnessione mediante tiranti metallici per ripristinare la struttura muraria della parete manomessa di cui alla fig. 8. In particolare è stata consolidata la parete al I piano con reintegrazioni: in Poroton (1a) nella zona del crollo; in muratura (2a) nella nicchia; in muratura con conservazione del paramento retrostante, da legare con impernature (3a); assieme ad iniezioni e connessioni con paramento retrostante (4a). Al piano terra ancora reintegrazioni murarie: nella zona crollata con rifacimento arcata maggiore e inserimento catena metallica (1b), e nell'arcata parallela alla rampa (2b); demolizione voltina sottile del pianerottolo (3b); inserimento di trave e telaio metallici doppi impernati trasversalmente (4b); consolidamento del solaio e ricostruzione del setto murario fino all'arcata superiore e al solaio sovrastante a contrasto delle murature superiori (5b); consolidamento della volta residua con integrazione muraria dell'architrave della finestra adiacente e ricostruzione dell'imposta per la controsoffittatura (6b).



Fig. 10. Torre X del perimetro difensivo di Pompei, un esempio di intervento ricavato dall'analisi della costruzione e della sua storia attraverso i documenti. Mediante foto storiche si è evidenziata la vulnerabilità del fronte, collassato con rotazione verso l'esterno, a seguito degli scuotimenti sismici connessi alle attività vulcaniche precedenti al seppellimento della città. La ricostruzione archeologica che ha seguito lo scavo, ormai storicizzata, ha evidentemente riproposto la stessa vulnerabilità, aggravata dalla parzialità del rifacimento. Sono stati dunque ipotizzati interventi di miglioramento mediante l'inserimento di strallature e tiranti metallici, reversibili, esterni alla muratura ma poco visibili perché posizionati all'interno del volume.

Risulta evidente che, anche considerando questo obiettivo precauzionale limitato, è necessario cambiare il modello d'intervento, non più basato su ricostruzioni complesse e integrali ma su interventi preventivi e minimali che proprio sulla conoscenza dell'edificio possono basare la loro efficacia.

Peraltro, per la futura ricostruzione dei centri recentemente colpiti ci si dovrà interrogare su quale tipologia debba essere eletta a matrice rigeneratrice; il semplice 'com'era' presumibilmente non è applicabile e se deve esserci un miglioramento della tecnologia si tratta di definirne i margini di manovra<sup>21</sup>.

Ciò detto, appare perfettamente coerente il richiamo della circolare del MiBACT recentemente emessa e ritirata<sup>22</sup>; richiamo verso un maggior rigore nella scelta d'interventi efficaci e minimali, se necessari; compatibili e non invasivi. E d'altra parte gli ultimi interventi finora messi in pratica nei centri storici giustamente sono stati condotti con l'obiettivo di un raggiungimento minimo di capacità resistente (tra il 60 e 80 % della capacità corrispondente all'adeguamento); per edifici di maggior delicatezza si ricercano strategie alternative, calibrate *ad hoc*, agendo forse sul parametro relativo all'esposizione ed evitando funzioni di maggiore sensibilità. E comunque la ricerca di maggiore sicurezza deve concretizzarsi in soluzioni idonee, garantite normativamente e sufficientemente affidabili, senza produrre l'invasione di pratiche incompatibili con la conservazione dei beni tutelati (Fig. 10).

Fabrizio De Cesaris, 'Sapienza' Università di Roma, [fabrizio.decesaris@uniroma1.it](mailto:fabrizio.decesaris@uniroma1.it)

### Referenze bibliografiche

AA.VV. 1989: AA.VV., *Manuale del recupero del Comune di Roma*, DEI, Roma 1989

BENVENUTO 1981: E. Benvenuto, *La scienza delle costruzioni e il suo sviluppo storico*, Sansoni, Firenze 1981

21 Verrebbe da ricordare l'impulso innovativo scaturito dopo il sisma dello Stretto di Messina, con le molteplici tipologie costruttive allora brevettate, alcune delle quali introdotte nell'uso, come le case barraccate, in sostituzione delle precedenti tipologie costruttive (VALTIERI 2008).

22 Circolare MiBACT, n. 18 del 25.03.2016, *Sicurezza e conservazione. Guida breve all'uso della Direttiva per la valutazione e riduzione del rischio sismico del Patrimonio culturale con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.1.2008*.



- BENAZZI, CARBONARA 2002: G. Benazzi, G. Carbonara (a cura di), *La cattedrale di Spoleto*, Federico Motta Editore, Milano 2002
- BOSCARINO 1987: S. Boscarino, *Il duomo di Messina dopo il terremoto del 1908: dal consolidamento delle strutture superstiti alla ricostruzione totale*, in atti in onore del prof. Guglielmo De Angelis D'Ossat, Multigrafica Editrice, Roma 1987
- BOZZONI *et al.* 1990: C. Bozzoni, G. Carbonara, G. Villetti (a cura di), *Saggi in onore di Renato Bonelli*, «Quaderni dell'Istituto di Storia dell'Architettura», Bonsignori, Roma 1990-1992
- CASIELLO 2011: S. Casiello (a cura di), *Offese di guerra. Ricostruzione e restauro nel Mezzogiorno d'Italia*, Alinea, Firenze 2011
- CESCHI 1970: C. Ceschi, *Teoria e storia del restauro*, Bolzoni, Roma 1970
- D'AGOSTINO *et al.* 2009: S. D'agostino, F.C. Giuliani, M.L. Conforto, E Guidoboni, *Raccomandazioni per la redazione di progetti e l'esecuzione di interventi per la conservazione del costruito archeologico*, Cuzzolin, Napoli 2009
- DOGLIONI *et al.* 1994: F. Doglioni, A. Moretti, V. Petrini, *Le chiese e il terremoto*, LINT, Trieste 1994
- DOGLIONI 2000: F. Doglioni, *Codice di pratica (linee guida) per la progettazione degli interventi di riparazione, miglioramento sismico e restauro dei beni architettonici danneggiati dal terremoto umbro-marchigiano del 1997*, (contratto di ricerca tra Regione Marche e IUAV), Supplemento al Bollettino Ufficiale della Regione Marche, Ancona 2000
- GIUFFRÈ 1984: A. Giuffrè, *Pietà per i monumenti*, in G. Carbonara (a cura di), *Restauro e cemento in architettura*, AITEC, Roma 1984
- GIUFFRÈ 1993: A. Giuffrè (a cura di), *Sicurezza e conservazione nei centri storici, il caso di Ortigia*, Laterza, Roma-Bari 1993
- GIUFFRÈ 1988: A. Giuffrè (a cura di), *Monumenti e terremoti: aspetti statici del restauro*, Multigrafica, Roma 1988
- HEYMAN 1966: J. Heyman, *The stone skeleton. Structural Engineering of Masonry Architecture*, University of Cambridge, Cambridge 1966
- HEYMAN 1982: J. Heyman, *The masonry arch*, Ellis Horwood, New York –Brisbane- Chichester- Toronto 1982
- MASI 1788: G. Masi, *Teoria e pratica di architettura civile per l'istruzione della gioventù specialmente romana*, Antonio Fulgoni, Roma 1788
- MASTRODICASA 1943: S. Mastrodicasa, *Dissesti statici delle strutture edilizie*, Hoepli, Milano 1943
- VALTIERI 2008: S. Valtieri (a cura di), *La grande ricostruzione dopo il terremoto del 1908 nell'area dello Stretto*, Clear, Roma 2008

---

## *Observations regarding the way we assess vulnerability and the quality of reinforcement work*

Keywords: structural improvement, consolidation, reconstruction, seismic regulations, conservation, historic town centres

The earthquake that hit central Italy seems to have had a negative impact on positions that have been held for decades, positions that identify the limited increase in resistance - which is nevertheless compatible with the need to preserve monuments (structural 'improvement' as opposed to 'adaptation') - as appropriate structural work for historic buildings. A purely technically-oriented trend that mainly focuses on formally determining the structural safety of buildings could end up taking precedence over conservation requirements that are equally essential in a country responsible for preserving a vast architectural heritage. It seemed appropriate to go over the cultural evolution that has led to current positions in order to reaffirm their value; at the same time, this paper lists a number of general problems and gaps in the training of architects who turn away from a task that has been institutionally entrusted to them for various reasons, including legislative and technical complications. The paper ends by reflecting on the introduction into current legislation of factors that could correct design projects, factors aimed at encouraging a higher level of compatibility among improvement projects and returning the computational aspect to a more balanced importance. Finally, reaffirming a preference for 'structural improvement', it puts forward hypotheses for precautionary improvements to historic buildings that, though widespread, are minimal and cost-effective.